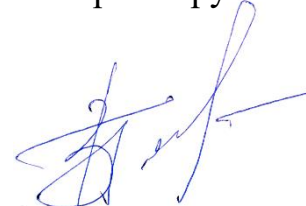


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»  
(ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина)

На правах рукописи



ГЕТМАНЦЕВА Варвара Владимировна

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДЕЖДЫ**

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.19.04 - Технология швейных изделий

ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание учёной степени  
доктора технических наук

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

Москва 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение		5
1	Теоретические основы интеллектуализации процессов проектирования и изготовления продукции в условиях глобального рынка_____	17
1.1	Развитие теории интеллектуализации систем, технологий и объектов_____	17
1.2	Анализ основных систем представления данных, знаний и информации_____	22
1.3	Анализ основных типов интеллектуальных систем_____	27
1.4	Научные основы интеллектуализации систем автоматизированного проектирования_____	33
1.5	Методология поиска новых технических идей и решений_____	41
1.6	Современное состояние интеллектуализации САПР одежды_____	47
1.7	Перспективы использования технологий искусственного интеллекта и интеллектуализации объектов в легкой промышленности_____	57
1.8	Научная концепция интеллектуализации виртуального проектирования_____	70
	Выводы по первой главе_____	73
2	Исследование состояния параметризации и интеллектуализации виртуального проектирования швейных изделий_____	75
2.1	Основы параметризации геометрических объектов в контексте автоматизированного проектирования одежды_____	76
2.2	Анализ способов получения исходной параметрической информации о субъектах и объектах проектирования одежды_____	84
2.3	Исследование методов автоматизированного проектирования конструкций одежды в 2D и 3D виртуальной среде САПР_____	94
2.4	Анализ уровня интеллектуализации методов моделирования конструкции одежды в современных САПР одежды_____	100
2.5	Анализ методов организации виртуальной примерки в САПР одежды_____	106
2.6	Анализ математического инструментария, применяемого для визуализации виртуальных примерок моделей одежды_____	116
	Выводы по второй главе_____	121
3	Разработка методов определения и представления исходной информации для виртуального проектирования одежды_____	124
3.1	Организация информационных потоков для цифрового описания проектируемого изделия_____	124

3.2	Распознавание исходных конструктивных параметров по художественному эскизу модели_____	134
3.3	Исследование исходной антропометрической информации, полученной с помощью различных инструментов и способов_____	151
3.4	Проектирование виртуальных параметрических моделей внешней формы фигуры человека_____	162
	Выводы по третьей главе_____	182
4	Разработка метода трехмерного параметрического проектирования пространственной формы одежды и её двухмерной развёртки_____	184
4.1	Разработка методов параметрического проектирования внешней формы женской плечевой одежды_____	185
4.2	Разработка математической модели внешней формы женского плечевого изделия_____	190
4.3	Разработка метода параметрического проектирования 2D конструкции одежды учетом пространственной формы изделия_____	197
4.4	Разработка методов виртуального конструирования деталей одежды в универсальной и специализированной среде САПР_____	210
4.5	Конструктивно-технологические параметры проектирования конструкций деталей изделий и технологии их соединения_____	227
	Выводы по четвертой главе_____	233
5	Методология художественного проектирования моделей одежды сложных форм и кроев в виртуальной среде_____	235
5.1	Разработка метода виртуального конструктивного моделирования изделий разных силуэтных форм_____	235
5.2	Разработка метода параметрического моделирования внешней формы одежды_____	246
5.3	Разработка метода автоматизированного проектирования конструктивно-декоративных элементов одежды_____	250
5.4	Разработка метода параметрического проектирования складчатой поверхности в одежде_____	260
5.5	Разработка метода виртуального конструктивного моделирования изделий с рукавами сложных форм_____	265
	Выводы по пятой главе_____	286
6	Инновационные технологии изготовления «умной» одежды с заданной функциональностью_____	288

6.1	Интеллектуализация методов проектирования предметов одежды с функцией физической защиты_____	291
6.2	Разработка методов проектирования одежды из токопроводящих полотен для защиты от электромагнитного излучения и другого назначения_____	296
6.3	Разработка изделий с регулируемыми свойствами с применением технологии микроинкапсуляции_____	305
6.4	Проектирование интеллектуальной одежды из материалов с функцией памяти формы_____	316
6.5	Разработка технических решений одежды с функциями управления_____	325
6.6	Проектирование предметов одежды с сигнальными функциями_____	327
6.7	Разработка технологии 3D печати текстильно-швейных изделий разной функциональности_____	329
6.8	Интеллектуализация проектирования персонализированной одежды_____	335
	Выводы по шестой главе_____	337
	Заключение_____	340
	Список сокращений и условных обозначений_____	343
	Список литературы_____	345
	Приложение А_____	370
	Приложение Б_____	400
	Приложение В_____	417
	Приложение Г_____	425
	Приложение Д_____	428
	Приложение Е_____	443
	Приложение Ж_____	463
	Приложение З_____	467
	Приложение И_____	471



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В «Стратегии развития промышленности РФ до 2035 г.» Правительством поставлены задачи повышения уровня технологического развития и цифровизации отраслей, ускорения коммерциализации новых технологий и продуктов, внедрения отечественного программного обеспечения, а основной целью развития легкой промышленности определено обеспечение устойчивости отрасли при ее интеграции в мировую систему. К ключевым вызовам развития легкой промышленности отнесены поддержание конкурентоспособности и защита интересов производителей в условиях расширяющегося доминирования цифровых платформ. С усилением технологической конкуренции во многих отраслях произошла ориентация на «кастомизацию» решений, смещающих рентабельность из сферы производства в потребительский сектор отраслевых рынков, что требует развития интеллектуальных технологий непосредственного взаимодействия с потребителями. В то же время «Национальной программой развития цифровой экономики РФ» важнейшим фактором развития производства во всех социально-экономических сферах названы данные в цифровой форме, организация которых лежит в основе создания экосистемы цифровой экономики и повышения конкурентоспособности на глобальном рынке как отдельных отраслей экономики РФ, так и экономики в целом.

Одежда нового поколения позволяет не только защищать человека от окружающей среды, но и предоставлять дополнительные функции, соответствующие образу его жизни и облегчающие как физическую, так и эмоциональную нагрузку с помощью интеллектуальных инструментов и технологий. Оценка одежды как цифровой технической системы требует не только анализа количественных и качественных характеристик свойств изделия, но и выявления параметрической связи между ними, позволяющей существенно расширить потенциал и функционал проектируемых изделий. Для решения трудно формализуемых задач проектирования одежды актуально использование когнитивных технологий и методов искусственного интеллекта, позволяющих интенсифицировать творческую работу дизайнеров и конструкторов.

В условиях цифровизации мировой экономики и глобализации потребительских рынков возрастает значимость интерактивного клиенто-ориентированного проектирования изделий, разработок принципиально новых технологий и продуктов, функции которых предвосхищают ожидания потребителей, что свидетельствует об

актуальности новых подходов, ориентированных на долгосрочную интеллектуализацию швейной промышленности.

**Степень научной разработанности проблемы.** На изучение и моделирование процессов, имитирующих человеческое мышление, значительное влияние оказали работы таких ученых, как *McCulloch W., Pitts W., Hebb D., Rosenblatt F., Minsky M., Hopfield J., Ивахненко А.Г., Лана В.Г., Kohonen T., Rumelhart D.E.* Значительный вклад в развитие интеллектуальных технологий в области инженерии знаний, основанной на методах их представления и поддержки принятия решений, внесли исследования *Валькмана Ю.Р., Суворова А.И., Гавриловой Т.А., Хорошевского В.Ф., Петровского М.И., Козырева М.А., Варшавского П.Р., Уланова А.С., Паринаова А.В., Федоркова Е.Д., Чечкина А.В., Ивакина Я.А., Волковой Г.Д., Ершова А.А.*; в области развития технологий экспертных систем следует отметить таких ученых, как *Карпов Е.В., Кисель Е.Б., Дьяченко Д.Е., Частикова В.А., Евменов В.П., Ездаков А.Л., Крысова И.В.*; в области технологий многоагентных систем - *Батищев С.В., Искварина Т.В., Скобелев П.О., Березняцкий А.В., Жебрун Н.Н., Архипкин А.С., Запорожец Д.Ю., Lo W., Hong T., Jeng R., Fougères A., Ostrosi E.* За последнее десятилетие в мировой швейной промышленности успешно развивают применение искусственного интеллекта для улучшения процессов производства и продажи одежды благодаря разработкам *Guo Z., Wong W., Leung S., Li M., Aksoy A., Ozturk N., Sucky E., Ngai E., Peng S., Alexander P., Moon K., Brito P., Soares C., Almeida S., Monte A., Vyvoet M., Hu Z., Wei C., Yu X., Applin S., Nayak R., Padhye R., Januar T., Rabi A., Prasetya D., Hamad M., Thomassey S., Bruniaux P.* и других исследователей, что обуславливает актуальность использования технологий цифровизации и интеллектуализации в процессе проектирования и промышленного изготовления одежды.

Различные подходы к разработке интеллектуальных систем представлены в работах *Шестопала Ю.Т., Моисеева В.Б., Дорофеева В.Д., Григорьева В.П., Камышной Э.Н., Нестерова Ю.И., Никитина С.А., Бровковой М.Б., Башмакова А.И., Башмакова И.А., Королева Е.Н.* Фундаментальные парадигмы интеллектуализации систем автоматизированного проектирования (САПР) рассматривались *Turing A., Zadeh L., Ярушкиной Н.Г.* и получили дальнейшее практическое развитие в исследованиях ряда авторов, таких как *Захарова Г.Б., Добряков А.А., Горбатов В.А., Огиренко А.Г., Смирнов М.И., Гречин И.В., Барков И.А., Королев Е.Н., Паринов А.В., Федорков Е.Д., Казанский Д.С., Требухин А.Г., Семенов Н.А., Бурдо Г.Б., Исаев А.А., Романов О.Т., Машкин М.Н.,*

*Головицына М.В., Hagen P., Tomiyama T., Spitas C., Zhang S., Xu J., Gou H., Tan J.* Заметный вклад в разработку интеллектуальных элементов САПР одежды внесли многие отечественные исследователи, из которых в первую очередь хотелось бы отметить *Черемисину Т.А., Черняеву А.А., Сильчеву Л.В., Таран А.Н., Струневич Е.Ю., Максutowу М.Т., Гусеву М.А., Линник Ю.В., Рогожина А.Ю., Гальцову Л.О., Боярова М.С., Филинову Н.Г., Киселеву М.В., Курьшеву В.Н., Раздомахина Н.Н., Бескоровайную Г.П., Королеву Л.А., Подшивалову А.В., Петросову И.А., Сурженко Е.Я., Корнилову Н.Л., Кузьмичева В.Е.* Однако, хотя некоторые элементы интеллектуализации уже находят применение в отдельных модулях САПР одежды, проблема глобальной интеллектуализации процесса проектирования и производства одежды учеными пока даже не ставится.

Изучению взаимосвязи параметров объектов, процессов и систем посвящены исследования *Умновой С.Г., Синаило В.А., Власова М.Ю., Сеницыной А.С., Харина В.В., Снигур О.В., Зыкиной А.В., Яцюк О.Г., Беляева А.В., Аль-Шайх Х., Ермакова Е.С., Боргест Н.М., Коровина М.Д., Калякулина С.Ю., Горячкина Е.С., Мелентьева В.С., Фроловского Д.В., Ландовского В.В.,* в которых показано, что параметрическое моделирование позволяет однозначно описывать разнообразные объекты, помогает формализовать проектирование путем его алгоритмизации и ускорить процесс производства изделий, исходя из чего имеет смысл строить информационную составляющую разрабатываемых САПР одежды на параметрической модели описания объекта проектирования.

Для генерирования оригинальных идей и проектирования новых продуктов важна активизация творческого мышления, исследованием которой занимался ряд авторов, а именно *Мюллер И., Столяров А.М., Кудрявцев А.В., Половинкин А.И., Муштаев В.И., Токарев В.Е., Дрейзин В.Э., Захаров И.С., Цыканова М.А., Петров В.М.* Разработку методов поиска новых технических идей и решений, направленных на совершенствование техники и технологий, успешно осуществляли *Gordon W., Osborn A., Whiting C., Eiloart T., Zwicky F., Matchett E., Koller R., Столяров А.М., Дорохов И.Н., Меньшиков В.В., Михайлов В.А., Горев П.М., Утёмов В.В.* Концептуальная разработка интеллектуальных объектов представлена в трудах *Малыхиной Г.Ф.* и *Суворова В.В.* Следует отметить, что к разработкам интеллектуальной одежды, позволяющей получать информацию об ощущениях человека и соответственно реагировать, привлечено внимание многих ученых, включая *Paradiso R., De Toma G.M., Mancuso C., Castano L., Flatau A., Rienzo M.D., Vainio E., Lombardi P., Tang L.P., Stylios G.K., Chan Y., Barabás J.,*

*Balogová L., Gala M., Babusiak B., Cho G., Jeong K., Paik M., Kwun Y., Sung M., Cherenack K., Van Pieterse L., Dunne L., Eizentals P., Katashev A., Okss A., Pavare Z., Balcuna D., Jakubas A., Łada-Tondyra E., Januar T., Rabi A., Prasetya D., Lah A., Fajfar P., Kugler G., Rijavec T., Mazzoldi A., De Rossi D., Lorussi F., Scilingo E.P., Paradiso R., Leist S., Zhou J., Michalak M., Krucińska I., Mondal S., Hu J., Yang Z., Liu Y., Szete Y., Сильченко Е.В., Черуновой И.В.* и других, что отражает заинтересованность широкого круга научных организаций и глобальных производителей в развитии этого перспективного направления исследований.

**Цель представленной работы** состоит в решении научной задачи интеллектуализации виртуального проектирования конструкций и технологии изготовления одежды средствами параметризации и автоматизации для создания принципиально новых конструкторско-технологических решений и выпуска швейных изделий, отличающихся востребованными оригинальными или заданными функциями, в наибольшей степени соответствующей персонифицированным ожиданиям потребителей.

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

- изучение и систематизация подходов к интеллектуализации систем, процессов и объектов проектирования;
- изучение инженерных и параметрических подходов к проектированию промышленных изделий и возможностей их интеграции;
- исследование взаимосвязей между параметрами, описывающими фигуру человека, конструкцию и пространственную форму проектируемой одежды;
- исследование влияния характеристик материалов на конструктивно-технологические параметры изделия в процессе виртуального проектирования одежды;
- разработка интегрированной системы интерактивного проектирования конструкций и технологии изготовления швейных изделий с учетом особенностей производства и заданного уровня интеллектуальных поддержек;
- разработка инновационных технологий изготовления «умной» (интеллектуальной) одежды.

**Объектом исследования** выбран процесс виртуального проектирования конструкций и технологии изготовления одежды. **Предметом исследования** стали двухмерные и трехмерные эскизы моделей одежды, виртуальные модели типовых и

индивидуальных фигур, конструкций изделий и образцов одежды, технологии изготовления материалов и изделий из них.

**Область исследования.** Работа выполнена в соответствии с п.1 «Разработка теоретических основ и установление общих закономерностей проектирования одежды и технологии изготовления швейных изделий», п.2 «Совершенствование процесса и методов проектирования одежды на основе широкого применения современной вычислительной техники», п.3 «Разработка математического и информационного обеспечения систем автоматизированного проектирования одежды», п.5 «Совершенствование методов проектирования одежды с заданными потребительскими показателями» Паспорта специальности 05.19.04 «Технология швейных изделий».

**Методология исследования** базируется на общенаучных подходах системного и концептуального анализа, группировки и сравнения, агрегатирования и комбинаторики, научной абстракции и прогнозирования, структурно-динамического и объектно-ориентированного анализа. При выполнении исследований использованы основные положения теорий информатики, оптимизации, принятия решений, интеллектуальных систем и баз данных, параметризации, алгоритмизации и программирования. Для решения поставленных задач применяли методы представления знаний, онтологического инжиниринга, прикладной логики, инженерной психологии, использован аппарат вычислительной математики, математического анализа и моделирования, аналитической, дифференциальной, численной геометрии и линейной алгебры, интегрального исчисления, аппроксимации, интерполяции, сплайнов, статистической обработки данных. Полученные результаты основаны на применении методов интеллектуального анализа данных, автоматизации проектирования, визуализации информации, антропометрических исследований, конструирования и моделирования геометрических объектов, прототипирования, экспертных оценок, а также на применении современных методов хранения и манипуляции данными, компьютерных и информационных технологий. Экспериментальные исследования проводили в лабораторных и производственных условиях. В работе использованы программные продукты *Windows XP (Word, Excel), Mathlab*; автоматизированные системы *Grafis, Eleandr CAD*; прикладные графические программы *CorelDRAW, Autodesk AutoCAD, Autodesk Maya, Autodesk 3D Max, CLO 3D*.

К результатам работы, составляющим **научную новизну**, отнесены следующие:

1. Разработана научная концепция интеллектуализации промышленного проектирования и изготовления одежды на основе когнитивного подхода, позволяющего учитывать явные, скрытые и перспективные потребности клиентов и создавать принципиально новые продукты и технологии их изготовления.
2. Разработана научная концепция интеллектуализации САПР одежды на основе интеграции модулей автоматизации процессов эскизирования, конфекционирования, конструирования и технологической подготовки производства, обеспечивающей возможность использования экспертных рекомендаций, интеллектуальной поддержки принятия решений, технологий искусственного интеллекта и интеллектуального анализа больших данных о потребителях, направленная на производство наиболее конкурентоспособной и востребованной продукции.
3. Разработана научная концепция 4D параметризации виртуального проектирования одежды заданной функциональности на основе выявления совокупности параметров, однозначно характеризующих объект проектирования, и математического описания зависимостей между ними, что позволяет корректировать как параметры 3D формы объекта, так и его функциональные параметры, обусловленные способом изготовления изделия, при этом изменение любого из параметров проектируемого изделия приводит к модификации всех взаимосвязанных параметров, что одновременно отражается на визуализации изделия на виртуальной фигуре и позволяет учитывать изменения требований, предъявляемых потребителем.
4. Дано определение *интеллектуальной («умной») одежды* как изделий, отличающихся человеко-ориентированной адаптацией, модифицируемостью, эволюционным развитием и интегрируемостью с другими объектами для передачи информации.
5. Разработаны методы определения и представления исходной информации для виртуального проектирования одежды, включая трудно формализуемую информацию по распознаванию конструктивных и композиционных характеристик модели и их последующее преобразование в параметры конструкции изделия.
6. Разработан метод проектирования конструктивных деталей и декоративных элементов одежды, основанный на математическом описании взаимосвязанных параметров эскиза и конструкции, позволяющий обеспечить их трехмерное графическое виртуальное отображение.

7. Разработан метод описания и построения оцифрованных моделей внешней формы фигуры человека в виде параметрических зависимостей, позволяющих реализовать гибкий алгоритм процесса проектирования одежды на фигуры любых размеров и форм, а также проведение виртуальных примерок.

8. Разработана методология художественного проектирования моделей одежды сложных форм и покроев в виртуальной среде, основанная на формировании базы элементов проектных решений творческих задач и на интеллектуальной технической поддержке, позволяющей аккумулировать наиболее успешный опыт проектирования и производства одежды.

9. Предложен алгоритм проектирования принципиально новых проектных решений предметов одежды на основе описания функции объекта, потребности им удовлетворяемой и технического решения, интегрирующего достижения и возможности развития технологий, материалов, оборудования, дизайна.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована решением научной проблемы разработки нового подхода к проектированию одежды в виртуальной среде на основе методов интеллектуализации и технологий искусственного интеллекта путем разработки инструментария интеллектуальной поддержки и изложения элементов теории интеллектуализации этапов проектирования одежды, представленных в виде экспертных систем и баз знаний.

**Значение** полученных соискателем результатов исследования **для практики** заключается в разработке:

- ❖ инструмента для преобразования творческого эскиза в технический, позволяющего параметрически описывать характеристики проектируемой одежды относительно фигуры человека;
- ❖ способа описания внешней формы фигуры человека и готовых образцов одежды с помощью совокупности 3D параметров поверхности и закономерностей их взаимного влияния, который позволяет получить графическое виртуальное отображение геометрических особенностей поверхности объектов;
- ❖ информационно-визуальной базы данных основных графических элементов пространственной формы одежды, позволяющей синтезировать и моделировать внешнюю форму моделей в виртуальной среде;

- ❖ алгоритма построения виртуальных моделей одежды разных силуэтов и покроев, учитывающего физиологические и психологические аспекты процесса восприятия человеком внешнего образа и характеристик объекта;
- ❖ способа интерактивного проектирования конструкций одежды, включающего модули интеллектуальной и экспертной поддержки в виде научно-обоснованных рекомендаций по выбору значений прибавок, конструктивных и технологических параметров, моделей-аналогов и других вариантов конструктивно-технологических решений;
- ❖ метода проектирования изделий повышенной функциональности, включающего определение основных и дополнительных функций изделия на основе его назначения и потенциала технико-технологических ресурсов; выявление явных и скрытых предпочтений потребителей с использованием средств интеллектуализации; использование пополняемых баз знаний конструктивно-технологических решений и экспертных рекомендаций; установление совокупности параметрических характеристик изделия, варьированием которых регулируется соответствие показателей качества изделия предъявляемым требованиям;
- ❖ способа изготовления предметов одежды с применением токопроводящих текстильных материалов, электропроводность которых можно регулировать изменением характера расположения, размера и плотности покрытия токопроводящих элементов, применимого для производства интеллектуальных текстильных сенсоров, контролирующих физиологическое состояние человека, и костюмов для защиты от электромагнитного излучения;
- ❖ способа изготовления терморегулируемой одежды, определенные зоны которой инкорпорированы микрокапсулами с изменяемым фазовым состоянием, чтобы обеспечить выделение тепла при снижении температуры пододёжного пространства и поглощения тепла в обратном случае путём варьирования совокупности параметров условий эксплуатации, физической активности потребителя, конструктивного решения одежды и особенностей синтеза материала;
- ❖ способа изготовления спортивной релаксационной одежды, определенные зоны которой инкорпорированы ароматизированными микрокапсулами, реагирующими на фрикционное или температурное воздействие путем выделения запланированного аромата, позволяющего уменьшить напряжение центральной нервной системы человека



и/ или оказывающего антимикробное воздействие, что осуществляется путём варьирования совокупности параметров структуры и состава материала, антроподинамических характеристик потребителя и художественно-конструктивного решения одежды;

❖ способа проектирования изделий, способных запрограммированно изменять и полностью восстанавливать свою внешнюю форму при термическом или электрическом воздействии путём заданного обратимого изменения длины, ширины, толщины или изгиба материала для существенного улучшения эргономических, эстетических и защитных функций, реализованный при изготовлении анимированных декоративных элементов одежды и саморегулируемых термоизоляционных костюмов;

❖ способа проектирования предметов одежды, обладающих функцией управления другими объектами, реализованный с помощью интеграции в костюм специальных технических устройств, таких как гибкие солнечные аккумуляторы для изготовления экипировки военного назначения с дополнительным энергетическим ресурсом или тактильные экраны, передающие цифровую информацию об окружающей среде слабовидящим;

❖ способа проектирования и аддитивного изготовления изделий сложной формы, отличающихся жесткой структурой для создания декоративных и формозадающих элементов одежды или подвижной структурой для создания гибких поверхностей различных текстур и кривизны, реализация которого основана на обоснованном выборе технологии, оборудования и материалов для 3D печати.

**Достоверность результатов и проведенных исследований** подтверждается согласованностью аналитических и экспериментальных результатов, применением современных методов и средств исследования, апробацией основных положений диссертации в научной периодической печати и на конференциях, а также полученными 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. При непосредственном участии соискателя и под его руководством выполнены все исследования в лабораторных и промышленных условиях, разработаны опытные образцы и производственные партии изделий, в

производственный процесс внедрено программное обеспечение, подготовлены публикации по результатам исследований.

**Положения, выносимые на защиту:**

- научная концепция интеллектуализации промышленного проектирования и изготовления одежды на основе когнитивного подхода для создания принципиально новых продуктов и технологии их изготовления;
- научная концепция интеллектуализации интегрированных САПР одежды на основе внедрения технологий инженерии знаний, экспертной и интеллектуальной поддержки принятия решений, искусственного интеллекта и интеллектуального анализа больших данных о потребителях для производства наиболее востребованной продукции;
- методология параметрического виртуального конструирования и моделирования одежды на основе выявления совокупности параметров, характеризующих объект и субъект проектирования, математического описания взаимосвязей между его параметрами, трехмерной визуализации проектируемых изделий на заданных фигурах, оценки и корректировки проектных решений;
- методология проектирования и изготовления интеллектуальных предметов одежды повышенной функциональности на основе интеллектуального анализа неявных потребностей общества и технико-технологического потенциала науки и производства.

**Апробация и внедрение результатов исследования.** Теоретические положения, практические рекомендации и выводы были представлены и обсуждены в 2010-2020 гг. на международных и всероссийских научных конференциях: 2012 Korea-China International Conference «Fashion Connecting» (Hangzhou, Zhejiang Sci-Tech University, 2012), 18th World Textile Conference «Autex 2018: Leading Edge Technologies and Trends in Textiles» (Istanbul Technical University, 2018), «19th World Textile Conference - Autex 2019» (Ghent University, 2019), International Scientific and Practical Conference «Education and science in the 21st century» (Витебск, ВГТУ, 2018-2019), «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» (Витебск, ВГТУ, 2018), Международная Корейско-Российская конференция «Grand Fashion» (Москва, KF&CDA, 2011), XIII International research and practice conference «Science, Technology and Higher Education» (Westwood, 2017), «Машинашуносликнинг долзарб муаммолари ва уларнинг ечими» (Ташкент, ТИТЛП, 2019), «Инновационные решения инженерно-технологических проблем современного производства» (Бухара, БухТИПиЛП, 2019), «SMARTEX» (Иваново, ИВГПУ, 2018-2019), «Инновации молодежной науки» (Санкт-Петербург, СПбГУПТД, 2018), «Актуальные проблемы науки в развитии инновационных технологий

для экономики региона» (Кострома, КГТУ, 2010), «Научные исследования и разработки в области дизайна» (Кострома, КГУ, 2019), «Церевитиновские чтения» (Москва, РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2018-2019), «Мода и дизайн. Инновационные технологии» (Владикавказ, СОГУ им. К.Л. Хетагурова, 2010-2012, 2016-2017), «Искусство. Живопись. Графика. Скульптура. Керамика. Дизайн» (Казань, КНИТУ, 2019). «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (Москва, РГУ им. А.Н. Косыгина, 2016-2018), «Современные инженерные проблемы промышленности товаров народного потребления» (Москва, РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017-2019), «Физика. Технологии. Инновации» (Екатеринбург, УФУ им. Б.Н. Ельцина, 2018), «Интеллектуальные информационные системы» (Воронеж, ВГТУ, 2018-2019), «Актуальные проблемы социально-экономического развития современного общества» (Киров, КГМУ, 2020), «Хэйлунцзян-Приамурье» (Биробиджан, ПГУ им. Шолом-Алейхема, 2019), «Новые материалы и перспективные технологии» (Москва, СМУ РАН, 2018), «Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века» (Москва, РГУ им. А.Н. Косыгина, 2016-2019) и других.

Проведение автором теоретических и прикладных исследований, разработка программных продуктов осуществлялись при поддержке Минпромторга РФ в рамках выполнения госконтрактов №11411.0816900.19.050 от 13.04.2011 «Разработка систем автоматизированного проектирования конкурентоспособных текстильных изделий» и №12411.0816900.19.076 от 03.04.2012 «Разработка автоматизированной системы параметрического моделирования одежды сложных форм».

Разработанные универсальные модули интегрированной САПР одежды внедрены на швейных предприятиях России и Белоруссии, в том числе в г. Москва: ООО «Ремикс», АО НПП «Класс», ООО «Техмастер, ООО «БелосКом», ЗАО «Альпекс Класс», ООО «Мирион», ООО «Тримонти», ООО «Физио», ЗАО «Производственная коммерческая фирма Центр Моды «Медстильсервис», ООО «Славянка», ООО «Легпроммаркет», ООО «Самое Фенш Групп», ОАО «СТАРТ»; в Московской области: ОАО «Валерия» (г. Коломна), ООО «ПРАТО» (г. Лобня), ООО «Аллегро-Классика БЛШ» (г. Королев), ООО «Аран» (д. Шмеленки), ООО «Премьер Мода» (г. Лобня), ИП Картышева А.С. (п. Любучаны), ИП Правашинский В.В (г. Фрязино), ЗАО «Франт» (пос. Колычево), ООО «Вега» (г. Волоколамск), Торговый Дом «МЕУЧЧИ» (г. Лобня); ИП Жуков М.В. (г. Орел); ООО «Спецпошив» (г. Липецк); ЗАО «ПО Рассвет» (г. Чебоксары); ООО «Квалитет твайс» (г. Самара); ООО «РТМ Сервис» (г. Казань); ОАО «Сургутнефтегаз» (г. Сургут); ЗАО ПКФ «Элегант» (г. Ростов-на-Дону); ООО «Бувер Энтерпрайзес» (г. Рязань); ООО

«Швейное объединение Кузбасса» (г. Осинники Кемеровской обл.); ООО «СКАРА» (Новгородская обл., п. Волховец); ООО «Азовская швейная фабрика №13» (г. Азов Ростовской обл.), ООО «Бриг» (г. Нижний Новгород); ООО «Мега-Т» (г. Владивосток); КУПП «Витебчанка» (г. Витебск), с суммарным экономическим эффектом, составляющим 82831 тыс. руб. и полученным в связи с сокращением затрат времени на подготовку проектной конструкторско-технологической документации на новые модели и ускорения запуска в производство промышленных коллекций одежды. Разработанные методы виртуального конструирования и моделирования внедрены на ООО «Карамелли» (г. Москва) в процесс проектирования и изготовления изделий детского ассортимента, обеспечив получение экономического эффекта в размере 18511 тыс. руб.

Промышленная апробация разработанных методов виртуального моделирования одежды сложных форм проведена в производственных условиях швейных предприятий г. Москвы ООО «Остин», ООО «Студия Сервис», ООО «Анна Тарес», ООО «Классик Дизайн», ООО «Дизайн Люкс», ООО «Бизнес Партнер», ООО «Ателье-2», ООО «Гротеск», Московской обл. ООО «Аником», Владимирской обл. АО «Сударь» и Ростовской обл. «ИП Бакоев», где показала эффективность представленных разработок для интенсификации и повышения качества творческой работы специалистов.

Материалы диссертации используют в учебном процессе ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» бакалаврами и магистрами по направлениям подготовки 262200 «Конструирование изделий легкой промышленности» и 262000 «Технология изделий легкой промышленности».

**Публикации.** Основные теоретические и прикладные результаты диссертационного исследования опубликованы в 207 научных трудах, в том числе в 3 монографиях, 2 отчетах о НИОКР, 20 учебных пособиях, 46 статьях в рекомендуемых ВАК изданиях, 5 патентах на изобретения и полезные модели, 10 свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ и баз данных, в 80 материалах конференций и 41 статье в других научных журналах.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов по главам и работе в целом, библиографического списка, включающего 452 наименования, 9 приложений, содержит 55 таблицы и 170 рисунков. Объем работы составляет 369 страниц текста без учета приложений.

# 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО РЫНКА

## 1.1 РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ, ТЕХНОЛОГИЙ И ОБЪЕКТОВ

Изучение и моделирование процессов, *имитирующих человеческое мышление*, стали началом поиска универсального алгоритма и математических моделей, отражающих структуру мозга человека, значительное влияние на развитие которых оказали такие исследователи как *McCulloch W., Pitts W., Hebb D., Rosenblatt F., Minsky M., Hopfield J.* [212, 216, 280, 286, 323]. В 1940-х гг. *McCulloch W.* и *Pitts W.* создали вычислительную модель для нейронных сетей [280], а *Hebb D.* предложил гипотезу обучения на основе механизма пластичности нейронов [212]. В конце 1950-х гг. появилась модель лабиринтного поиска, в 1960-х гг. предложены методы эвристического программирования и математической логики [71]. В 1960-х гг. *Rosenblatt F.* разработал кибернетическую модель восприятия информации мозгом и алгоритм решения задач восприятия и распознавания с помощью нейроподобных вычислений [322, 323]. *Ивахненко А.Г.* и *Лана В.Г.* изложили теорию предсказания детерминированных и случайных процессов, предложили многослойные функциональные сети как метод работы с большими данными [30]. В 1970-х гг. развитие получает моделирование предметных знаний специалистов, а в 1980-х гг. – исследования искусственного интеллекта, создание экспертных и самообучающихся систем [71]. В 1984 г. *Kohonen T.* предложил алгоритм обучения для самоорганизующихся сетей [244], а в 1985 *Rumelhart D.E.* описал полный алгоритм обучения многослойной нейронной сети [47, 324, 325], что привело к стремительному развитию теории искусственных нейронных сетей.

К 2000-м годам интеллектуальные технологии позволили решать научные и практические задачи, превосходя возможности человеческого мозга [78]. Нейронные сети нашли применение при решении задач распознавания образов, моделирования ощущений, прогнозирования ситуаций, диагностики систем и управления процессами [47].

Понятие «интеллектуализации» по-разному трактуется различными авторами, интерпретация которых представлена в таблице 1.1.

**Таблица 1.1 - Интерпретация понятия «интеллектуализация»**

Автор	Определение
<i>Валькман Ю.Р., Суворов А.И.</i> , 1990, Институт кибернетики им. В.М. Глушкова [15, С.3]	разработка методов и средств обеспечения принятия решений в проектных процессах и экспериментальных исследованиях сложных изделий с использованием творческого (эвристического) подхода
<i>Добряков А.А.</i> , 1992, МГТУ им. Н.Э. Баумана [24, С.3]	обеспечение творческих форм профессиональной деятельности в САПР, осуществляемой путём: 1) компьютерного подкрепления эвристических результатов при повышении комфортности условий работы головного мозга; 2) автоматизированного поиска нового информационного содержания на основе расширения интеллектуальных возможностей машин
<i>Дозорцев В.М.</i> , 2006, Институт проблем управления РАН [116]	процесс привнесения составляющих интеллекта в систему управления, когда ключевыми являются не сами переносимые структуры интеллекта, а механизмы их продуктивного функционирования
<i>Гусев С.А.</i> , 2013, СГТУ им. Ю.А. Гагарина [68, С.15]	непрерывный процесс получения информации, ее увеличения, преобразования и обработки для поиска, выбора и принятия оптимального решения из множества сгенерированных идей, удовлетворяющего критериям, выбранным при постановке задачи

Среди ведущих информационных *интеллектуальных технологий* следует выделить [78]:

- ✚ *Инженерию знаний* как технологию разработки программного обеспечения на основе методов представления и преобразования знаний для поддержки принятия решений или для моделирования процессов [15, 16, 18, 31, 43, 47, 62, 73, 78, 84, 90, 100, 139].
- ✚ *Технологии экспертных систем* как инженерию знаний с учетом формальных правил описания предметной области и опыта экспертов для интерпретации результатов моделирования или наблюдения; для контроля, диагностики, прогнозирования, планирования ситуаций, процессов или систем; для поддержки организационных или управленческих решений [27, 29, 35, 67, 71, 81, 83, 107].
- ✚ *Технологии агентно-ориентированных систем (многоагентных систем)*, основанных на программных объектах (агентах), воспринимающих информацию из внешней среды для преобразования в собственные новые знания и в результате рассуждений последующего воздействия на среду для интерпретации ситуаций или конфигурирования систем [58, 74, 75, 112, 193].
- ✚ *Технологии распознавания образов, изображений, знаков* как автоматическое восприятие, идентификация и декодирование изображений, синтез и разделение по

группам в соответствии с их графическими признаками для интерпретации результатов моделирования или технического анализа изображений.

- ✚ **Технологии интерактивных систем** как формализация адаптации системы «среда-машина-человека» для автоматизации рабочих мест и разработки обучающих систем и тренажеров [166].

- ✚ Технологии распознавания и синтеза речи.

- ✚ Технологии интеллектуальной аутентификации.

- ✚ Технологии робототехнических систем.

- ✚ Технологии интеллектуального управления сетями.

Для реализации интеллектуальных информационных технологий разрабатываются «интеллектуальные системы», к определению понятия которых существует множество подходов, представленных в таблице 1.2.

Под *интеллектуализацией ЭВМ* в узком смысле понимают внедрение средств интеллектуализации компьютерного интерфейса для интерактивного решения профессиональных задач конечного пользователя без поддержки программистов, а в широком – разработку специальной аппаратуры (нейрокомпьютеры) или специального программного обеспечения (экспертные системы, базы знаний и т.д.) [13, 15], которые направлены на оптимизацию информационной среды, уменьшение сложности задач благодаря компьютерной поддержке и улучшение качества проектируемых объектов.

В результате прогресса компьютерных технологий устройства и предметы, которыми пользуется человек, становятся все более интеллектуальными, а его действия и потребности все больше связываются с техническими средствами, позволяющими многократно повышать возможности человеческой памяти. **Интеллектуальные объекты**, включая их устройство и интерфейс, ориентированы на адаптацию, модификацию, трансформацию и эволюционное развитие, вплоть до приобретения нового назначения. Человеко-ориентированные устройства могут быть связаны между собой и с компьютерами, чтобы обмениваться информацией и предоставлением сервисных услуг. **Интеллектуализация предметов широкого потребления** реализуется в интернет-устройствах, к которым можно отнести мелкие бытовые приборы с поддержкой Интернета и технологий обработки цифровых сигналов (DSP-технологии) [51]. **Средства интеллектуализации измерений**, интегрированные с объектом измерения и ресурсом для обработки информации, предназначены для получения

значений параметров объекта, позволяющих сделать заключение об его состоянии и сформировать рекомендации для автоматических управляющих воздействий [89].

**Таблица 1.2 - Трактовка учеными понятия «интеллектуальные системы»**

Автор	Определение
<i>Шестопал Ю.Т.</i> и др., 1995, ПензГУ [54, С.100]	система человек-компьютер, в которой компьютер реализует рассуждение, использующее структурированные данные из БД и знания из БЗ, способные не столько имитировать действия квалифицированного эксперта, сколько усиливать интеллектуальные возможности человека
<i>Григорьев В.П.</i> и др., 1998, МГТУ им. Н.Э. Баумана [48, С.1]	системы, обеспечивающие решение трудно формализуемых задач: 1) не выражаемых в числовой форме (смысловые и логические); 2) не имеющих чёткой целевой функции; 3) при отсутствии жёсткого алгоритма решения
<i>Бровкова М.Б.</i> , 2004, СаратовГТУ, [14, С.67]	самонастраивающиеся и самообучающиеся системы с гибкими процедурами принятия решений об управлении, базирующиеся на знаниях и формирующие новые знания в процессе функционирования и управления
<i>Башмаков А.И., Башмаков И.А.</i> , 2005, МГТУ им. Н.Э. Баумана [13]	любые биологические, искусственные или формальные системы, проявляющие способность к целенаправленному поведению, включающему свойства проявления общения, накопления знаний, принятия решений, обучения, адаптации и т.д., если в них реализованы три базовые функции: представления и обработки знаний; рассуждения и функция общения
<i>Частикова В.А.</i> , 2005, КубГТУ [107]	системы, способные решать творческие задачи в различных предметных областях, знания о которых содержатся в памяти системы
<i>Королев Е.Н.</i> , 2006, ВоронежГТУ [33, С.3]	системы, направленные на обучение проектированию сложных объектов, гибко адаптируемые к уровню знаний и взглядов специалистов, применяющих различные методы проектирования и легко реализующие изменения или расширение требований к системе
<i>Паринов А.В., Федорков Е.Д.</i> , 2007, ВоронежГТУ [43, С.81]	информационно объединенная совокупность технических средств и программного обеспечения, способная на основе знаний и мотивации определять цель, вырабатывать решение о действии и находить рациональные способы достижения цели
<i>Казанский Д.С.</i> , 2007, ИМ УО РАН [79]	человеко-машинный комплекс, оказывающий поддержку при решении сложных задач благодаря компьютерной обработке знаний специалистов-практиков
<i>Евменов В.П.</i> , 2009, СПбПУ Петра Великого [27, С.263]	системы, основанные на правилах; на автоматическом построении гипотез; на рассуждениях по аналогии и объектно-ориентированные, позволяющие транслировать интуитивных теорий формальным языком, уточняющим их содержание, и объединяющие процессы прямой и обратной связи между интуицией и формализацией
<i>Ершов А.А.</i> , 2013, СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича [73, С.40]	программно-технические системы, основанные на методах инженерии знаний, позволяющие решать сложные задачи, связанные с переработкой информации на семантическом уровне, содержащие базу знаний и её функциональную оболочку, называемую «решателем»
<i>Романов О.Т., Машкин М.Н.</i> , 2014, МАИ [49, С.3]	в узком смысле системы обеспечивают решение логических задач, а в широком смысле – используют рекурсивные алгоритмы обработки информации, иерархичность структуры и уровней формирования решений



*Концепция интеллектуализации объектов* включает в себя [51]:

- ❖ автоматизацию усилий и внимания человека в разных сферах путем их перевода в механические действия;
- ❖ обеспечение связи объектов с вычислительной средой для информационной поддержки от оператора, программы или активности объекта;
- ❖ интеграцию объекта с объектами и структурами разного уровня для обмена информацией;
- ❖ человеко-ориентированную адаптацию объекта, его развитие и обоснованную трансформацию;
- ❖ проявление активности и автономности в критических ситуациях;
- ❖ тенденции к миниатюризации и экономичности объектов, развитию беспроводных и голосовых способов коммуникации.

В качестве основных **принципов**, определяющих **требования к интеллектуальным технологиям, системам и объектам** нами выделены следующие:

- *повышение интеллектуальности* для компенсации неполноты, противоречивости, зашумленности или избыточности данных;
- *целевая направленность* решения задач, в том числе при отсутствии известных алгоритмов их решения;
- обеспечение *единого информационного пространства*, информационных каналов связи и информационной поддержки;
- *открытость*, проявляющаяся в масштабируемости и расширяемости систем и объектов;
- *обучаемость*, то есть способность приобретать знания, преобразуя известные примеры и другую информацию;
- *дружественность* интеллектуального интерфейса к пользователю;
- требуемый уровень *автоматизации* процессов и процедур;
- требуемый уровень расчетной и *вычислительной поддержки*;
- *прогрессивность*, отражаемая в эволюционном развитии в реальном времени;
- *адаптивность*, выраженная в способности использовать получаемые знания для самоорганизации и самонастройки;
- *обоснованность найденных решений* независимо от искаженности, зашумленности и противоречивости данных;

- *распознаваемость* оцениваемых ситуаций, процессов, объектов, в том числе для прогнозирования изменений и оперативного управления в динамически меняющейся среде;
- *комплексность и универсальность*;
- *отказоустойчивость*, то есть способность функционировать и сохранять работоспособность при разрыве структурных связей или выходе из строя некоторых элементов;
- *интеграция* процедурных и декларативных знаний.

## 1.2 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ, ЗНАНИЙ И ИНФОРМАЦИИ

Основное отличие данных от знаний заключается в том, что **знания** включают как данные, так и их интерпретацию [47]. Под **базой знаний** понимают формализованное представление совокупности сведений, требуемых для решения задач, рассматриваемых в заданной предметной области [73]. *Формализованные знания* являются универсальными для конкретных предметных областей и представляют собой строгие и общие суждения в виде формул, зависимостей, моделей, алгоритмов. *Неформализованные знания* отличаются субъективностью, нечеткостью и эвристикой и представляют собой обобщенный опыт высококвалифицированных специалистов [43]. **Информацию** определяют как данные, так и знания, представленные в виде, удобном для сбора, хранения, обработки и передачи [78]. Среди основных **категорий знаний** по предметным областям выделяют [18, 73, 71]:

- понятия, термины, базовые элементы материального мира;
- взаимосвязь между понятиями или элементами;
- достоверные факты и алгоритмы действий;
- правила и условия;
- обобщающие рассуждения и объяснения;
- структуру исходной и выходной информации;
- значения параметров;
- стратегии и концепции.

Первоначально модели представления баз знаний подразделяли на *декларативные* и *процедурные*. *Декларативные знания* – это совокупность данных, фактов и других сведений, описывающих текущую ситуацию и состояние объектов; в то время как совокупность используемых правил, приёмов и методов составляет *процедурные знания* [73]. Выбор способа и модели представления знаний зависит от поставленной задачи и предметной области [71] и обусловлен следующими факторами [67]:

- проблемной средой;
- архитектурой используемой интеллектуальной системы;
- потребностями и целями пользователей;
- лингвистическим обеспечением.

В основе разных способов представления знаний лежит *концепция онтологии*, являющаяся структурой каждой из предметных областей, включающая специализированное описание её метаданных, а именно состава и свойств её элементов и понятий, идентификацию и формализацию связей между ними [78, 100]. Между понятиями часто существуют только вертикальные иерархические отношения, без горизонтальных и межслойных взаимосвязей, что позволяет классифицировать их в виде дерева решений [166]. При построении онтологии используется системный и концептуальный анализ, знания о способах принятия решений в различных предметных областях. Онтологии определяют протокол и средства взаимосвязи для интеграции информационных систем [74]. Таким образом, *онтология* выступает «каркасом» для представления элементов знаний и связей между ними и помогает описать реальные объекты и явления в формализованном универсальном виде, пригодном для компьютерной обработки.

К основным моделям представления знаний следует отнести следующие [18, 29, 67, 71, 73]:

- тройки (объект-атрибут-значение);
- продукционные модели;
- логические модели;
- модели семантических сетей;
- фреймовые модели;
- объектно-ориентированные модели;
- модели на основе нейронных сетей;

- модели, основанные на реляционной алгебре, сетях Петри, теории нечетких множеств, предикатах, псевдофизической логике и др.;
- гибридные модели представления знаний.

**Продукционные модели**, предложенные в 1943 г. *E. Post*, наиболее распространены [311] и основаны на правилах, которые представляют некоторое условное утверждение (если  $\rightarrow$  то) в различных интерпретациях и схематически читаются следующим образом: если верны предпосылки *Ап*, то можно сделать заключение *Вт*; или если возникает ситуация *С*, то следует действие *Д*; или если верны предпосылки *Ап*, то можно сделать заключение *Вт*. Для решения формализуемой задачи продукционная модель задает возможные действия для перемещения из исходной точки через определенные множества фактов до финального заключения с помощью активирования соответствующих правил, применяемых в каждой конкретной ситуации. Преимуществами продукционных моделей являются: высокая модульность благодаря описанию каждым правилом относительно небольших и независимых фрагментов знаний; удобство модификации базы знаний благодаря легкости внесения дополнений, изменений и замены старых правил на новые; возможность наращивания базы знаний благодаря добавлению новых правил относительно независимо от старых; прозрачность системы благодаря способности к объяснению принятых решений и полученных результатов; простота механизма логического вывода; наглядность [67, 71, 73].

**Логические модели** основаны на описании задачи в виде набора аксиом, то есть на исчислении предикатов первого порядка, труднореализуемом в программном обеспечении [18, 67, 73].

**Семантическая сеть** основана на принципе формирования «памяти» через ассоциации между понятиями и представляет собой информационную модель предметной области в виде графа, вершины которого отображают объекты, такие как события, абстрактные или конкретные понятия, действия и т.д., а дуги - отношения или связи между объектами [18, 62, 67, 73]. В семантических сетях используют отношения «часть-целое», «класс-подкласс», «элемент-множество», а также функциональные, количественные, пространственные, временные, атрибутивные, логические и лингвистические связи [99, 100]. Преимуществом семантических сетей является простота и естественность представления и обновления структурированных знаний [62], а недостатком - сложность процедуры поиска вывода [67]. Семантические сети используют

для *представления знаний* в интеллектуальных системах поддержки принятия решений и автоматизированного проектирования [62].

**Фреймовые модели**, предложенные *M. Minsky* [286], определяются как структура данных для представления типовых ситуаций с информацией об объектах, ожидаемых событиях и механизме использования этой информации. Фрейм выступает в роли средства, преобразовывающего декларативные и процедурные знания в структуру записей. Фреймовая модель представляет собой условную конструкцию, включающую отдельные блоки (слоты), которая позволяет наследовать свойства и иерархию элементов знаний. Преимуществом фреймовых моделей является возможность структурировать эвристические знания путем создания правил, классификаций и иерархического представления объектов, что удобно для применения в системах автоматизированного проектирования (САПР) [67, 73].

**Объектно-ориентированные модели** можно назвать комбинированными, благодаря использованию большинства инструментов известных способов представления знаний, принципов иерархии и наследования свойств, характерных для современных языков программирования. Достоинством объектно-ориентированного подхода представления знаний является хорошая структурируемость и инкапсуляция данных, наличие механизмов полиморфизма и наследования, что позволяет использовать его в гибких информационных системах [73, 79].

**Нейронные сети** выступают в качестве модели «неявного» представления знаний, лежат в основе механизма самообучения систем и требуют рутинных процедур изучения примеров в большой выборке [112]. Они позволяют формализовать представление знаний в модели, имитирующие строение человеческого мозга и трудно интерпретируемые специализированными средствами [73].

**Реляционные модели** когда основаны на *ERA*-подходе «сущность-связь-атрибут», ориентированы на моделирование данных в виде структур данных и предназначены для создания систем управления базами данных (СУБД) [16].

Комбинирование различных моделей представления, обработки и интерпретации данных реализуется в форме *гибридных моделей представления знаний* [73].

К **статическим типам знаний** относят *инстинкты* и *убеждения*, создаваемые программистом в виде правил продукции, которые конечному пользователю трудно модифицировать. *Умения* являются процедурным типом знаний, которые хранятся в виде

неоткомпилированного кода части программы и могут редактироваться конечным пользователем, чтобы дополнять базу знаний. *Предпочтения*, связанные с текущим пользователем и проектируемым объектом, являются совокупностью правил продукции и фактов, усваиваемых для проведения выводов, и предназначены для осуществления контролирующих функций в рамках всей системы [58].

К *динамическим знаниям* относят *полагания*, которые представляют в виде базы ранее применяемых прецедентов в виде элементов проектного решения, которые могут дополняться или изменяться конечным пользователем. Каждый прецедент хранится в виде формализованного графового описания совокупности конструктивных элементов, достаточного для его успешной интеграции в структуру проектного решения [58].

Формализация *моделирования и обработки знаний* опирается на различные модели представления сложных данных и знаний разных категорий, на механизмы анализа, синтеза и обобщения [16], гармонизации, интеграции и слияния информации, интеллектуальной обработки данных и извлечения новых знаний (*Data Mining*). Под *гармонизацией информации* можно понимать стандартизацию данных по предметным областям для доступа к наибольшему числу информационных ресурсов и преобразования информации в вид, удобный пользователю. *Интеграция информации* обеспечивает объединение информации от различных источников, а *слияние информации* – использование этих данных для анализа, обобщения, структурирования и принятия решений [78].

Среди профессиональных экспертных знаний, используемых для проектирования, выделяют следующие виды:

- ✓ явные знания, представимые в словесной форме для изложения мнения специалиста;
- ✓ знания, основанные на практическом опыте, которые можно формализовать;
- ✓ неявные знания, основанные на опыте и интуиции и применяемые для креативных и творческих решений [18, 70].

В интеллектуальных САПР формализуемые знания используются на этапах общего проектирования в форме продукции, в то время как для создания творческих решений необходимы профессиональные умения, навыки, опыт и интуиция специалистов.

### 1.3 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Среди известных типов интеллектуальных систем нами выделены нижеследующие.

➤ **Интеллектуальные системы поддержки принятия решений (ИСППР)**

предназначены для управления процессами или объектами в условиях неполной, неточной и неопределённой информации [62] и опираются как на строгие математические методы поиска решений, так и на эвристические, экспертные знания и модели человеческих рассуждений и накопленного опыта. Структура системы включает независимые модули, связанные информационными потоками для реализации ситуационного анализа, разработки массива альтернативных прогнозов, каждый из которых отражает связь между изменением внешних условий и результирующими переменными [31].

С развитием информационных технологий увеличивается количество, размер и сложность хранилищ и баз данных, извлечение содержательной информации из которых требует автоматизированного анализа большого объема данных, для чего используются *технология интеллектуального анализа данных (Data Mining/ DM)* [90, 294]. Для выявления закономерностей в характеристиках извлеченных данных используют *технология оперативной аналитической обработки данных (On-Line Analytical Processing/ OLAP)*. Отличия средств *DM* от *OLAP* заключается в поиске скрытых закономерностей в данных вместо проверки предполагаемых зависимостей, то есть оперативная аналитическая обработка данных (*OLAP*) имеет дедуктивный характер и требует непосредственного участия экспертов, а интеллектуальный анализ данных (*DM*) имеет индуктивную природу и реализуем в автоматическом режиме. На следующем этапе обработки данных для принятия решений применяют *технология выявления знаний в базах данных (Knowledge Discovery in Databases/ KDD)*, включающую постановку задачи, сбор и обработку исходных данных, извлечению ценных сведений о нетривиальных, содержательных закономерностях в хранимых данных для прогнозирования развития ситуаций [84].

Следует отметить наиболее применимые *методы интеллектуального анализа данных*, а именно: прикладная статистика, нейронные сети, поиск логических

закономерностей в данных, рассуждения на основе аналогий и прецедентов, эволюционные и генетические алгоритмы, визуализация многомерных данных.

❖ *Методы прикладной статистики* включают исследование взаимосвязей между исследуемыми переменными с помощью корреляционного, регрессионного, факторного, дискриминантного, кластерного, латентно-структурного анализа, многомерного шкалирования и другие, к недостаткам которых относят высокие требования к подготовке пользователя.

❖ *Нейронные сети* основаны на распределении процесса обработки информации между нейроэлементами, имеющими синаптические связи, которые могут корректироваться в процессе выявления закономерностей в данных путем обучения нейронных сетей. В системах поддержки принятия решений, оперирующих неполными, трудноформализуемыми и неточными данными, нейросетевые модели считаются одним из самых эффективных инструментов решения широкого круга задач когнитивистики, прогнозирования и управления [105]. При решении слабоформализуемых задач используют нейрокомпьютерные технологии и нейронные сети в качестве средства информационно-логической обработки с широкими возможностями моделирования сложных зависимостей в силу нелинейной природы и способностью учиться на примерах путем запуска алгоритма обучения по автоматически подбираемой структуре представительных данных [31]. Основными недостатками нейронных сетей являются большой размер обучающей выборки, отсутствие универсальных настроек и топологий, неинтерпретируемость человеком.

❖ *Поиск логических закономерностей в данных* заключается в выявлении информации, определяющей полезность сочетаний значений признаков для последующей классификации и прогнозирования. Результаты оформляют в виде деревьев решений, где каждому объекту соответствует единственный узел, отражающий решение [84]. Преимуществом этого метода является наглядность результатов, а недостатком - сложность и длительность перебора вариантов для поиск оптимального решения.

❖ *Рассуждения на основе аналогий* опираются на выводы, основанные на выявлении подобия между несколькими объектами для переноса знаний и предсказания ранее неизвестных фактов. Поиск аналогий применяют при выдвижении гипотез или для схематичного обобщения опыта. *Рассуждения на основе прецедентов (накопленного опыта)* направлены на решение новой задачи, исходя из адаптации уже известного. При



отсутствии результата поиска решения на основе прецедентов используют более мощный метод поиска решения на основе аналогий [62]. Недостатками данного подхода считают: отсутствие создаваемых моделей или правил, обобщающих предыдущий опыт; хранение значительного объема примеров для достижения удовлетворительного прогноза.

❖ *Эволюционные и генетические алгоритмы* дополняют другие методы в силу своей специфики, использующей биологические принципы эволюционного или генетического развития для выявления взаимосвязи между целевой и другими переменными, в том числе для обучения нейронных сетей. Применяются процедуры естественного отбора лучших решений, скрещивания, мутаций и другие [84].

❖ *Визуализация многомерных данных* позволяет представлять исследуемые данные в диаграммах, придавая им свойства графических элементов: цвет, форму, пространственную ориентацию, размеры и другие, что позволяет ускорить формулирование выводов и улучшить их интерпретацию.

*Принятию решений* предшествуют этапы анализа, оценки ситуации, прогнозирования, моделирования, оценки вариантов, формализации и алгоритмизации [15, 31]. Выработка рекомендаций пользователю осуществляется путем сопоставления заданных моделей процессов с информацией, поступающей в реальном времени.

### ➤ **Экспертные системы**

Вербализация знаний эксперта в компьютерной базе данных, не превращает ее в экспертную систему, так как по каждой проблеме существует много экспертов с различающимися мнениями [27]. К *экспертным системам* относят программные вычислительные комплексы, аккумулирующие формализованные и организованные знания специалистов в конкретных предметных областях для тиражирования этого эмпирического опыта, принятия качественных решений и консультирования менее квалифицированных пользователей [71, 35, 67].

*К особенностям экспертных систем* нами отнесены:

- четкая ограниченность предметной области и определённой сферой экспертизы;
- способность к рассуждениям при нечётких данных и к принятию решений в условиях неопределенности;
- способность приобретения новых знаний от квалифицированных экспертов или от результатов решения задач для постепенного наращивания системы;

- мощность экспертной системы, обусловленная мощностью базы знаний и возможностью ее пополнения;
- обеспечение институциональной памяти, представляющее собой свод квалифицированных мнений и постоянно обновляемый справочник наилучших стратегий и методов;
- результат, выдаваемый в виде конкретных рекомендаций для действий;
- решение трудных и неформализованных задач;
- использование символьных рассуждений;
- алгоритм решения, неизвестный заранее и построенный системой (самонастройка);
- знания для решения неформализованных или слабоформализованных задач, являющиеся в основном эвристическими, экспериментальными, неопределенными, правдоподобными;
- возможность обучения на ошибках при отсутствии оптимального решения (самообучение);
- ясность решений и пути их получения;
- способность к анализу и понятному объяснению цепи рассуждений, своих действий и знаний (самосознание);
- прогностические возможности, позволяющие показать, как изменятся ответы для конкретной ситуации в новых обстоятельствах с подробным объяснением что именно и как привело к изменениям;
- обеспечение дружественного, естественно-языкового интерфейса для непосредственного диалогового взаимодействия с пользователем [35, 43, 67, 71, 107].

*Структура экспертной системы* состоит из следующих элементов [29, 35, 71, 107]:

- *база данных* для хранения исходных и промежуточных данных;
- *база знаний* для хранения долгосрочных данных, правил, связей, функций и процедур, реализующих оптимизационные, расчетные и другие алгоритмы;
- *модуль извлечения знаний*, представляющий собой интерфейс для получения знаний от эксперта и их формализованного представления, в том числе в форме правил;
- *машина логического вывода* для получения новых данных на основе сопоставления исходных данных и базы знаний, которое состоит из процедур выбора,

сопоставления правил и фактов, определения порядка их использования и выполнения соответствующих действий;

- *система объяснения;*
- *интерфейс работы с пользователем.*

*Динамические экспертные системы*, исходные данные которых меняются во время решения задачи, могут решать задачи оптимизации, прогнозирования, моделирования результатов, объяснять способы их получения и на их основе формировать новые знания, которые затем включает в свою базу знаний [43].

Применение экспертных модулей систем позволяет минимизировать субъективные ошибки экспертов, ускорить и стандартизировать принятие решений, снизить требования к квалификации и численности персонала, аккумулировать и систематизировать знания о разных предметных областях [81, 83].

#### ➤ **Мультиагентные системы**

базируются на восьми базовых отношениях: знания, полагания, желания, намерения, цели, обязательства, предпочтения и мотивации, зависящих от вида и предназначения системы, типа используемых знаний, среды функционирования и ожидаемых результатов [58]. *Интеллектуальными агентами* называют программные компоненты, способные обмениваться данными, знаниями и общаться с другими агентами, осуществлять диалог с пользователем посредством графического интерфейса, обладать высокой автономностью и целенаправленным поведением, воспринимать ситуацию и мгновенно принимать решения в разных предметных областях, использовать механизм самообучения на основе известных сценариев поведения или прецедентов из базы знаний [58, 112]. Программное обеспечение включает в себя набор интеллектуальных элементов проектирования, представляемых в виде графа, вершины которого – конструкторские элементы информационного фонда с онтологическими наименованиями, а рёбра - наличие взаимосвязей между ними, и дополняющих интерфейс пользователя агентными диалогами и средствами менеджмента знаний [58]. С помощью *онтологического* описания предметной области агенты получают универсальные понятия и правила для «понимания» друг друга и достижения цели, а использование методов искусственного интеллекта способствует повышению эффективности мультиагентных систем управления и поддержки принятия решений [74].

По мнению французских исследователей из *Université de Technologie de Belfort-Montbéliard* (Fougères A.-J., Ostrosi E., 2018) использование агентных технологий в САПР позволяет повысить как уровень знаний, так и интеллектуальность виртуального моделирования. Предлагаемые ими агенты представляют собой элементарные геометрические и топологические объекты, включающие в себя функции наблюдения, принятия решений, действий на основе собственных знаний, обладающие способностью к коммуникации и рассуждениям, моделируемые как биодинамические объекты с присущими им свойствами слияния, разделения и умножения для формирования интеллектуальных функций в рамках парадигмы агентно-ориентированного программирования [193].

*Березняцким А.В.* предложена классификация интеллектуальных агентов по степени их интеллектуальности [58]:

- рефлексивные, опирающиеся на комплекс неизменных знаний, в соответствии с которым и строится их поведение;
- адаптивные, корректирующие свою базу знаний в соответствии с изменением среды функционирования;
- смышлённые, использующие искусственный интеллект для достижения цели;
- интеллектуальные, имеющие развитые интеллектуальные функции.

Для повышения эффективности решения задач применяют *биоинспирированные эвристические* алгоритмы, основанные на природных явлениях, предполагающие параллельную проработку сразу нескольких альтернативных решений и включающие следующие этапы [75]:

- 1) Инициализация популяции – создание в области поиска заданного числа агентов, в разной степени приближенных к искомому решению.
- 2) Генерация новых агентов – генерирование или изменение агентов для итерационного приближения к искомому оптимуму.
- 3) Завершение поиска – проверка достижения определенного значения целевой функции и принятие лучшего из вариантов решений популяции.

Среди *основных свойств агентов* у всех биоинспирированных алгоритмов выделяют [75]:

- ✓ автономность, характеризуемую независимым перемещением агентов в пространстве;

- ✓ стохастичность, отличающуюся произвольностью процесса создания новых агентов;
- ✓ коммуникабельность, отражающую способность к обмену выявленной информацией;
- ✓ децентрализацию, обусловленную отсутствием агентов, управляющих поиском.

*Многоагентные системы интеллектуальной поддержки принятия решений* строятся на базе распределенного искусственного интеллекта, где каждый агент обеспечивает взаимодействие с другими агентами, сетевыми ресурсами и пользователями [31]. Гибридная архитектура многоагентных систем позволяет гибко комбинировать возможности всех подходов.

#### **1.4 НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Интеллектуализацию следует признать ведущей тенденцией эволюции систем автоматизированного проектирования, первоначально ориентированных на сокращение рутинных процедур [226] и впоследствии получивших возможность автоматизировать графические работы и оптимизировать выбор конструкторских решений благодаря происходящему расширению баз знаний и обобщению проектных решений [99]. На смену *чертеж-ориентированного подхода* передачи данных между подсистемами САПР пришёл *модель-ориентированный подход*, формализующий трансформацию данных в компьютерной модели проектируемого изделия [79]. На современном этапе можно отметить развитие интеллектуальных и интегрированных систем проектирования, направленных на создание новых знаний и выполнение проектов с минимальным вмешательством человека. Перспективы перехода к *автоматическому проектированию* (без вмешательства человека) связаны с внедрением методов естественной формализации технического задания и алгоритмизации творческого проектирования [56].

По мнению японских ученых из *International Professional University of Technology Tokyo (Tomiyama T., 2007)* целью первоначальной разработки интеллектуальных САПР была частичная автоматизация проектирования изделий с минимальными входными данными и участием пользователей. «Интеллектуальные» модели поведения

большинства САПР, основанных на знаниях, прежде всего опирались на решение задач параметрического проектирования и управления ограничениями. Позже основными концепциями развития интеллектуальных САПР стали: 1) интенсификация использования экспертных знаний для проектирования изделий разными способами; 2) демонстрации возможности генерирования и управления знаниями [226]. Процесс проектирования требует применения различных моделей знаний, так как разные этапы творческой деятельности конструктора невозможно описать одной моделью [67].

Исследования, проведенные в *Zhejiang University* (Zhang S. et al., 2017), показали, что развитие интеллектуальных технологий больших данных и киберфизических систем привело к повышению спроса на проектирование новых продуктов. В современном *цифровом проектировании* изделий используют методы геометрического моделирования, кинематическую и динамическую симуляцию поведения объекта, мультидисциплинарные связи, виртуальный монтаж деталей изделия, технологии виртуальной реальности (VR), многоцелевую оптимизацию процесса и интерактивное взаимодействие человека с компьютерной системой. Ключевые технологии *интеллектуального проектирования* для персонифицированных изделий включают в себя: описание и анализ требований заказчика (*customer requirements/ CRs*), проектирование серии аналогов изделий для пополнения базы проектных решений, проектирование конфигурации, модулей и вариантов дизайна персонифицированных продуктов, продвижение знаний для интеллектуального проектирования продукции [393]. К особенностям *проектно-конструкторских задач интеллектуальных САПР* относят [24]:

- неопределенность исходных данных;
- неформализуемость качественных характеристик;
- многокритериальность выходных данных;
- многовариантность целей функции полезности.

В основе методологии автоматизированного проектирования сложных объектов лежат представления о процессе *проектирования* и его *автоматизации*, научная интерпретация определений которых представлена в таблицах 1.3 и 1.4.

Развитие процесса проектирования происходит при изменении политических и социальных аспектов поведения потребителей, когда требуется творческое «озарение» для создания новых перспективных решений [23]. Особенностью промышленного

проектирования продуктов и процессов является: эвристический характер знаний специалистов; многовариантность изготовления каждого изделия; сложность формализации параметров объектов и процессов [48].

**Таблица 1.3 – Научные определения понятия «проектирование»**

Автор	Определение
<i>Машкин М.Н., Романов О.Т., 2000, МАИ [39, С.8, 14]</i>	процесс распознавания объекта, отвечающего поставленным заказчиком целям, и представляющий собой некоторую последовательность допустимых преобразований исходного описания проектируемого объекта, заданного в техническом задании, в некоторое конечное описание, позволяющее изготовить этот объект средствами производства
<i>Суворов В.В., 2006, МГУ им. М.В. Ломоносова [51, С.333]</i>	1) процесс преобразования объективной потребности, происходящей из внешних обстоятельств, в результат, который является материализованным звеном в эволюционирующей технологической среде; 2) творческий интеллектуальный труд субъекта, самоорганизованного в технической среде, в отношении локализованного информационно-модельного представления объекта, формирующегося в программной среде компьютерной системы, которые взаимодействуют между собой не только посредством информационного обмена, но и становясь звеньями многопараметрической связи
<i>Головицына М.В., 2016, МГОУ им. В.С. Черномырдина [19]</i>	процесс, состоящий из взаимосвязанных и последовательных этапов: разработка технического задания; предварительное проектирование результатом которого является техническое предложение; эскизный проект; технический проект; рабочий проект; технология испытания и изготовления разработанного объекта (сертификация)
<i>Добренко Н.В., 2018, СПбНИУИТМО [70, С.10]</i>	многоступенчатый итерационный процесс с возрастающей детализацией и точностью проработок, связанный с получением достоверной и полной информации и позволяющий принимать решения на основе оптимальных компромиссов с минимальным техническим и экономическим риском

По степени формализации процессы проектирования можно разделить на две группы [56]:

- ✓ *формализуемые*, к которым относят инженерные расчеты, проектирование типовых моделей и процессов, выбор по заданным критериям проектных решений, адаптивное моделирование, оформление конструктивно-технологической документации и др.;
- ✓ *трудно/ слабо формализуемые*, к которым относят концептуальный дизайн, художественное моделирование, структурный анализ и параметрический синтез изделий, создание оригинальных конструкций и технологических процессов и др.

Формализуемые процессы можно полностью алгоритмизировать и автоматизировать, в то время как для алгоритмизации трудноформализуемых процессов необходимо творческое участие человека или использование искусственного интеллекта.

**Таблица 1.4 – Научное представление понятия «автоматизация» в аспекте проектирования**

Автор	Определение
<i>Барков И.А.</i> , 2007, ИжевГТУ [56, С.16]	умение адекватно представлять информацию в виде структур данных и алгоритма их обработки
<i>Волкова Г.Д.</i> , 2013, МГТУ «Станкин» [16, С.11]	переход от естественно-языкового представления информации и предметных знаний, зафиксированных на бумажных носителях и в памяти специалистов, к формально-языковому представлению в памяти компьютера
<i>Запорожец Д.Ю.</i> , 2015, ЮФУ [75, С.5]	систематическое использование ЭВМ для выполнения проектных процедур при оптимальном распределении творческих способностей сотрудников, для исключения трудоемких работ и поиска эффективных решений трудно формализуемых задач

В настоящее время в наибольшей степени автоматизированы проектные процедуры разработки текстовой и графической документации проектируемого объекта, завершающих стадий эскизного, технического и рабочего проектирования. Интеллектуализация этих процедур ориентирована на генерацию текстовой и чертежной конструкторской документации на основе указанного конструктором прототипа и краткого описания нового изделия. Интеллектуализация инженерного проектирования сводится к таким видам человеческой деятельности, как *анализ, эвристика, оценка и выбор* [342]. Основной принцип интеллектуальности САПР заключается в систематическом накапливании знаний специалистов в базе знаний для их использования при автоматизированном проектировании [49].

По мнению специалистов Омского ГТУ (*Крысова И.В.*, 2014), Таганрогского ГРУ (*Гречин И.В.*, 2003), СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича (*Ершов А.А.*, 2013), Уральского ГТУ (*Захарова Г.Б.*, 1993), ИМ УО РАН (*Казанский Д.С.*, 2007), Ижевского ГТУ (*Барков И.А.*, 2007), Тверского ГТУ (*Семенов Н.А.* и др., 2014) **интеллектуальные САПР** отличаются наличием развитых средств поддержки процессов: интеллектуального анализа данных и ведения баз данных о предметной области; автоматизации и инженерии знаний, логического вывода и многоэтапного формирования экспертных заключений; обоснованного выбора входной и выходной информации подсистем; накопления и обобщения опыта; анализа, синтеза, оптимизации и принятия творческих решений. Характерной особенностью интеллектуальных САПР является использование *семантического моделирования*, отображающего форму, структуру и свойства проектируемого изделия через конструкторско-технологические данные для логических



суждений о корректности и свойствах базовой модели изделия. [35, 56, 67, 73, 76, 79, 129]. Для повышения уровня интеллектуализации САПР используют технологии экспертных систем, включающие механизм логического вывода и продукционную базу знаний, для представления которой применяют деревья решений. Интеллектуальные САПР необходимы при отсутствии проработанных методик проектирования, значительных затратах творческого труда, неполноте проектной информации. Задачей *обучающих интеллектуальных САПР* является обучение системных пользователей принятию инженерных решений, проверке гипотез и навыкам технического творчества [33].

Профессором Ульяновского ГТУ *Ярушкиной Н.Г.* выделено четыре фундаментальных парадигмы в истории интеллектуализации САПР [139]:

- 1) *человеко-машинного взаимодействия*, предложенной *А. Тьюрингом (A. Turing)* [357] и изложенной как гипотеза: «система обладает интеллектом, если способна вести диалог» и впоследствии расширенная методами построения диалоговых, вопросно-ответных, проблемно-ориентированных подсистем САПР с интерфейсом, «дружелюбным» пользователю;
- 2) *инженерии знаний*, основанной на отличии знаний от данных и реализованной в декларативно процедурных моделях знаний, таких как фреймы, семантические сети и продукции, с помощью таких процессов обработки знаний, как извлечение, представление и использование, которые стали основой для внедрения в САПР экспертных систем различного типа и назначения, включая:
  - *нечеткие экспертные системы*, опирающиеся на функции принадлежности, фиксирующие совокупность лингвистических переменных и нечётких продукций на базе предшествующих решений или опыта экспертов;
  - *мягкие экспертные системы*, опирающиеся ещё и на нейронные сети, и на генетические алгоритмы для многокритериального выбора решений [70];
- 3) *мягких вычислений*, основанной на принципе неопределенности рассуждений и теории нечетких систем, сформулированных *Л. Заде (L. Zadeh)* [389], и опирающейся на методологию нечёткой логики, генетических вычислений и нейрокомпьютинга при решении проблем отсутствия полноты информации и недостаточного определения самой задачи;
- 4) *вычислительного интеллекта*, основанного на синтезе бионических и формализованных символьных методов, представляющего собой совокупность

формальных математических методов и обеспечивающего качественный рост интеллектуальных возможностей САПР.

*Состав САПР* включает следующие виды обеспечения: техническое (технические/ аппаратные средства для обработки, хранения, передачи информации, организации коммуникации с пользователем, изготовления проектной документации); информационное (документы с описанием стандартных проектных процедур, типовых проектных решений, материалов и комплектующих); программное; методическое; организационное; лингвистическое [27]. Интеллектуальные *компоненты САПР* подразделяют на следующие типы:

- ✓ интеллектуальные информационно-поисковые системы (доступа к данным);
- ✓ средства диалога пользователей с базами данных и знаний;
- ✓ интеллектуальные расчетно-логические системы;
- ✓ интеллектуальные пакеты прикладных программ;
- ✓ экспертные системы [35, 49].

*Структура проектно-конструкторской деятельности* включает следующие этапы:

- ❖ информационная подготовка, общий замысел – выявление ключевых параметров, выражение их содержания на едином языке;
- ❖ формирование структуры решения – анализ прототипа, композиция, декомпозиция;
- ❖ оценка результатов и корректировка – обобщение и идеализация, корректировка с поиском приемлемых альтернатив (многопараметрический выбор рационального проектно-конструкторского решения) [24].

Конструктору предоставляется три вида основных *интеллектуальных поддержек* в форме формальных указателей:

- 1) стратегии, тактики и корректировки процесса проектно-конструкторской деятельности с позиции управления качеством решения.
- 2) структуры проектируемого объекта, содержащие ограничения, взаимосвязи и отношения параметров, характеризующих состояние объекта.
- 3) ориентировочной основы поисковых действий для их упорядочивания [24].

Описание *свойств проектируемого объекта* характеризуется иерархической соподчиненностью, так что каждое последующее свойство описывается более детально и

полно и включает в себя ранее описанное. К атрибутивным свойствам проектируемого объекта относят описания удовлетворяемой потребности или функции изделия, его конструктивное и технологическое решения, перечень требований; показатели качества и условия окружающей среды. Элементами *обобщенной математической модели объекта* проектирования являются: 1) множество варьируемых параметров объекта; 2) множество входных независимых параметров, определяющих среду функционирования объекта; 3) математический оператор, определяющий систему математических операций по описанию численных или логических соотношений между вышеназванными параметрами, среди которых может быть и целевая функция [49]. Степень адекватности обобщенной математической модели объекту проектирования определяется постановкой и корректностью решения задачи проектирования.

В качестве *требований к моделям объектов* выделяют следующие [43]:

- адекватности, то есть соответствия реальному объекту относительно выбранной системы свойств с разумной точностью качественного и количественного описания свойств объекта;
- продуктивности, то есть действительно заданных исходных данных путем измерения, расчета, поиска в справочнике;
- робастности, то есть устойчивости относительно погрешности в исходных данных;
- наглядности, то есть ясности содержательного смысла модели для возможности её контроля и прогнозирования результата моделирования.

*Описание объекта* проектирования, как правило, требует его структурирования на иерархические уровни и аспекты. При *конструкторском проектировании* иерархическими уровнями являются: уровень изделия, уровень узлов, входящих в это изделий; уровень деталей, входящих в узлы. При *технологическом проектировании* выделяют уровень принципиальной схемы процесса; уровень проектирования маршрутной технологии и уровень операционной технологии [54].

В качестве *форм представления моделей объектов* выделяют следующие [24, 31, 43]:

- *инвариантная*, запись состояния модели математическим языком, без описания метода решения;
- *алгоритмическая*, запись модели в форме алгоритма;

- *аналитическая*, запись модели в виде результата аналитического решения, представленного выражением выходных переменных как функции внешних и внутренних параметров;
- *схемная или графическая* форма, представление модели на графическом языке;
- *концептуальная модель*, совокупность существенных отличительных признаков и их представление с достаточно высокой степенью абстракции;
- *феноменологическая модель*, отражающая познавательное (инновационное) содержание объекта и являющаяся методической основой взаимодействия естественного и искусственного интеллектов.

К преимуществам интеллектуализации и автоматизации проектирования следует отнести способность: [31, 35, 49, 51, 56, 67, 91, 106, 122, 139]:

- ✓ обеспечить уверенное, результативное и сбалансированное функционирование систем проектирования;
- ✓ существенно повысить уровень интеллектуальной обработки информации, степень её автоматизации и диапазон решаемых задач;
- ✓ резко повысить производительность и результативность труда благодаря разработке полного комплекса технической документации небольшим количеством специалистов;
- ✓ аккумулировать и тиражировать уникальный опыт и новые технические достижения, чтобы сократить количество проектных ошибок и улучшить качество проектирования;
- ✓ изменить степень влияния субъектов на процесс проектирования: уменьшить влияние пользователя САПР и усилить влияние потребителя продукта;
- ✓ уменьшить трудоемкость проектирования с повышением качества решений;
- ✓ сократить сроки проектирования в целом за счет уменьшения времени для принятия решения на трудноформализуемых этапах проектирования и ускорить процесс производства новых изделий;
- ✓ повысить качество изделий, выраженное в конкретных значениях технических характеристик, и расширить ассортимент выпускаемой продукции;
- ✓ создавать изделия, чрезмерно сложные для воплощения традиционными способами, поддерживая и интенсифицируя творческую активность разработчиков;
- ✓ выполнять испытание изделий в виртуальном пространстве.

## 1.5 МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИДЕЙ И РЕШЕНИЙ

Моделирование интеллекта является системообразующим принципом функциональных систем, в которых креативная составляющая составляет важнейший структурный элемент системы, предопределяющий её целевое назначение. Интеллектуальная автоматизированная поддержка особенно актуальна для интенсификации творческой деятельности при креативном создании новых изделий, когда присутствует высокая неопределенность, связанная с ожиданием реализации оригинальных концептов и отсутствием уверенности в достижении результата, успешного и в техническом, и в экономическом аспектах. Особое место в автоматизированном проектировании занимает **поисковое конструирование**, направленное на генерацию новых, ранее неизвестных технических решений благодаря моделированию творческих способностей человека и автоматизации решения эвристических задач, в том числе изобретательства, оптимизации, структурного синтеза [35, 49, 51].

**Концептуальное проектирование** принципиально новой продукции предполагает решение трудноформализуемых задач и многоаспектных проблем. Для концептуального проектирования новых изделий можно использовать **когнитивные технологии**, отображающие процессы человеческого мышления, воображения, ассоциативного восприятия мира, преобразования опыта в знания и умения, развития и использования интеллекта. **Инструментарий когнитивных технологий** позволяет радикально интенсифицировать информационные технологии с помощью эвристического подхода [106]. **Концептуальный анализ** направлен на моделирование объектов или процессов в областях высокой сложности, что требует использования методов научного познания для получения новых знаний о сущностях и их отношениях [123].

Критерии развития техники и технологии подразделяют на следующие группы:

- **функциональные**, характеризующие важнейшие показатели реализации функции объекта или процесса;
- **технологические**, связанные с возможностью и простотой изготовления объекта или организации процесса;
- **экономические**, определяющие экономическую целесообразность реализации функции объектом или процессом;

➤ *антропологические*, связанные с воздействием создаваемого объекта или процесса на людей [46].

Быстрое научно-технологическое развитие общества ведет к повышению сложности новых продуктов и обуславливает необходимость генерирования оригинальных идей и проектирования изделий в кратчайшие сроки. *Эвристический подход* опирается на методы поиска новых решений и ориентирован на формирование разнообразных вариантов целенаправленного изменения проектируемого объекта [106]. Интуитивное использование эвристического подхода направлено на получение скорее качественных, чем количественных результатов, что позволяет реализовывать идеи, отличающиеся различным уровнем новизны. Важной особенностью *эвристического подхода* является возможность получения разнообразных альтернативных решений одной и той же задачи, что связано с индивидуальностью психологических особенностей разработчиков, а также приобретенных ими навыков, опыта, умений и знаний [46]. *Индивидуальный эвристический подход* основан на накопленном креативном опыте дизайнера, используемых творческих приемах и субъективном круге интересов. Изобретатель, решая творческую задачу, получает не только результат, но и новый методический опыт, который применим для решения последующих поисковых задач. *Специализированный эвристический подход* ориентирован на решение изобретательских задач в определенной технической или предметной отрасли [106].

Под «*эвристикой*» понимают методы и правила поиска истины и решений в сложных областях, создания новых идей, оригинальных концепций, установления взаимосвязей между объектами, изучения творческой деятельности человека. Под *эвристическими методами*, введенными в практику *Сократом* и развитыми *Архимедом*, понимаются интуитивно-ассоциативные процедуры обработки информации, направленные на поиск новых решений [46, 50]. *Эвристические методы* повышают вероятность и скорость синтеза новых конкурентоспособных решений по сравнению с формальными методами, опирающимися на точные математические модели, или методом полного ненаправленного перебора альтернатив.

*Неформализованные процедуры* являются составными элементами эвристических методов, связанными с выбором подходящего прототипа и систематизацией информации для подготовки технического задания, и для их эффективного использования можно применять типовые шаблоны (*Мюллер И.*, 1984), интегрирующие ранее полученный

положительный опыт решения нетривиальных задач [42]. Поиск оригинальных решений и новых идей чаще всего основан на переносе знаний из одной предметной области в другую; на использовании творческого воображения, направленного и систематизированного поиска; на расширении спектра используемых знаний и инструментария для их обработки. С повышением гносеологического уровня задач возрастает сложность их решения. Методы решения *параметрических задач* хорошо поддаются формализации, поэтому их можно отнести к низшему гносеологическому уровню, обеспечивающему простоту и легкость автоматизации процессов поиска новых решений. Для решения эвристических задач необходимо повышение **уровня интеллектуализации и автоматизации процессов высокого гносеологического уровня** и соответственно привлечения новых структурированных знаний [106].

Для анализа сложных объектов, проектируемых с новыми принципами функционирования, не подходят имитационные модели или формализуемые процедуры из-за отсутствия достаточной информации, в то время как *эвристические методы* позволяют обобщить экспертные мнения об объекте [49]. Для синтеза новых решений важно первоначально определить *множество классов параметров* проектируемого объекта и классифицировать выявленные параметры, что позволит представить обоснованное *онтологическое описание объекта* и применять надлежащие эвристические приемы и процедуры, а также использовать *когнитивные процессы* при интерпретации и конкретизации проблем, а также при выражении результатов аналитического и синтезирующего мышления разработчика, чтобы обеспечить достаточный интеллектуальный контроль за протекающими операциями. Для описания создаваемых технических объектов выделяют [26, 46,]:

- ✓ **потребность**, определяющую цель создания нового объекта;
- ✓ **функцию**, определяющую: каким именно образом проектируемый объект может удовлетворить имеющуюся потребность;
- ✓ **структуру**, определяющую организацию и взаимосвязи между элементами объекта;
- ✓ **техническое решение**, конструктивно оформляющее структуру и функции объекта.

При разработке новых поколений технических объектов используют как ретроспективные исследования конструктивно-технологической эволюции семейства

объектов, так и известные технические решения, отличающиеся более высокой технологичностью или интеллектуальностью аналогичных функций, которые можно рассматривать в качестве прототипов. По мнению *В.И. Муштыева* и *В.Е. Токарева* в творчестве конструктора структурные элементы формирования замысла составляют порядка 30%, функциональные – 20%, комбинаторные – 50%, а результатом его творчества могут быть не только материальные объекты, но и новые мысли, идеи и решения, еще не нашедшие своего материального воплощения [41, С.8].

В качестве *эвристических процедур* могут применяться *когнитивные приемы инверсии*, позволяющие существенно изменить объект, придав ему наибольшую новизну [44], так как инверсия предполагает возможности замену подвижных элементов неподвижными, симметрии асимметрией и т.д. в контексте функционального назначения; структуры и формы объекта, параметров и связей, пространства и времени [26]. *Процедуры инверсии* при поиске новых решений опираются на принципы диалектического единства и противоположности творческих подходов, дуализма логического и интуитивного, конкретного и абстрактного, статики и динамики объекта, внешних и внутренних характеристик объекта, разделения и объединения элементов, сужения и расширение поля поиска [106].


Развитию *теории решения изобретательских задач* сопутствовал поиск подходов к устранению «технических противоречий», возникающих как ухудшение одних характеристик при целенаправленном улучшении других. Для преодоления технических противоречий предлагается использовать ряд средств, а именно: разрабатывать перспективные материалы с полезными эффектами; изменять организацию процессов производства; вводить ограничения или создавать новые возможности и свойства проектируемого объекта [106]. В основе технических противоречий могут лежать физические, связанные с предъявлением к одному объекту противоположных требований, исходящих из условий поставленной задачи [46], например, быть жестким и гибким, подвижным и неподвижным т.п. Для решения подобных противоречий используют принципы комплексного взаимодействия, в том числе: массовости ↔ уникальности; динамики ↔ статики; симметрии ↔ асимметрии; однородности ↔ неоднородности; увеличения ↔ уменьшения; прерывности ↔ непрерывности; неполноты ↔ избыточности; объединения ↔ разъединения; непосредственного ↔ косвенного воздействия и др. [44]. Выявление и устранения противоречий является сильным



инструментом творческой и изобретательской деятельности, так как позволяет не сглаживать, а обострять проблемы для генерирования радикальных и оригинальных решений, для чего *А.И. Половинкиным* был создан межотраслевой фонд **универсальных эвристических приемов** для творческого преобразования технических объектов [46]. Использование разных эвристических приемов облегчает поиск и ведет к получению нескольких независимых решений. Для практической творческой деятельности целесообразно ограничить *эвристические возможности* заданной областью поиска путем её оптимизации и конкретизации [106].

Ещё *А. Эйнштейн* заметил, что: “*Воображение важнее знаний, так как знания ограничены, а воображение охватывает весь мир*”<sup>1</sup> [452, Р.117].

**Методы поиска новых технических идей и решений** возникли как инструменты повышения эффективности труда при совершенствовании техники и технологий [36, 37], их подразделяют на:

 **интуитивный поиск**, связанный с **активизацией творческого мышления** и направленный на преодоление инерции умственной деятельности, поиск и выдвижение оригинальных идей, с помощью методов:

- *мозгового штурма* (*Gordon W.*, 1961), определяющего процедуры творческого решения проблем в процессе их коллективного обсуждения [36, 46, 200];
- *синектики* (*Osborn A.*, 1963), направленной на развитие врожденного творческого потенциала с использованием прикладного воображения и изучения аналогий [41, 300];
- *ассоциативного поиска (фокальных объектов)* (*Whiting C.*, 1958), генерирующего новые идеи из ассоциативных связей, метафор и случайно выбранных признаков других объектов из фонда ассоциативной памяти изобретателя [50, 376, 420].

Активизация творческого мышления для разработки новых продуктов основана на обобщенном процессе генерирования идей путем переноса знаний из одной области в другую с повышением когнитивного потенциала используемых методов от мозгового штурма к синектике и далее к ассоциативному поиску [37].

 **систематизированный поиск**, включающий:

---

<sup>1</sup> “*Imagination is more important than knowledge. Knowledge limited. Imagination encircle the world*” [452]

- *метод контрольных вопросов* (Eiloart T., 1969, 1978), стимулирующий мышление путем поиска ответов на специально подобранные универсальные или специализированные вопросы [46, 50, 185, 186];
- *морфологический анализ и синтез* (Zwicky F., 1969), основанный на декомпозиции проектируемого объекта, выявлении альтернативных элементов этого объекта, как реальных, так и потенциально возможных, для последующего комбинирования различных вариантов их сочетаний до выбора наилучшей комбинации [25, 400]; подходит для относительно простых объектов;
- *фундаментальный метод эвристического проектирования* (Matchett E., 2009), помогающий разработчику контролировать свое мышление, подавляя критичность для проявления фантазии, настраиваясь на стратегические схемы, различные точки зрения, мысленные образы и др., для выработки альтернативных решений, что позволяет совершенствовать иррациональную мыслительную деятельность изобретателя [37, 46, 278].



***упорядоченный направленный поиск***, включающий:

- *поисковое конструирование* (Koller R., 1976), предназначенное для разработки объектов и систем на новых принципах действия, для чего устанавливают цели и ограничения для входных и выходных параметров задачи, проводят декомпозицию причинно-следственных связей проектирования до отдельных функций этого процесса, которые можно качественно преобразовывать в функции с другими свойствами или эффектами для разработки принципиально новых технических решений [245].

Предлагаемая последовательность действий представляет собой методический подход для перехода от постановки задачи к решению методически с использованием известных правил, что позволяет автоматизировать процесс конструирования [106].

- *теорию решения изобретательских задач* (Альтшуллер Г.С., 2014), представляющая собой алгоритм обработки задачи изобретения путем устранения выявленных противоречий и уточнения формулировки исходной проблемы, итерационную модификацию которой проводят с помощью системы эвристических приемов [9, 21, 26, 28, 32, 40, 44], выступающих в роли инструмента поиска новых идей.

Информационные фонды эвристических приемов состоят из стандартов решения изобретательских задач; таблицы использования различных физических, химических, биологических, геометрических и других математических эффектов; таблиц приемов устранения технических противоречий, возникающих при решении изобретательских задач; способов использования природных, технических и технологических ресурсов [44, 46]. Для преодоления психологической инерции, сдерживающей творческое воображение, свою эффективность показали: исключение из описаний шаблонных терминов; моделирование условными схемами воздействия разнообразных физических и технических эффектов; формулировка идеального решения вне зависимости от его потенциальной осуществимости [25].

## 1.6 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ САПР ОДЕЖДЫ

Актуальной концепцией развития САПР одежды остается интеллектуализация и цифровизация, степень реализации которых определяет качество и эффективность процесса проектирования благодаря повышению уровня автоматизации и поддержке принятия обоснованных решений для создания конструкций и технологии изготовления новых изделий. О повышении потенциальной потребности в цифровой интеллектуализации в индустрии моды свидетельствует увеличение требований современных работодателей в области моды к цифровой компетентности сотрудников: более высокого уровня на начальных стадиях цикла промышленного производства, включающих прогнозирование рынка, исследование потребительских предпочтений, дизайн и проектирование, и в относительно меньшей степени на заключительных стадиях, таких как изготовление изделий и их розничная продажа [368]. Французскими исследователями из *Arts et Metiers ParisTech* (Segonds F. et al., 2014) установлено, что на растущее конкурентное давление в мировой швейной промышленности компании реагируют внедрением инновационных интеллектуальных технологий, приспособившись к ожиданиям своих клиентов и сокращая время проектирования новых изделий [332].

Заметный вклад в разработку интеллектуальных элементов САПР одежды внесли многие отечественные исследователи, ряд работ которых следует отметить в первую очередь. *Черемисиной Т.А.* разработан метод интеграции художественного и конструктивного автоматизированного проектирования мужских пиджаков с учетом индивидуальных особенностей фигур и свойств используемых тканей [108]. *Черняевой А.А.* предложен способ гармонизации моделей одежды разных силуэтов на фигурах потребителей [109]. *Сильчевой Л.В.* установлены решающие правила распознавания особенностей строения женских фигур и аналитические зависимости для соответствующего изменения конструкции одежды [94]. *Таран А.Н.* разработана система распознавания образов для выполнения антропометрического анализа фигур и адаптационного художественно-конструктивного анализа проектируемых моделей одежды в автоматизированном режиме проектирования [98]. *Струневич Е.Ю.* описана последовательность преобразования информации от художественного эскиза к конструкции, определены значения параметров стилизации для преобразований графических моделей фигур в стилизованные трехмерные образы [97]. *Максумовой М.Т.* разработана структура взаимосвязей конструктивных параметров одежды при проектировании узла рукав-пройма в 2D САПР [88]. *Гусевой М.А.* разработана методика анализа узла «пройма - рукав» в трехмерных моделях одежды, на основе которой установлены зависимости пространственной ориентации узла «пройма-рукав» относительно руки [69]. *Линник Ю.В.* изучен механизм формообразования узла «пройма-рукав» для создания математической модели этого процесса и разработан метод постепенного насыщения математических моделей эмпирической информацией [87]. *Рогожиным А.Ю.* предложена концепция идеальной системы автоматизированного проектирования одежды [93]. *Гальцовой Л.О.* разработан метод параметрического описания внешней формы изделия и его конструкции в виртуальной трёхмерной среде с учётом особенностей индивидуальных фигур [65]. *Бояровым М.С.* разработан способ преобразования параметрической поверхности мужской фигуры в адекватную виртуальную трехмерную оболочку проектируемого швейного изделия [61]. *Филиновой Н.Г.* в работе определены принципы интерактивного проектирования конструктивно-декоративных элементов одежды, основанные на взаимосвязи параметрического описания конструкции и 3D формы изделия [102]. *Киселевой М.В.* разработан математический способ описания пространственной формы одежды с учетом влияния

параметров фигуры и свойств ткани [82]. *Курьшиевой В.Н.* разработана эмпирическая модель связи объемной формы швейного изделия и её плоской развертки на базе методов искусственного интеллекта [85]. *Раздомахиным Н.Н.* разработана технология проектирования на экране монитора трехмерных моделей одежды с одновременной визуальной оценкой внешней формы и конструкции модели [92, 128]. *Бескорвайной Г.П.* предложен метод количественной оценки уровня гармоничности моделей одежды, разработана структура автоматизированного формирования технического задания для проектирования одежды [59]. Для повышения интеллектуализации САПР одежды *Королевой Л.А.* и *Подшиваловой А.В.* предложен способ структурирования и интеграции информации для создания единой виртуальной среды проектирования, позволяющей автоматизировать процесс комплексного учета свойств материалов на этапах проектирования одежды [91, 122]. Для формирования интеллектуальной информационной системы *Королевой Л.А.* предложена интеграция экспертных подсистем проектирования одежды, а именно: дизайна, конструирования, технологии и материаловедения, базы знаний которых сформированы на основе онтологического подхода [122]. Профессором РГУ им. А.Н. Косыгина *Петросовой И.А.* разработана первая российская система 3D сканирования, предназначенная для виртуальной оценки качества проектирования моделей одежды [10, 45]. Профессором СПбГУПТД *Сурженко Е.Я.* предложены методы параметризации и интеллектуализации восприятия изображений, прототипирования и виртуальной реконструкции костюмов [118, 119, 124, 131]. Профессором ИГПУ *Корниловой Н.Л.* рассмотрены вопросы создания цифровых фабрик и совершенствования цифрового проектирования одежды путем реалистичного представления виртуальных двойников изделий [120, 121]. Профессором ИГПУ *Кузьмичевым В.Е.* ведутся разработки методов проведения виртуальной примерки и оценки качества посадки одежды на фигурах потребителей путем решения трудноформализуемой задачи прогнозирования поведения ткани в изделии [136, 126, 127]. Профессором ДГТУ *Черуновой И.В.* исследуются вопросы изготовления одежды с интеллектуальными функциями и предлагаются новые решения специальной защитной одежды с целью сохранения физиологического комфорта при разных условиях состояния внешней среды [138, 418].

В интегрированных интеллектуальных САПР обобщён как творческий инженерный труд, так и экспертные знания дизайнеров, конструкторов, технологов,

физиологов и других специалистов для интеграции профессиональных, научных и потребительских представлений об изделии в удобной форме отображения результатов труда, учитывающей внутреннюю архитектуру компьютера [56]. *Интегрированной САПР* называют программный продукт, обеспечивающий работу нескольких разнородных систем проектирования с единым интерфейсом [91, 122]. Выделяют несколько уровней интеграции САПР: на уровне всей системы в целом; на уровне проектных данных, на уровне процессов. Для обеспечения эффективности функционирования интегрированная САПР должна обладать следующими свойствами:

- гибкостью, способностью работать с любыми САПР;
- масштабируемостью, способностью изменять количество и состав модулей САПР без разработки нового программного обеспечения;
- централизованностью, способностью обеспечить доступность всех проектных данных, над которыми ведется работа, для всех модулей САПР, входящих в интегрированную систему;
- адаптируемостью, способностью приспособить форматы выходных данных к любому технологическому оборудованию [91, 122].

Итальянскими специалистами из *University of Florence (D'Avolio E. et al., 2015)* предложен стратегический подход к разработке новой продукции в индустрии моды, основанный на наукоемком комплексе интеллектуальных задач, решение которых ведет к повышению конкурентных преимуществ компаний и направлено на управление всем жизненным циклом создания новых изделий для сокращения времени их выхода на рынок, срока производства и производственных запасов [176]. По мнению шведских ученых из *University of Borås (McQuillan H., 2020)* использование методов трехмерного (3D) проектирования одежды особенно актуально в качестве инструмента визуализации дизайна моделей в процессе виртуального прототипирования и мерчандайзинга [281], в то время как *Hallnäs L.* считает более важным достижение существенных эстетических «различий» новых моделей с помощью интеллектуальной экспертной поддержки на отдельных уровнях дизайна [205] и прежде всего на этапе эскизирования, являющегося ключевым в процессе проектирования одежды (*Lee J., Jirousek C., 2015*) [256]. Процесс производства модных изделий (*James A. et al., 2016*) подразделяют на этапы проектирования, включающего креативные исследования модных тенденций и творческих источников, разработку идеи, концепции, художественного образа,

конструктивно-технологического решения, и последующего этапа изготовления [145], включающего итеративное создание опытных образцов до запуска новой модели в промышленное производство [230].

Преимущества 3D моделирования уже оценили более 86 известных международных компаний таких, как *Adidas*, *Patagonia*, *Amazon*, *Lindex*, *Li&Fung*, *Helmut Lang*, которые являются активными пользователями *CLO 3D* и рекрутируют цифровых дизайнеров для трехмерного проектирования. ИКЕА использует программное обеспечение 3D дизайна для визуализации текстиля в интерьере, *Balmain* показана осенняя коллекция 2018 г. с помощью цифровой супермодели *Shudu* и других цифровых аватаров, одетых в виртуальные модели новой коллекции. Шведская марка *Atacac* использует программное обеспечение 3D моделирования практически на всех этапах проектирования от дизайна эскиза до визуализации изделий для онлайн-ритейла. Цифровое прототипирование одежды позволяет не только разрабатывать модели, но и оперативно демонстрировать их потенциальным покупателям с минимальными затратами, что особенно полезно для продвижения промышленных коллекций в Интернете благодаря росту онлайн-заказов от потребителей [281].

Ключевым аспектом разработки цифрового 3D программного обеспечения для индустрии моды стала точность виртуальных прототипов новых изделий. Китайскими исследователями из *Shanghai University* (*Liu Y., Geng Z., 2003*) предлагается использовать интеллектуальные экспертные системы для 3D проектирования одежды путем 1) создания виртуального 3D прототипа; 2) изучения взаимосвязи между параметрами 3D прототипа одежды и различными стилями одежды; 3) разработки алгоритма переноса требований к стилю на значения параметров прототипа одежды и построения базы знаний. Использование такой интеллектуальной 3D САПР позволяет автоматически конструировать модели одежды различных стилей с учетом заданных требований [266]. Американскими учеными из *North Carolina State University* (*Satam D. et al., 2011*) предлагается персонализировать проектирование одежды с помощью интеллектуальных САПР, обеспечивающих разносторонний выбор стилей и силуэтов швейных изделий [329].

Турецкими специалистами из *Uludag University* (*Aksoy A. Öztürk N., 2016*) предлагается использовать интеллектуальную систему поддержки принятия решений для повышения гибкости производства швейных предприятий, использующих глобальный

аутсорсинг, чтобы эффективно учитывать совокупность производственных факторов, связанных с закупками, проектированием, производством и продажей изделий и на основе нечёткой логики обоснованно выбирать: какие операции выполнять на собственном производстве, а какие – отдавать подрядчикам [142]. Исследователями из *Hong Kong Polytechnic University* (Guo Z.X. et al., 2014) предложено решать проблему отслеживания и распределения заказов в среде производства одежды с несколькими заводами с помощью облачной интеллектуальной системы принятия решений, объединяющей технологии радиочастотной идентификации, облачных вычислений и оперативного анализа производственных записей в режиме реального времени, что позволило заметно снизить производственные затраты и повысить эффективность производства [202].

Согласно результатам американских исследований в *Auburn University* (Sun L. et al., 2018) цифровые технологии становятся неотъемлемой частью современной индустрии моды и мировой торговли, разрушая многие традиционные подходы и меняя парадигмы взаимодействия между дизайнерами, производителями и потребителями. Одной из важнейших тенденций в индустрии моды является развитие интеллектуализации креативного проектирования, стимулируемое достижениями в области 3D печати, инновационными технологиями изготовления одежды, объединением инженерного и технологического опыта, широким внедрением автоматизированного цифрового проектирования [346]. Современная эволюция индустрии моды связана с интерактивным технологическим развитием отрасли, включающим виртуальное проектирование в цифровой среде, реконфигурацию продукции при разработке и внедрении технологических инноваций в производстве одежды, таких как робототехника, искусственный интеллект, разработка новых компонентов материалов и передовых методов их обработки, цифровая печать на текстиле, автоматизированное виртуальное 2D/ 3D проектирование одежды, её рендеринг, виртуальные примерки, 3D печать, 3D сканирование тела человека и кастомизацию выпускаемой продукции [346]. Индустрия моды стала одним из основных секторов экономики, который фундаментально трансформируется изнутри с помощью интеллектуальных технологий, включая робототехнику, искусственный интеллект, радиочастотную идентификацию, виртуальных стилистов, онлайн-торговлю, социальные медиа и другие новые цифровые интеграции в розничной торговле. Искусственный интеллект помогает в



прогнозировании модных тенденций и обеспечивает большую точность и скорость сбора данных о поведении потребителей и запросах рынка. Интеллектуализация проектирования одежды позволяет уменьшить роль дизайнера благодаря возможности разработки новых моделей на основе генеративных алгоритмов проектирования. Робототехника помогает снизить эксплуатационные расходы в производстве за счет автоматизации и оптимизации товарного потока [346].

Американскими исследователями из *Central Michigan University* (*Vanderploeg A. et al.*, 2017) сделан вывод о росте использования технологии 3D печати в индустрии моды благодаря ряду её преимуществ по сравнению с традиционными производственными процессами, включая ускорение процесса проектирования, уменьшение времени производства, снижение затрат, связанных с товарными запасами, складированием, упаковкой и транспортировкой. К наиболее перспективным методам 3D печати в индустрии моды отнесены стереолитография, селективное лазерное спекание, моделирование методом послойного наплавления, технология фотополимерной печати *PolyJet* и струйная печать посредством нанесения порошка и склеивания его связующим веществом. Использование 3D печати в индустрии моды требует от дизайнеров интеллектуального подхода к процессу проектирования для реализации преимуществ и преодоления проблем новой технологии производства [364].

Среди инновационных интеллектуальных технологий 3D печать отличается большим потенциалом развития в индустрии моды благодаря широким возможностям прототипирования и кастомизации продукции, сокращению сроков выполнения заказов [345]. В дизайн 3D печати изделий инвестируют как компании массового производства, так и сектора высокой моды, среди них можно отметить обувного производителя *New Balance* и ведущий бренд высокой моды *Chanel haute couture*. По мнению канадских и американских исследователей из *Ryerson University* и *Michigan Technological University* (*Laplume A. et al.*, 2016), технологии 3D печати сближают производителей и потребителей, позволяют последним вносить в дизайн моделей собственные предпочтения и персонализировать изделия [250].

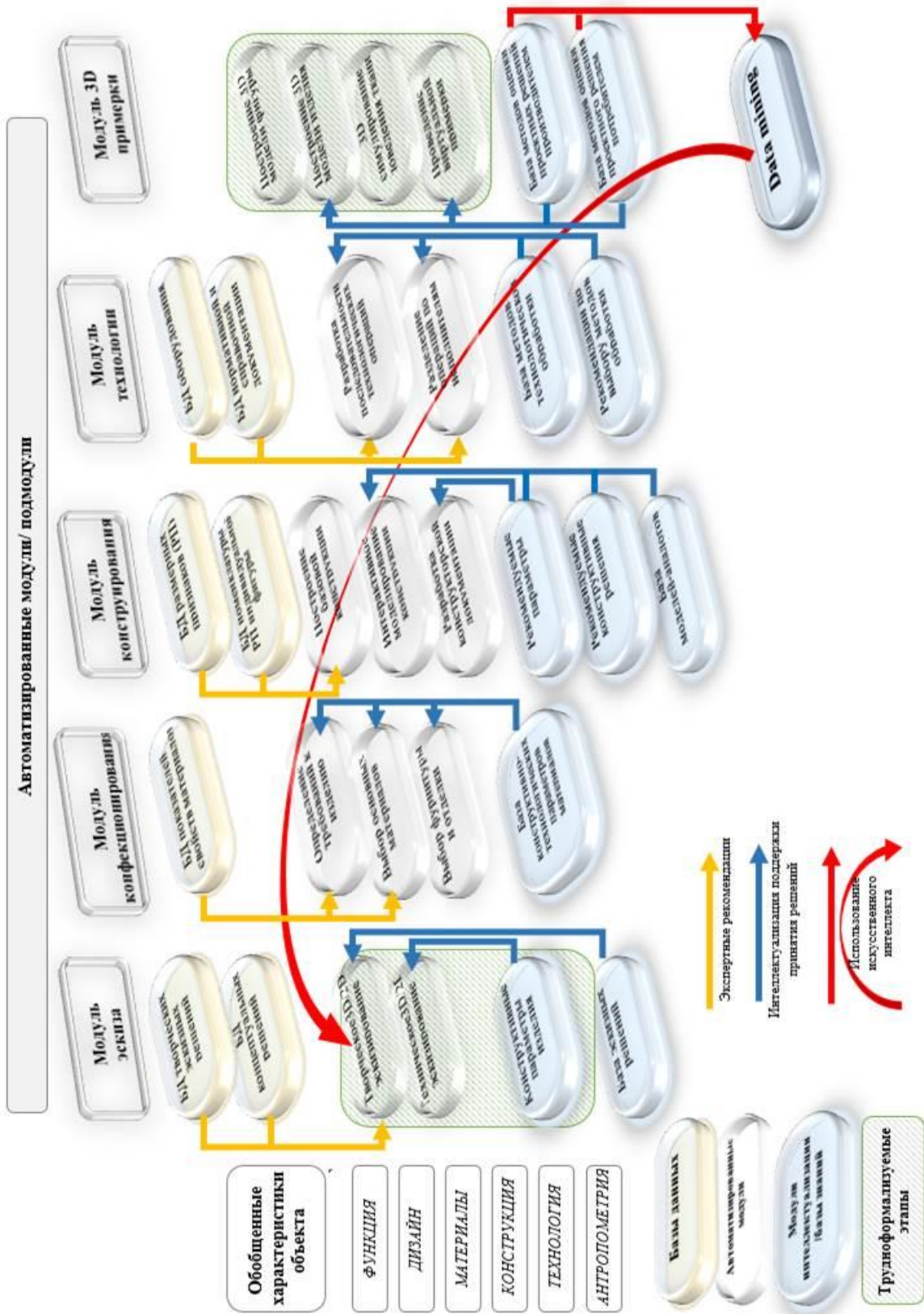
Исследователями из *University of Moratuwa* в Шри Ланка (*De Silva R. et al.*, 2019) предложено для совместной разработки новых продуктов использовать технологии виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR), позволяющие оценить множество альтернативных решений. С учетом достаточной осведомленности

потребителей одежды о приложениях *VR* или *AR* и их позитивного восприятия использования этих технологий в контексте швейного бизнеса сделан вывод, что в Великобритании технологии *VR* и *AR* будут способствовать успеху разработки новых моделей одежды в связи с обеспечением быстрого реагирования потребителей на новую продукцию [178].

На основе проведенного анализа отечественных и зарубежных исследований нами разработана обобщенная концептуальная модель интеллектуализации интегрированной САПР одежды, включающей модули процессов эскизирования, конфекционирования, конструирования и технологической подготовки производства с возможностью использования экспертных рекомендаций, интеллектуальной поддержки принятия решений конструктором-технологом и искусственного интеллекта для интеллектуального анализа «больших данных» о предпочтениях и ожиданиях групп потребителей, получаемых из сети Интернет (Рисунок 1.1).

Элементами автоматизации процесса эскизирования являются два подмодуля для разработки творческого и технического 3D/2D эскизов. Интеллектуальная составляющая творческого процесса создания эскизов реализуется с помощью использования экспертных рекомендаций в виде баз данных, обеспечивающих возможность обращения модельера-конструктора к творческим первоисточникам (БД творческих эскизных решений) и к поиску источников для вдохновения (БД концептуальных решений). Далее с помощью интеллектуальной поддержки решается трудноформализуемая задача прочтения информации с технического эскиза и её преобразования в конструктивные параметры. Обобщение знаний в области проектирования одежды позволяет формализовать визуальную информацию и преобразовать в параметрические данные на этапе формирования творческого эскиза, для чего предлагается использовать параметрическую базу эскизных решений, сформированную на основе систематизации технических решений, наиболее удачных с точки зрения потребителей и производителей.

На этапе конфекционирования в качестве элементов автоматизации выделены подмодули определения требований к изделию, выбора основных материалов, фурнитуры и отделки, функционирующие благодаря использованию систематизированных данных о наличии и качестве материально-сырьевых ресурсов.



**Рисунок 1.1 – Обобщенная концептуальная модель интеллектуализации интегрированной САИР одежды**

Базы данных показателей свойств материалов выступают в роли основы для выработки интерактивных экспертных рекомендаций по выбору наиболее подходящего конфекционного решения. Накопленные практические знания о конструктивно-технологических параметрах материалов обеспечивают интеллектуальную поддержку принятия решений на этапе конфекционирования.

В подмодулях конструирования, интерактивного моделирования и разработки конструкторской документации экспертные рекомендации направлены на обоснование исходной информации о размерах и форме фигур потребителей на основе БД размерных признаков, содержащих цифровую антропометрическую информацию, и БД номенклатуры размерных признаков индивидуальных фигур, отображающих перечень признаков для бесконтактных измерений. В качестве интеллектуальных поддержек в модуль конструирования включены подмодули рекомендуемых параметров, конструктивных решений и база моделей аналогов, позволяющие повторно использовать проверенные удачные проектные решения.

Модуль технологической подготовки производства включает автоматизированные подмодули разработки последовательности технологических операций и разделения операций по исполнителям, информация для которых содержится в БД нормативной и справочной документации. Для интеллектуальной интерактивной экспертной поддержки предлагается база методов технологической обработки и рекомендации по их выбору с учетом технологического оснащения предприятия. Интеллектуальные компоненты системы позволяют автоматически пополнять базы данных по результатам выбора оптимальных и рекомендованных решений.

Визуализация информации, полученной этапах проектирования, осуществляется в модуле виртуальной примерки посредством автоматизированных подмодулей построения трехмерных моделей фигуры, изделия, симуляции поведения ткани, виртуальной примерки. Для решения трудноформализуемой задачи контроля качества проектирования в модуле виртуальной примерки присутствует база методов оценки проектных решений со стороны как производителей, так и потребителей. Использование технологии интеллектуального анализа «больших данных» позволяет оперативно учитывать изменение потребностей и ожиданий потребителей в качестве одного из источников творчества дизайнеров путем обратной связи с модулем эскизирования.

## 1.7 ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ЛЁГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В связи с глобализацией бизнеса получение информации и взаимодействие между компаниями и потребителями через сеть Интернет становится повседневной практикой, интенсивность информационных потоков увеличивается, что обуславливает развитие технологий обработки информации, данных и знаний, основанных на методах *искусственного интеллекта (AI/ Artificial Intelligence)*. Цифровизация оказывает существенное влияние на поведение покупателей благодаря растущей осведомленности из социальных сетей и онлайн-средств массовой информации, поэтому возрастает важность современных информационных технологий, позволяющих оперативно выявлять ожидания и потенциальные требования покупателей, таких как *DM* и *AI* [140].

*Искусственным интеллектом* называют способность автоматических систем реализовывать творческие функции, выбирать и принимать решения, использовать ранее полученный опыт, рационально анализировать внешние воздействия, прежде всего для выделения, структуризации и систематизации знаний из экспериментальных данных и экспертной информации [20, 71]. Благодаря эвристическому характеру обобщения данных искусственный интеллект уже доказал свою способность решать проблемы реального мира [198], использовать опыт и знания экспертов, которые можно аккумулировать в соответствующих модулях САПР [29] (см. Рисунок 1.1).

В настоящее время мировая швейная промышленность оснащена передовым оборудованием как для автоматизированного проектирования одежды, так и для её изготовления, что существенно повысило эффективность промышленного производства [292]. За последние три десятилетия индустрия моды претерпела существенные изменения, и с 1989 г. искусственный интеллект играет важную роль в этой трансформации. Хотя по мнению французских исследователей (*Giri C. et al., 2019*) САПР, используемые в мировой швейной промышленности, основаны на классических вычислительных инструментах и алгоритмах, а промышленное внедрение методов искусственного интеллекта пока ограничено отдельными компаниями и развивается в большей степени в научных исследованиях [198]. Одной из причин этого является недостаточность компетенций и опыта в области проектирования и изготовления одежды

у разработчиков в области *AI-технологий* и наоборот. Кроме того, на настоящий момент большинство промышленных производителей скептически относится к преимуществам искусственного интеллекта и аналитики больших данных. Для преодоления такого отношения важно оценивать потенциал искусственного интеллекта по сравнению затрат и прибыли.

В последнее десятилетие (2009-2018 гг.) в мировой текстильной и легкой промышленности искусственный интеллект использовали в большей степени для улучшения процессов производства и продажи изделий, чтобы быстрее реагировать на изменение модных тенденций и постоянно меняющиеся запросы потребителей [256]. Можно отметить успешное применение *AI-технологий* на различных производственных этапах, включая дизайн, изготовление материалов и изделий, оптовые продажи дистрибьютерам (*B2B*) и розничные продажи потребителям (*B2C*) [295]. В зарубежной швейной промышленности моды *AI-технологии* применяются преимущественно для расчета объема выпускаемой одежды (45%), для прогнозирования потребительских предпочтений в одежде (9%) и для анализа модных тенденций и последующих рекомендаций (4%), а также в области дистрибуции готовых изделий [202, 292]. Методы искусственного интеллекта могут помочь дизайнерам более точно выявлять потребности и предпочтения потребителей в разных сегментах рынка [161, 269]. Кроме того, инструменты прогнозирования, основанные на *AI-технологиях*, позволяют использовать данные о предыдущих транзакциях потребителей, отслеживать спрос в реальном времени по данным социальных сетей, чтобы облегчить процесс проектирования новых изделий.

Среди предприятий, успешно внедряющих искусственный интеллект в сферу индустрии моды, прежде всего следует сказать о компании *Amazon*, которой проводятся исследования по разработке новых моделей одежды с использованием нейронных сетей для распознавания модных стилей и анализа актуальных тенденций [231], а с 2017 г. используется программное приложение виртуального стилиста *Echo Look* [147], помогающего выбирать модные комплекты, подходящие потребителям по внешнему образу и назначению. По мнению китайских исследователей (*Gu X. et al., 2020*) из *Zhejiang University* использование технологии искусственного интеллекта для обработки больших данных в области моды позволяет производителям определять ключевые тенденции стилей, силуэтов, цветовой палитры и учитывать реакцию покупателей на проектируемые

модели [201], способствует достижению конкурентного преимущества и повышению прибыльности бизнеса.

Для решения креативных и интуитивных задач создания новых продуктов современные дизайнеры осуществляют творческий процесс в цифровом пространстве и для интеллектуальной поддержки используют *AI-технологии*, опирающиеся на методы компьютерного зрения, распознавания образов, машинного обучения, оптимизации, на экспертные системы и системы поддержки принятия решений [198]. Исходя из мета-анализа зарубежных исследований, можно сделать вывод, что наиболее популярными *техническими способами реализации искусственного интеллекта*, нашедшими применение в индустрии моды, являются *генетический алгоритм, искусственная нейронная сеть и нечеткая логика*, которые используются для анализа и прогнозирования свойств пряжи, ткани, тенденций цветовой палитры [184, 386], для проектирования одежды [264, 266, 372], для обнаружения дефектов [253, 255] и оценки качества готовых изделий [254, 260], виртуальной примерки на фигурах потребителей [206, 265], для корректировки технологических и логистических процессов производства и дистрибьюции [223], для анализа модных тенденций и предпочтений потребителей [256], выбора поставщиков [146], прогнозирования спроса [143].

К основным *методам реализации искусственного интеллекта в текстильной и легкой промышленности* относят:

1) *Машинное обучение (Machine Learning)* как технический процесс выполнения поставленных задач без вмешательства человека и самообучения компьютера на их шаблонах. Машинное обучение опирается на математические модели, построенные на достоверных данных, для поиска скрытых закономерностей и обоснования принимаемых решений. Машинное обучение внедрено в мировую текстильную и легкую промышленность для прогнозирования продаж [247, 350, 385], анализа тенденций моды и цветовой палитры [217], предугадывания спроса, обнаружения дефектов ткани [197], предсказания поведения ткани по физико-механическим свойствам [305], оценки внешнего вида изделий [260, 388].

Машинное обучение подразделяют на:

- *контролируемое обучение (Supervised Learning)*, представляющее собой параметрическую модель, имеющую входные параметры (независимые переменные) и

целевые параметры (зависимые переменные), которые оптимизируются с помощью итерационных процессов;

- *неконтролируемое обучение (Unsupervised Learning)*, представляющее собой модель, имеющую только входные параметры и независимые переменные, предназначенные для группировки экспериментальных данных по аналогии, называемой кластеризацией, с присвоением им собственных определений [179].

К способам машинного обучения, используемым в легкой промышленности, можно отнести: искусственную нейронную сеть с обратным распространением ошибки [264] или с прямой связью [385], последовательную [350], двухуровневую [206] и нечеткую кластеризацию [161], нечёткую логику, байесовский подход [265], метод опорных векторов, программирование экспрессии генов, прогнозирование непараметрической регрессии, RFM моделирование, генетические алгоритмы, правила аналогии, деревья решений, нечеткие классификаторы [372], логистические регрессии, семантический анализ данных, интеллектуальный анализ больших данных [140, 161, 218, 395] и другие.

2) *Система поддержки принятия решений (Decision Support Systems/ DSS)* используется для получения управленческих решений в коммерческих организациях в автоматизированном режиме в качестве программного инструмента или для получения бизнес-рекомендаций в режиме, регулируемом человеком. DSS представляет собой интеграцию математической модели с методами поиска данных, отличается гибкостью и адаптируемостью к организационной среде. В текстильной и легкой промышленности DSS широко используется для индустриализации разнообразных задач оптимизации процесса принятия решений в области производства и продажи изделий [140, 167, 223, 321] с целью выбора наиболее подходящих ресурсов [146] и технологических процессов для снижения себестоимости и повышения производительности изготовления одежды [377].

К используемым в легкой промышленности способам поддержки принятия решений можно отнести: нечёткую логику, поиск ассоциативных правил [256] и ассоциативный анализ [228], линейную оптимизацию с ограничениями, нечёткое агрегирование, адаптивный нечёткий вывод [143], аналитический иерархический процесс, технику приближения к идеальному решению и другие.



3) **Экспертные системы** (*Expert systems*) применительно к искусственному интеллекту ориентированы на принятие решений без вмешательства человека. Экспертные системы, созданные примерно в 1970-х гг., первоначально стали самым популярным программным обеспечением в области искусственного интеллекта. В экспертных системах чаще всего используются продукционные модели, базы знаний и механизм логического вывода. В швейной промышленности экспертные системы применяются для разработки технологических процессов и оборудования, для рекомендаций по продвижению модной одежды в розничной торговле, позволяющих обеспечить наибольшую удовлетворенность клиентов [266, 269, 303, 378].

К используемым в легкой промышленности *способам реализации экспертных систем* можно отнести: ассоциативные правила, интеллектуальный анализ данных с использованием *SSM* и *DMM* [328], нечёткую логику [255], нейронные сети [386], интерактивную аналитическую обработку данных (*OLAP*) [253], онтологию, семантическую сеть, интеллектуальных агентов [269], генетический алгоритм [321], оптимизацию градиентного спуска [251], параметрический кубический сплайн поверхности, объектно-ориентированную технологию построения базы знаний, компьютерную эвристику, семантические сети, аппроксимацию кривых Безье для эволюционного моделирования, анализ чувствительности, технику когнитивного картирования, кластерный анализ, сенсорную оценку и другие [184].

4) **Оптимизация** (*Optimization*) с помощью искусственного интеллекта предназначена для решения сложных проблем и интеллектуального поиска множества вариантов решений. Классический алгоритм поиска начинается с некоторого случайного предположения, которое улучшается с помощью итеративного процесса, так как «эвристический» подход существенно ускоряет процесс поиска. Однако, ограничение применения эвристического поиска связано с невозможностью получения результата при небольших объемах данных [349]. Для оптимизации поиска применяют эволюционный алгоритм, начинающийся с первоначальной гипотезы о популяции, которая может видоизменяться, рекомбинировать для достижения лучшего результата [223]. Одним из популярных эволюционных алгоритмов является генетический алгоритм, широко используемый в индустрии моды для решения проблем планирования и проектирования

новых моделей одежды [204], способный реагировать на быстрые изменения в модных тенденциях и улучшить сервис примерок [224].

Среди *способов оптимизации*, используемых в легкой промышленности, можно выделить: оптимизацию с ограничениями и без ограничений; имитационную модель; оптимизацию нечетких правил, линейную аппроксимацию, эволюционные алгоритмы, генетические алгоритмы [254], топологический анализ, контентную фильтрацию, вейвлет-преобразование Хаара, символьную регрессию, экстраполяционное и адаптивное прогнозирование Хольта-Винтерса и другие.

5) *Распознавание изображений и компьютерное зрение (Image recognition and vision)* в области искусственного интеллекта предполагает обучение компьютера высокоуровневой интерпретации изображений или видео, поступающих из самых разных источников. Основными задачами алгоритмов компьютерного зрения являются извлечение, предварительная обработка, исследование данных большой размерности и создание контролируемых или неконтролируемых моделей, которые используют концепции геометрии, статистики, физики и теории машинного обучения для понимания сущности изображения. Компьютерное зрение позволяет распознавать объекты, осуществлять видеонаблюдение и оценивать движения, что позволяет контролировать и управлять технологическими процессами в легкой промышленности, обеспечивать поиск изображений по заданному контенту, проводить виртуальные примерки одежды в дополненной реальности [249, 387].

Среди *способов распознавания изображений и компьютерного зрения*, используемых в легкой промышленности, можно отметить: искусственные нейронные сети и обработку изображений, наивный байесовский классификатор и многослойный перцептрон (*MLP*) [334], генетические алгоритмы (*GA*) [388], нейронные сети с обратным распространением (*NN*) и другие.

Применение методов искусственного интеллекта пока ещё не позволяет заменить дизайнера одежды, способного работать в условиях неопределенности, изменяющихся требований, отсутствия конкретных условий проекта, в том числе создавать модели при неясно сформулированном запросе, учитывать психологические нюансы работы с трудными клиентами, использовать накопленный невербализованный опыт работы.

Большинство современных разработок искусственного интеллекта, предназначенных для текстильной и легкой промышленности, связано с машинным обучением и экспертными системами, применяемыми на этапах производства и продажи продукции, в то время как проблемам дизайна и проектирования одежды внимания уделяется меньше. Можно говорить об относительно небольшом количестве зарубежных исследований, посвященных использованию «больших данных» в текстильной и легкой промышленности, что указывает на то, что в отрасли ещё недостаточно осознан потенциал интеллектуального анализа данных и использования искусственного интеллекта. Среди наиболее значимых проблем промышленных производителей можно выделить быстрое изменение потребительских предпочтений и конкуренцию со стороны онлайн-торговли и омниканального маркетинга (*omnichannel*), предполагающего интеграцию электронных каналов коммуникации с покупателями, чтобы аккумулировать данные об обращениях клиентов в магазины и характере их покупок. Именно искусственный интеллект позволяет проанализировать омниканальный след потребителей и может помочь в создании персонализированной базы данных или профилей потребителей, чтобы повысить лояльность клиентов производственным брендам и обеспечить им конкурентное преимущество. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что развитие искусственного интеллекта в области непосредственного взаимодействия производителей с потребителями (*B2C*) особенно актуально для современной индустрии моды.

Полезность использования инструментов машинного обучения для дизайнеров одежды заключается в возможности обоснованного прогнозирования будущих тенденций на основе ретроспективных и текущих данных, улучшении механизмов рекомендаций благодаря интеграции имеющихся данных с информацией о потребителях и моде из социальных сетей, блогов, журналов и других средствах массовой информации, включая *Instagram* и другие. Инструменты глубокого обучения с использованием интеллектуального анализа «больших данных» и таких библиотек, как *Keras*, можно использовать для создания электронных платформ совместного проектирования новых изделий с потребителями. Методы распознавания образов и компьютерного зрения удобно применять в качестве инструментов виртуальной примерки. Сочетание классических моделей прогнозирования с методами искусственного интеллекта улучшает достоверность рекомендаций о модных тенденциях и сезонных изменениях предпочтений

потребителей. Искусственный интеллект должен лежать в основе создания и поддержки интегрированной платформы для интерактивной коммуникации и электронного обмена данными между производителями, продавцами и потребителями, помогающей быстрее реагировать на изменяющиеся потребности и предпочтения клиентов и повысить их удовлетворенность приобретаемыми товарами и соответственно приверженность выбранным брендам. Другой перспективной возможностью цифровизации отрасли является объединение методов искусственного интеллекта с технологией блокчейн (*blockchain*), способной обеспечить безопасность и прозрачность взаимодействия между потребителями, производителями и представителями торговли. Интеграция производителей в области индустрии моды с облачными технологиями и инструментами интеллектуального анализа «больших данных» позволит эффективно внедрять вышеуказанные методы искусственного интеллекта в отечественную швейную промышленность.

Российская концепция реализации искусственного интеллекта, декларируемая в проектах «*Нормативное регулирование цифровой среды*» и «*Искусственный интеллект*» Национальной программы «*Цифровая экономика*» [2], опирается на принцип «регулировать после стимулирования», предполагающий введение ограничений только при появлении риска причинения вреда от использования искусственного интеллекта. Тем не менее в сфере *AI-технологий* существуют проблемы правового регулирования, а именно:

- создание разработчикам искусственного интеллекта безопасного доступа к персональным и промышленным данным, их обороту и использованию;
- разграничение ответственности за причинение вреда от использования робототехники и искусственного интеллекта с учетом сложностей раскрытия алгоритмов в связи с использованием вероятностных оценок.

В качестве решений существующих проблем рассматриваются возможности [117]:

- ввести механизм самоидентификации систем искусственного интеллекта при прямом контакте с человеком;
- найти баланс между защитой персональных данных граждан и их использования в базах данных разработчиков искусственного интеллекта;
- определить условия возможного принятия решений на основе искусственного интеллекта;

- отрегулировать правовой механизм защиты интеллектуальной собственности, полученной с помощью искусственного интеллекта без творческого участия человека;
- адаптировать существующие нормативные требования к использованию значительных информационных массивов для интенсификации обучения систем искусственного интеллекта;
- создать режим регулирования безопасного тестирования и использования различных интеллектуальных систем, включая беспилотники, системы «умного города» и др.

По уровню *интеллектуализации «умной одежды»* можно выделить три группы:

- 1) изделия «пассивно-умные», воспринимающие изменения внешней среды;
- 2) изделия «активно-умные», реагирующие на изменения внешней среды;
- 3) «интеллектуальные» изделия, адаптирующиеся к условиям внешней среды [171].

Одежда создает особую индивидуальную среду вокруг человека, используемую ежедневно и повсеместно, интеллектуализация которой позволяет получать информацию о характеристиках жизнедеятельности человека [208] и контролируется реагировать на поступающие извне термические, физико-механические, биолого-химические и другие сигналы [171]. Одними из наиболее разработанных видов «умной» одежды являются изделия с токопроводящими текстильными датчиками или состоящие из токопроводящих тканей, которые позволяют воспринимать от человека биофизиологические сигналы и дистанционно трансформировать их в электрический сигнал для передачи цифровых данных на компьютерное оборудование [153, 169].

Среди известных разработок «умной одежды», включающей токопроводящие элементы, можно выделить следующие виды:

- ❖ «умная одежда» широкого ассортимента, включающего костюмы, брюки, футболки, перчатки, носки, предназначенная для медицинского мониторинга и реабилитации пациентов, контроля за физиологическим состоянием и движениями человека [155, 162, 215, 271, 302, 355];
- ❖ «умные рубашки» с рисунком токопроводящими чернилами в области груди и другие текстильные изделия, позволяющие измерить изменение сигнала электрокардиограммы и контролировать сердечно-сосудистую активность при физической нагрузке разной интенсивности [141, 156, 164, 302, 315, 340, 347] и во время сна [318];

- ❖ детские «умные изделия» для измерения дыхательного ритма и контроля респираторной деятельности их организма [164, 229], а также «умная одежда» для оценки физиолого-психологического состояния пациентов по частоте их дыхания [355, 397];
- ❖ «умные текстильные изделия», позволяющие измерять температуру кожи тела человека в покое и динамических условиях [225, 314, 318], чтобы непрерывно обеспечивать его клиническую диагностику;
- ❖ «умные текстильные материалы» для измерения влажности окружающей среды и давления, оказываемого на сенсорные элементы, в том числе различных видов одежды на тело человека [163, 194, 375];
- ❖ «умная спортивная одежда» [262], позволяющая контролировать движения тела человека, его конечностей и отдельных суставов [150, 170, 271, 379, 390] как для мониторинга спортивной и социальной активности, так и для предохранения больных от падений [313];
- ❖ «умные носки», позволяющие оценить степень пронации и супинации при беге и ходьбе, охарактеризовать особенности походки [187, 313] и детализировать кинематику нижних конечностей [348], чтобы диагностировать заболевания и предотвратить травмы голеностопного сустава, ахиллова сухожилия и другие, что важно для реабилитации спортсменов и профилактики травматизма в целом;
- ❖ «умная прилегающая одежда», считывающая позы и движения человека применяемая для цифрового описания и анимации человеческих фигур, используемых в художественных произведениях или мультимедийных средствах [177, 279];
- ❖ «умная трикотажная одежда», предназначенная для мониторинга повседневной жизни одиноких пожилых людей в Японии с помощью интеллектуального анализа движений их туловища и конечностей [195];
- ❖ «умная одежда» для защиты от окружающей среды, в том числе от температурных колебаний [163], присутствия химических веществ [213, 363]; электромагнитных полей [272, 314, 130] и от бактериальной активности [275];
- ❖ «умная электронная одежда», распознающая характер активности и местоположение пользователя для настройки системы обеспечения его жизнедеятельности [171, 314, 343], в том числе для специализированной деятельности в армии;

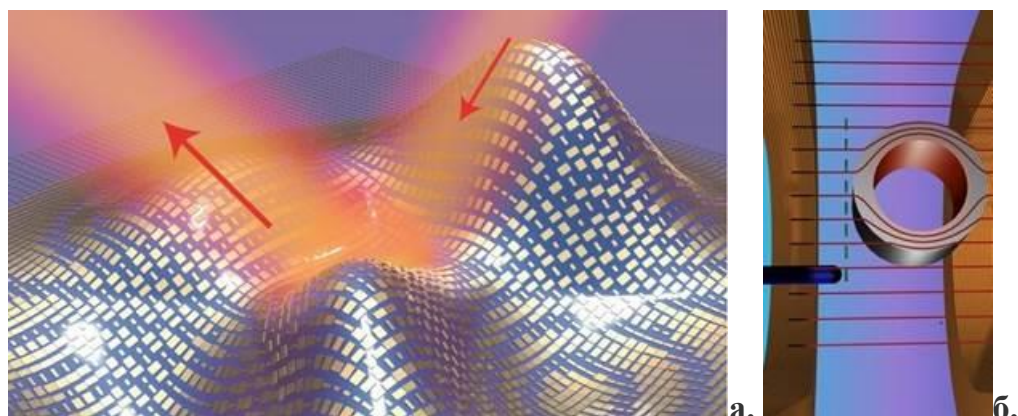
❖ куртки и перчатки «*Levi Strauss Europe*» с электроникой «*Philips Research*», активируемой при соприкосновении с ладонью [189].

По мнению австралийских ученых из *Deakin University* (Wu Y. et al., 2012 ) результаты испытаний и эксплуатации интеллектуальной одежды свидетельствуют об её возможностях не только идентифицировать активность разных субъектов, но и обобщать полученные данные, что открывает новые сегменты рынка для швейной и текстильной промышленности [379]. Согласно данным исследователей из *University of Minnesota* (Dunne L., 2010) за последние сорок лет лишь немногие из видов электронной одежды вышли на потребительский рынок [183]. Британскими исследователями из *Brunel University London* (Ariyatun B. et al., 2005) отмечается, что выход нового поколения «умной одежды» и интеллектуальных электронных продуктов на массовый рынок сдерживается из-за недостаточного прояснения скрытых потребностей потенциальных покупателей и ограниченности разработок новых изделий. Добавление разнообразных электронных функций в бытовую одежду не соответствует образу жизни большинства потребителей, в то время как «умная» медицинская и спортивная одежда воспринимается более практичной и функциональной [148].

Среди интеллектуальных изделий с особой функциональностью хотелось бы выделить ультратонкий «плащ-невидимку» толщиной 80 нм, созданный физиками из *Berkeley University of California* (Ni X. et al, 2015) и позволяющий скрыть одеваемый трехмерный объект произвольной формы от посторонних взглядов и фотокамер благодаря способности отражать от своей поверхности направленный свет в диапазоне волн видимого излучения как от плоского зеркала или пропускать свет через себя [296]. Гибкая поверхность сильно отражающего метаматериала сконструирована так, чтобы изменять оптические свойства при изменении его кривизны за счет постепенного искривления направления падающего света, тем самым затемняя скрываемую область (Рисунок 1.2,а). Разработанный метаматериал состоит из золотых нанозаполнителей, представляющих собой плазмонные резонаторы, отражающие падающий на них свет благодаря коллективному колебанию электронов, не дающему свету рассеиваться (см. Рисунок 1.2,б).

Интересно отметить разработку другого интеллектуального метаматериала (Zhang X., 2017), способного стать одним из способов преодоления глобального потепления благодаря содержащимся в нём нанозаполнителям с индивидуальными

спектральными характеристиками, позволяющего постоянно охлаждать объекты комнатной температуры путем передачи тепла в космическое пространство через инфракрасное тепловое излучение без потребления электричества или каких-либо хладагентов [394].



**Рисунок 1.2 – Ультратонкий плащ-невидимка: а) отражение падающего света гибкой поверхностью материала; б) наноэлементы, изменяющие оптические свойства метаматериала**

Роботизированные аксессуары с кинематическими способностями учеными из *MIT Cambridge* и *Stanford University* (Kao H.-L. et al, 2017) предлагается использовать для повышения функциональности одежды и её украшения, чтобы дополнительно персонализировать эстетический образ одежды (Рисунок 1.3, а). При перемещении по поверхности одежды «умные» аксессуары могут приблизить микрофон к лицу человека или снять его капюшон (см. Рисунок 1.3, в, г). Такие носимые электронные устройства могут приобрести функционал личных помощников, узнавая привычки своих владельцев [236].



**Рисунок 1.3 - Носимая электроника: а) для украшения изделия; б) роботизированный элемент; в) кинематический декор; г) климато-адаптируемый элемент одежды**

Изготовление трехмерных физических объектов из цифровых шаблонов с помощью 3D печати, называемой также аддитивной технологией, получает все большее



распространение в области промышленного дизайна, одежды и обуви благодаря возможности использования широкого спектра материалов, таких как пластик, металл, нейлон и более сотни других [290, 358]. Для 3D печати уже используют переработанные отходы текстильных компаний, включая шерсть, кашемир и кожу [192]. Преимуществом аддитивных технологий в производстве модной одежды является большая свобода дизайна для создания сложных конструкций, которые трудно изготовить с использованием традиционных методов, и возможность промышленного изготовления персонализированной одежды [381]. Сочетание технологии 3D печати и «умных» материалов позволяет создавать текстильные изделия, реагирующие на различные внешние раздражители, в том числе свето-, звуко-, тепло- и электрореактивные, что позволяет выявлять и контролировать естественную реакцию человека на окружающую среду без дополнительных процессоров и датчиков [258, 263]. Благодаря разработанному программному обеспечению для проектирования и изготовления одежды с использованием 3D печати пользователи могут создавать собственный дизайн одежды и быстро генерировать готовые изделия как на дорогих принтерах *SLS*, так и на более доступных *FDM* [235]. Зарубежные потребители уже готовы приобретать одежду с 3D принтеров, однако недостатком «напечатанной» одежды считают её стоимость, а преимуществом - быстроту изготовления и возможность принимать участие в дизайне модели [306].

Анализируя ассортимент одежды, изготовленной с использованием технологии 3D печати, можно отметить неизменное стремление дизайнеров создать полноценное, функциональное, комфортное изделие, имеющее несомненное превосходство перед традиционными. Преимуществом «напечатанной» одежды стала возможность получения оригинальных эффектов благодаря инновационным технологиям. В швейном производстве использование технологии 3D печати пока остается отдаленной перспективой, так как требует более детального изучения применяемых методов и инструментов, используемых материалов и полученных результатов. С позиции внедрения технологий трехмерной печати наиболее перспективным сегментом рынка сегодня являются дизайнерские коллекции одежды, при этом проводником технологий 3D печати в промышленное производство наряду с дизайнерами выступают разработчики 3D принтеров, которые заинтересованы в повышении функциональности одежды и улучшении её других потребительских свойств.

В заключение параграфа хотелось бы отметить, что индустрия моды является крупнейшим в мире производителем отходов, что связано с перепроизводством невостребованной или возвращенной продукции, не удовлетворившей потребителем размером, цветом или стилем одежды [198], поэтому для современного устойчивого развития отрасли важно становиться более клиенто-ориентированной, использовать экологически чистые производственные практики и методологию интеллектуализации всех производственных процессов от дизайна изделий до их продажи.

## **1.8 НАУЧНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Проведенный выше анализ свидетельствует об актуальности использования технологий *автоматизации*, *цифровизации* и *интеллектуализации* в процессе проектирования и промышленного изготовления одежды. И если некоторые элементы интеллектуализации уже находят применение в отдельных подмодулях САПР одежды, то проблема глобальной интеллектуализации процесса проектирования и производства одежды учеными пока даже не ставится. В этом направлении нами предложена научная концепция интеллектуализации виртуального проектирования изделий легкой промышленности, представленная на рисунке 1.4. Предлагаемый параметрический подход к описанию объекта проектирования позволяет использовать приемы и методы САПР в массовом производстве. Возможность использования когнитивных методов позволяет своевременно выявлять явные и скрытые потребности клиентов и производить востребованную персонифицированную продукцию. Ключевым аспектом формирования групп параметров, характеризующих каждое производимое изделие, является анализ выявленных потребностей реципиентов и функций, позволяющих их удовлетворить. Использование технологии искусственного интеллекта для выявления перспективных потребностей основано на интеллектуальном анализе больших данных о предпочтениях и ожиданиях разных групп потребителей, отражаемых в сети Интернет.

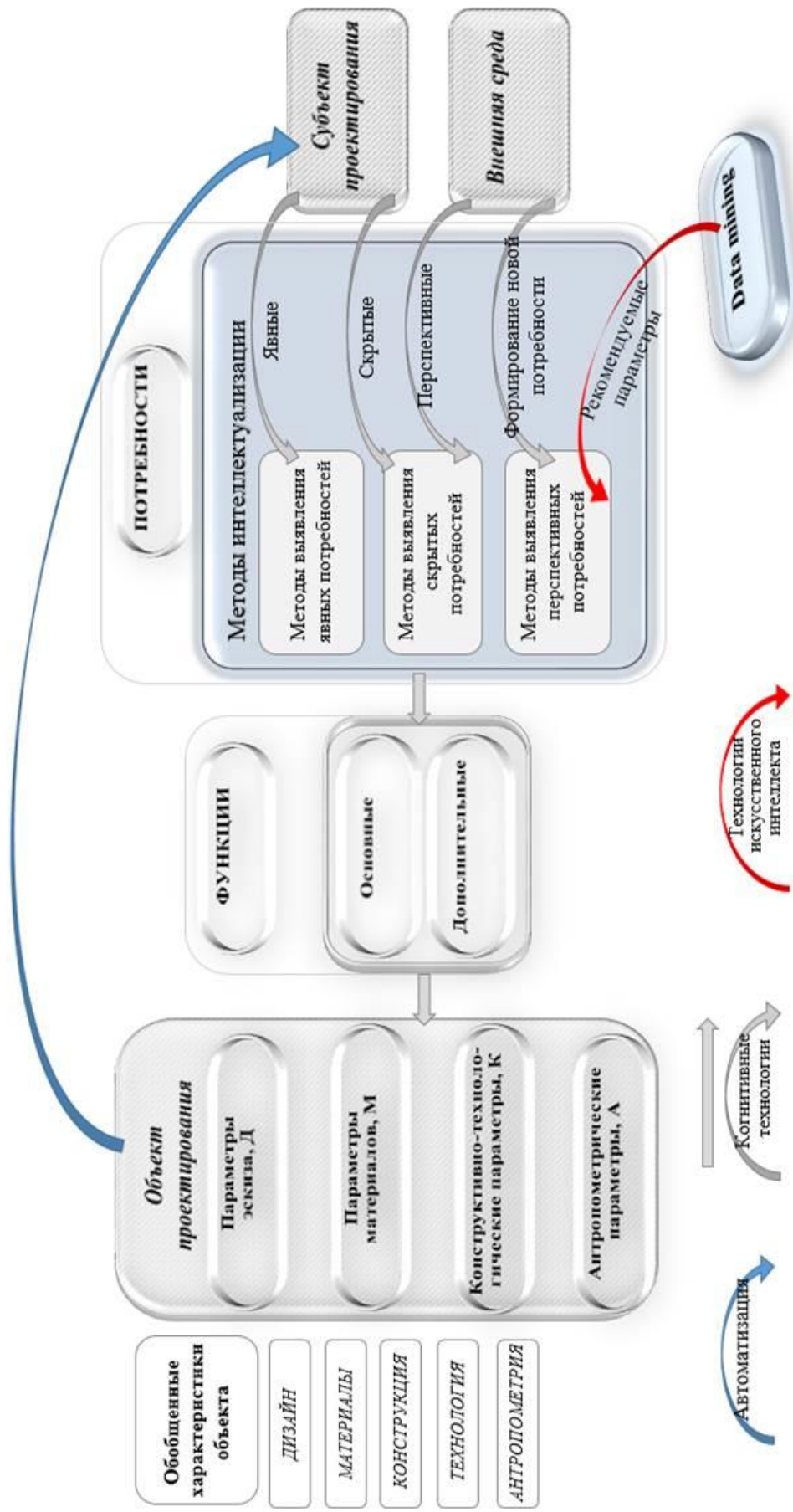


Рисунок 1.4 – Обобщенная концептуальная модель интеллектуального виртуального проектирования изделий повышенной функциональности

Существующий арсенал инструментов и средств интеллектуализации позволяет не только учитывать перспективные модные тенденции, исходя из представленных дизайнерских коллекций и образов лидеров мнений в социальных сетях, но и выявлять скрытые потребности, которые ещё даже могут быть не формализованы или не осознаны самими потребителями, а исходить из глобальных социальных или технологических тенденций. Таким образом, производитель может стать не просто интерпретатором известных модных идей, но и предложить глобальному рынку принципиально новые продукты, которые смогут сами формировать новые потребности на рынке благодаря воплощенным в них функциям. Новые технологии производства материалов и одежды могут обладать столь оригинальными функциями, что их воплощение в реальном мире может казаться потребителям фантастическим, как, например, плащ-невидимка (см. Рисунок 1.2). Потребитель как субъект проектирования выступает не только в роли реципиента продукции, но и в качестве интерактивного содизайнера благодаря возможности сообщить о своих явных предпочтениях и создать более персонифицированное изделие.

Для реализации нашей *концепции в широком смысле* технологии искусственного интеллекта, ориентированные на интеллектуальный анализ больших данных, следует направить на прогнозирование скрытых и перспективных потребностей общества, исходя из проявляемого интереса к разным аспектам жизнедеятельности каждого поколения, с целью создания принципиально новых изделий, предвосхищающих ожидания потребителей. Реализация предлагаемой *концепции в узком смысле* направлена на создание интеллектуальных продуктов, отличающихся принципиально новыми функциями, способными создавать и удовлетворять перспективные потребности человека. Таким образом, предлагаемая концепция интеллектуализации виртуального проектирования и изготовления одежды решает **научную проблему** интенсификации творческой дизайнерской деятельности и разработки швейных изделий, отличающихся востребованными оригинальными или заданными функциями, для обеспечения возможности создания принципиально новых конструкторско-технологических решений, аккумулирования наиболее успешного опыта проектирования изделий и производства одежды, в наибольшей степени соответствующей персонифицированным ожиданиям потребителей.

## ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1. Изучено современное состояние развития теории интеллектуализации на основе анализа основных интеллектуальных технологий, включая инженерию знаний, технологии экспертных, многоагентных и интерактивных систем, распознавания образов, изображений, знаков и др. Определены основные принципы, определяющие требования к интеллектуальным технологиям, системам и объектам.
2. Показаны особенности получения данных, знаний и информации, выделены основные категории знаний по предметным областям, определены факторы выбора способа и модели представления знаний, особенности представления знаний проиллюстрированы на примере продукционных, логических, фреймовых, объектно-ориентированных, реляционных, гибридных моделей, семантических и нейронных сетей. Приведена классификация профессиональных экспертных знаний, используемых для проектирования.
3. Выполнен анализ основных типов интеллектуальных систем, включая интеллектуальные системы поддержки принятия решений и используемые в них методы и технологии; особенности и структуру экспертных систем; мультиагентные системы с учетом классификаций используемых в них интеллектуальных агентов и алгоритмов.
4. Выявлены особенности проектных задач интеллектуальных САПР, к которым относят неопределенность и неформализуемость данных, многокритериальность и многовариантность решений, рассмотрены парадигмы интеллектуализации САПР, включая инженерию знаний, мягкие вычисления и вычислительный интеллект, описан состав, интеллектуальные компоненты и поддержки САПР. Выделены требования к описанию и форме представления моделей проектируемых объектов. Сформулированы преимущества интеллектуализации и автоматизации проектирования.
5. Рассмотрена методология поиска новых технических идей и решений, основанная на эвристическом подходе, методах поискового и концептуального конструирования, когнитивных технологиях, онтологическом описании объектов и процессов, теории решения изобретательских задач, инструментах интуитивного, систематизированного и упорядоченного направленного поиска, лежащая в основе создания принципиально новых объектов, отличающихся оригинальностью, дополнительной полезностью и функциональностью.

6. Разработана обобщенная концептуальная модель интеллектуализации интегрированных САПР одежды, включающая модули процессов эскизирования, конфекционирования, конструирования и технологической подготовки производства с возможностью использования экспертных рекомендаций, интеллектуальной поддержки принятия решений, технологий искусственного интеллекта и интеллектуального анализа больших данных о предпочтениях и ожиданиях разных групп потребителей, аккумулируемых в соответствующих подмодулях системы.

7. Исследованы перспективы использования технологий искусственного интеллекта и интеллектуализации объектов в лёгкой промышленности, выявлены наиболее популярные методы их технической реализации на различных этапах проектирования и изготовления продукции, прежде всего машинное обучение, системы поддержки принятия решений, экспертные системы, оптимизация, распознавание образов и компьютерное зрение. Рассмотрены способы создания интеллектуальных швейных изделий, перспективы их промышленного производства и востребованности рынком.



8. Предложена научная концепция и обобщенная модель интеллектуального виртуального проектирования изделий повышенной функциональности, направленная на решение проблемы интенсификации творческой деятельности проектировщиков и разработки высококонкурентных швейных изделий благодаря интеллектуальной технической поддержке, позволяющей аккумулировать наиболее успешный опыт проектирования и производства одежды, создавать принципиально новые, оригинальные проектные решения, предугадывать явные, скрытые и перспективные ожидания разных групп потребителей для их воплощения в соответствующей функциональности проектируемых изделий.

## 2 ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

С развитием цифровых технологий происходят изменения практически во всех сферах деятельности человека, включая производство одежды, которое требует технического переоснащения и методологической перезагрузки, переквалификации персонала, открытости к использованию новых материалов и промышленных технологий. На смену традиционной организации промышленного производства приходит новая структура цифрового взаимодействия на всех этапах проектирования и изготовления изделий, позволяющая как точно, так и масштабно модифицировать производственный процесс в зависимости от используемых ресурсов и ожидаемых результатов. К основным характеристикам цифрового производства одежды можно отнести:

- отсутствие бумажной документации;
- обеспечение тесного цифрового взаимодействия на протяжении всего производственного процесса от разработки технического задания до оценки качества готового продукта;
- представление объекта проектирования в виде цифровой модели изделия, обеспечивающей его визуализацию в течение всего производственного цикла;
- использование как двухмерной (2D), так и трехмерной (3D) виртуальной среды, чтобы использовать как традиционные методы проектирования, так и инновационные, например, для аддитивных технологий или «умной» одежды;
- поиск новых технических и проектных решений для создания оригинальной конкурентоспособной продукции, в том числе не имеющей аналогов на глобальном рынке.

Успешной цифровизации швейной промышленности прежде всего способствует:

-  возможность *параметрического описания любых свойств и характеристик изделия*, позволяющей моментально визуализировать результаты его моделирования или другой корректировки;
-  возможность *интеллектуализации процесса и объектов проектирования*, усиливающей творческую и экономическую результативность производства.

## 2.1 ОСНОВЫ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В КОНТЕКСТЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ

Новой ступенью современного развития систем автоматизированного проектирования стало *параметрическое моделирование (параметризация)*, представляющее собой проектирование объекта на основе параметров модели и соотношений между ними [80]. Идея дизайнера выражается прежде всего в структуре, форме и строении изделия, предопределяемыми его функциональностью, способом изготовления и используемыми материалами. Поэтому в цифровой модели материального объекта первичны визуально воспринимаемая форма и её геометрические характеристики [110]. В основе *параметризации* геометрических объектов лежит процесс определения формы объекта в целом на основе установления необходимого количества независимых параметров и их совокупности. Параметры (численные значения) характеризуют структурные единицы объекта, которым взаимно-однозначно соответствуют геометрические и графические модели, процесс преобразования которых из совокупности исходных данных в параметры формы и геометрического положения Власов М.Ю. определяет как *параметризацию* моделей [63]. Ермаковым Е.С. *параметризацией (параметрическим моделированием)* называется процесс проектирования объекта, полностью определяемого в классе подобных ему объектов ограниченным числом параметров, изменение каждого из которых приводит к изменению соответствующих параметров составляющих его элементов на основании заранее установленных условий [72].

Параметризация позволяет качественно и быстро изменять различные конструктивные решения путем изменения отдельных параметров или отношений между ними. Для создания параметрического режима проектирования конструктор задаёт математическую модель изделия, при изменении параметров которой происходит перестроение деталей конструкции [80].

*Автоматизированное параметрическое проектирование* использует в качестве параметров *переменные*, а для отображения отношений между параметрами *математические выражения* [79]. Параметризация проектных процедур представляет собой *математическое моделирование*, отражающее состояние процесса или трансформации модели в виде функций от ряда независимых параметров [49]. Процесс



**параметрического моделирования** геометрического объекта представляет собой установление количественных зависимостей для всех графических примитивов, представляющих собой его базовые составные элементы, исходя из их взаимного расположения и взаимосвязи в виде функций от независимых параметров, для определения внешней формы объекта. Принцип применения параметризации заключается в возможности использования переменных или зависимостей от переменных везде, где можно ввести текстовое или численное значение параметра, что позволяет связать любые значения переменных между собой, рассчитывать их по формулам и изменять извне с помощью формульных, табличных, графических зависимостей или систем управления базами данных (СУБД) [81].

**Параметрами** технической системы называют количественные характеристики описания особенностей её структуры, строения и иерархии внешних и внутренних факторов, определяющих её предназначение [47]. Параметризация проектирования опирается на внешние базы данных проектных параметров и процедур [114]. *Ермаковым Е.С.* под **параметрами** понимаются показатели, которые однозначно определяют конкретный объект как по форме, так и по функциональному содержанию среди множества ему подобных [73]. В процессе процедуры анализа технического задания выделяют множество варьируемых параметров проектируемого объекта и параметров, определяющих среду функционирования объекта, а также критериальных показателей для оценки качества проектируемого объекта [50]. Математические модели сложных объектов содержат как внутренние параметры структуры, так и внешние параметры, отражающие влияние окружающей среды [78].

При повторном использовании моделей-аналогов путем изменения формы их конструкции выделяют сравнительно небольшое количество параметров и используют библиотеки ранее созданных параметрических моделей. При концептуальном дизайне объекты моделирования часто описывают неформально, словесно, что предполагает возможность текстового задания параметров [105]. Современное мультимедийное проектирование предполагает использование интерактивных компьютерных технологий, характеризующих информационную среду не только параметрами графических, анимационных, текстовых изображений, но и других сенсорных выражений: звуков, температуры, тактильности и др. [111], что предопределяет перспективу параметрического моделирования дизайнером в среде виртуальной реальности.

*Калякулиным С.Ю.* «выходной» информацией конструкторско-технологического проектирования изделий считается комплекс графических и текстовых документов, определяющих конструкцию, технологию и организационные условия промышленного изготовления изделий [81]. Параметрический чертёж конструкции представляет собой целостную воспроизводимую систему, состоящую из множества переменных, определяющих функционально-параметрические связи отдельных структурных конструктивных элементов; унифицированную структуру проектных задач и процедур.

Для оптимизации параметрического моделирования и варьирования конструкторско-технологических параметров *Синицыной А.С.* предложен алгоритм, включающий процедуры: определения критериев оптимальности, характеризующих качество; определение параметров взаимодействия объекта с внешней средой; определение множества варьируемых технических параметров; определение пределов их варьирования [96]. При уменьшении количества используемых параметров снижается диапазон описываемых свойств объекта, а при их увеличении процесс проектирования становится более сложным, поэтому для однозначного описания любого элемента изделия следует определить необходимое и достаточное число параметров [73]. Обоснованный выбор параметров, характеризующих проектируемый объект, оказывает решающее влияние на прогнозирование его качества и эффективности функционирования [97].

Исследованиями ученых СПбГЭУ (*Аль-Шайх Х*, 2012) установлена возможность использования в самых разных областях параметрических конструкций и эскизов при проектировании изделий любого назначения [56]. С помощью *параметрического моделирования* конструктор алгоритмизирует и автоматизирует ряд проектных действий, конвертируя трехмерный мысленный образ объекта в двухмерные проекции и при необходимости визуализируя его трехмерную виртуальную модель.

Параметрические модели проектируемых объектов должны отражать существенные свойства объектов; позволять изменять их форму, размеры и положение; наглядно отображать форму, строение и структуру объекта; предоставить возможность для проведения объективной экспертизы специалистами и для реального воспроизведения объекта [64]. *Параметрической моделью* объекта называют такое описание изображения, которое позволяет произвольно менять размеры элементов, сохраняя конфигурацию и целостность перестраиваемого изображения. *Казанским Д.С.*

под *параметризацией чертежей* понимается использование средств сложного редактирования для преобразования топологически подобных объектов, другими словами разработка чертежей деталей путем изменения их размеров и сохранения соотношения между их частями благодаря заданным пользователем параметрическим связям [80].

В процессе параметризации первоначально формулируют цели проектирования, затем устанавливают множество параметров, характеризующих объект с учетом факторов, действующих как внутри системы, так и во внешней среде, и вводят ряд ограничений [96]. Система *ограничений* включает *внутренние условия* формирования модели, связывающие форму и расположение отдельных примитивов относительно других, которые можно подразделить на размерные, топологические, функциональные, логические и нормативные [56], а также *ограничения, обусловленные внешней средой*, в том числе: пределы использования финансовых, трудовых и материальных ресурсов при изготовлении изделий; уровень имеющихся технологий, условия функционирования проектируемого объекта и др. [96]. Форму изделия можно однозначно задать с помощью системы внутренних ограничений, применяя для обработки параметрических моделей специальный математический аппарат, включающий методы решения нелинейных алгебраических уравнений, предикативную логику и теорию графов.

Параметрические модели графических объектов создают путем:

- разработки программ генерации чертежей (*программная параметризация*, включающая процедурное и предикативное программирование);
- интерактивного проектирования объекта (*параллельная параметризация*, включающая предикативную, жесткую и объектно-ориентированную параметризацию);
- модификации имеющегося изображения объекта (*последующая параметризация*, основанную на введении вспомогательных размеров или анализе элементов чертежа);
- *последовательной параметризации*, включающей сеточное топологическое описание графических объектов и графовую обработку ограничений [56].

Цифровое представление мысленного образа объекта перед его воплощением в материальный объект является важной задачей САПР, так как модель объекта позволяет заранее оценить свойства и предсказать поведение изделия в определенных условиях, а также архивировать проектные решения благодаря единым методам синтеза и анализа чертежей и объемных изображений в памяти САПР [64]. *Параметрическая модель*

включает геометрическую модель изображения объекта, набор его размеров и информацию о связях размеров с изображением. *Параметрические модели* обеспечивают однозначную двухстороннюю связь процессов конструкторско-технологического проектирования и последующего изготовления изделий [56]. В качестве параметрических моделей в САПР используют двухмерные структурные, топологические, позиционные модели и трехмерные поверхностные и твердотельные модели конструкций. С позиции конструктора одежды форма объекта, представляемая его моделью, должна в наибольшей степени отображать его свойства, поэтому трехмерные объемные модели используются в современных высокопроизводительных САПР.

Общий алгоритм параметрического моделирования чертежей конструкции включает: выделение основных и дополнительных групп графических элементов; создание базовой сети опорных линий чертежа; установление связей между графическими элементами и опорными линиями с помощью обработки горизонтальных, вертикальных, дуговых и других размеров; обработку сопряженных элементов; модификацию и редактирование изображения. Процесс параметрического моделирования является универсальным для представления различных конструкций одежды. Параметрическое моделирование позволяет передавать информацию о свойствах объекта из САПР в системы автоматизированной технологической подготовки производства в виде переменных [81].

Одним из направлений повышения эффективности проектирования промышленных изделий является анализ поведения продукта в течение всего жизненного цикла [73], что требует последовательного уточнения функциональных характеристик конкретных изделий. Благодаря использованию прототипов можно учитывать задание и модификацию существенных свойств исследуемых изделий, чем ускорить процесс проектирования. Параметризация САПР позволяет контролировать состояние проектируемого объекта как на стадиях проектирования и изготовления, так и в процессе последующей эксплуатации и утилизации, для чего необходимо определить функциональные зависимости, существующие между отдельными параметрами [102].

При моделировании поведения ткани в одежде важно обеспечение не столько визуальной реалистичности, сколько соответствия модели реальным деформациям ткани при одевании фигуры человека [87]. Параметризация структуры изделий позволяет учитывать взаимосвязи между механическими свойствами материалов с цифровыми

изображениями объектов проектирования [58] и соответственно оценивать качество проектных решений для различных материалов и технологий.

*Параметрическое моделирование помогает формализовать процесс проектирования* путем его алгоритмизации и соответственно автоматизации, что способствует сокращению срока проектирования и производства изделий. Автоматизация ввода исходной информации и последующего преобразования параметров позволяет сократить время разработки конструкторско-технологической документации и минимизировать количество ошибок, связанных с человеческим фактором [81]. Внедрение параметризации процесса проектирования направлено на повышение качества и конкурентоспособности продукции, снижение суммарных производственных затрат, сокращение времени конструкторско-технологического проектирования; улучшение свойств проектируемой продукции. Параметризация применима как для традиционного моделирования композиционно-конструктивного решения одежды, так и для свободного, экспрессивного воплощения новых форм. Благодаря инновационным технологиям и новым материалам виртуальные модели часто можно воспроизводить без подготовки конструкторской документации [111]. Исходя из вышеизложенного, наши исследования опираются на *интеграцию автоматизированных модулей* всех этапов проектирования конструкции и технологии изготовления одежды, на *внедрение методов интеллектуализации в САПР* и на *построение информационной составляющей САПР одежды на параметрической модели описания объекта проектирования*.

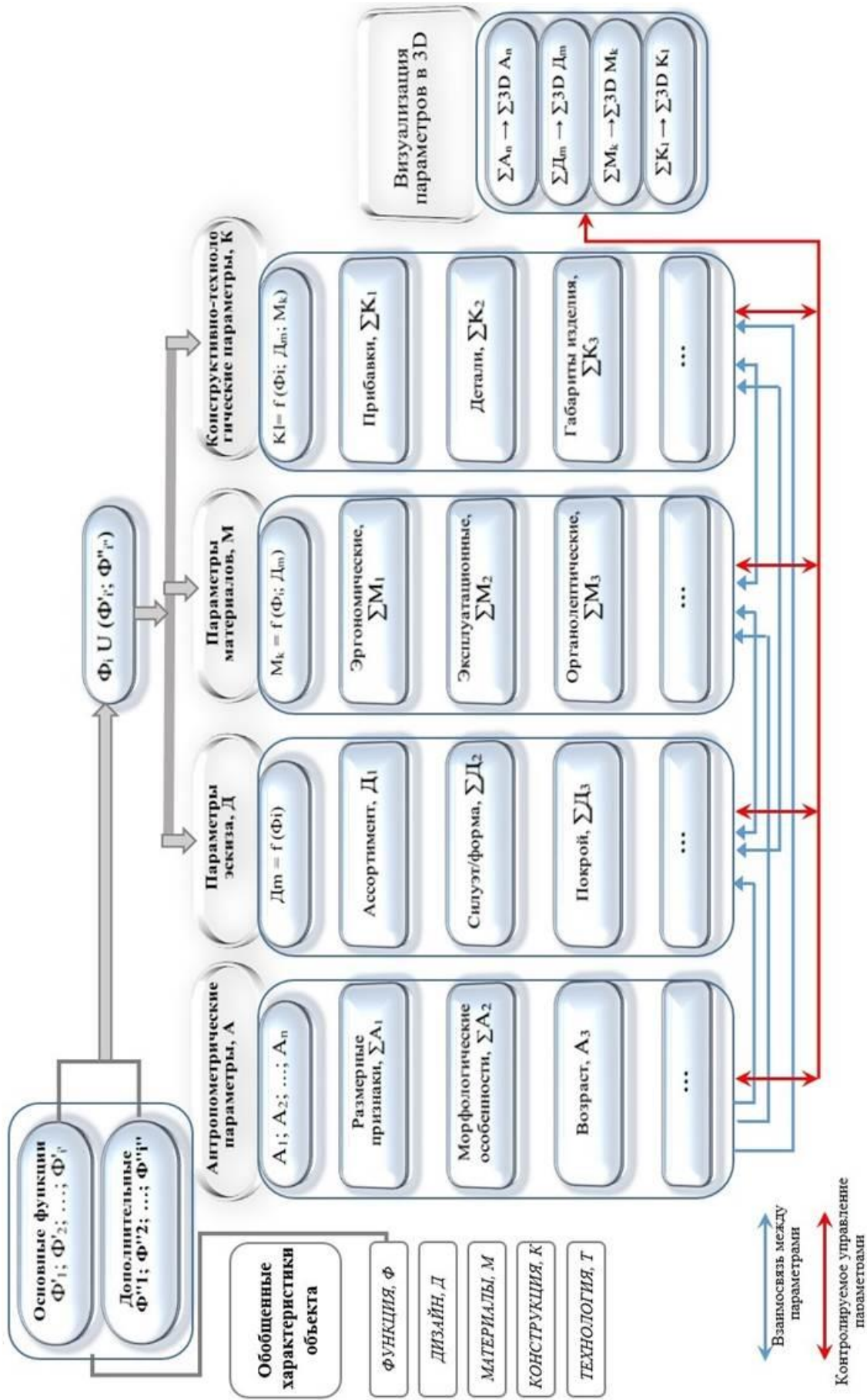
Предлагаемый нами *подход к созданию новых проектных решений* опирается не только на традиционное выявление явной потребности клиента или в целом на рынке и на последующую разработку технического способа её удовлетворения (см. п.1.5), а предполагает возможность обратного алгоритма действий: *сначала создание принципиально новой функциональности объекта проектирования* (за счет использования инновационных технологий, материалов или свойств изделия, то есть принципиально нового способа достижения технического решения), *после чего поиск перспективных потребностей* клиентов (см. Рисунок 1.4), которые могут быть удовлетворены с помощью новых (или заданных) функций изделий, что дает предприятиям легкой промышленности инструмент создания изделий, не имеющих аналогов на глобальных рынках, получения мощных конкурентных преимуществ среди

других отраслевых производителей и ускорения маркетингового продвижения за счет оригинальности проектных решений. Таким образом, *характер задаваемых **основных и дополнительных функций** проектируемого объекта с одной стороны может быть расширен благодаря изменению **уровня новизны проектного решения**, а с другой стороны лежит в основе **описания проектируемого объекта** и обуславливает **свойства, обобщенные характеристики** и в целом **качество** выпускаемого изделия, **предопределяя способ его проектирования и изготовления.***

На основе проведенных исследований нами разработана обобщенная концептуальная модель параметризации процесса проектирования геометрических объектов заданной функциональности (Рисунок 2.1), отображающая предлагаемый подход к выбору основных параметров, установлению связи между ними на этапах проектирования изделия и контролируемому управлению информацией об объекте в процессе параметрического моделирования внешней формы, конструкции, технологии изготовления одежды.

В качестве основной исходной информации для формирования общей параметрической модели описания объекта и формирования процесса проектирования выступает определение целевой функциональности изделия, включающее описание его основных и дополнительных функций. Совокупность сформулированных функций изделия являются основополагающим фактором, от которого зависят дизайн изделия, особенности конструктивно-технологического решения, требования к материалам. В обобщенные группы входят параметры эскиза, материалов и конструктивно-технологического решения, которые можно подразделить на комплексные и единичные параметры описания объекта проектирования. Так, например, в группу параметров эскиза включен как единичный параметр, описывающий ассортимент изделия, так и комплексные параметры, описывающие силуэтную форму, покрой и др.

При параметрическом моделировании одежды между группами параметров эскиза, материалов и конструктивно-технологического решения устанавливаются функциональные взаимозависимости так, что изменения любого из параметров ведёт к корректировке всей совокупности параметров. То есть, например, при изменении ассортиментной категории изделия сразу происходит изменение требований к материалам и конструктивно-технологическому решению, что приводит к корректировке соответствующих параметров.



**Рисунок 2.1 - Обобщенная концептуальная модель 4D параметризации процесса проектирования геометрических объектов заданной функциональности**

Группа антропометрических параметров задается на начальных этапах проектирования и также обуславливает выбор параметров визуального воплощения модели изделия, конфекционирования материалов, разработки конструкции и технологии изготовления одежды. Антропометрические параметры, параметры эскиза, материалов, конструктивного и технологических решений позволяют визуализировать 3D модель проектируемого изделия и проводить его виртуальную примерку на разных фигурах. В случае изменения параметров трехмерной модели проектируемого изделия сразу происходит изменение соответствующих параметров на всех этапах проектирования, что обусловлено четко установленной взаимосвязью параметров между собой. Таким образом, параметрическая модель описания объекта проектирования, задается условиями его функциональности, формируется в виде совокупности взаимосвязанных параметров, описывающих антропометрическую информацию, эскизное решение, характеристики материалов, конструктивно-технологическое решение, и визуализируется в виде графического отображения, образуя взаимозависимую цепочку данных.

Разработка изложенных выше научных концепций интеллектуализации и параметризации обусловила актуальность дальнейших исследований, направленных на анализ современного состояния САПР, успешно применяемых в швейной промышленности, с позиции эффективности использования интеллектуальных и параметрических компонентов в процессе проектирования одежды.

## **2.2 АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О СУБЪЕКТАХ И ОБЪЕКТАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ**

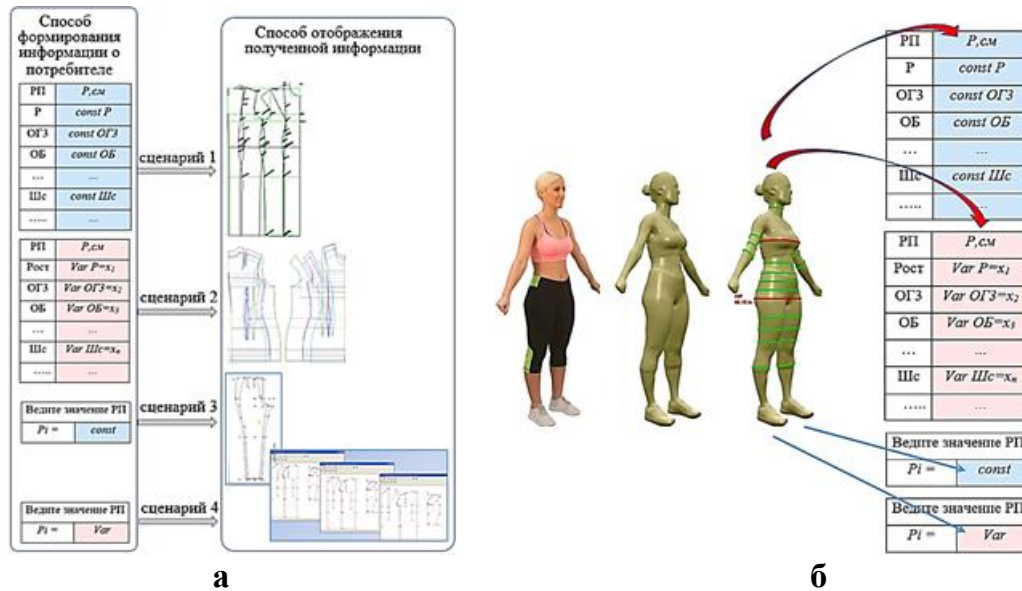
Исходную информацию о субъекте проектирования прежде всего следует подразделить на:

- а) *объективную* – параметрическую информацию о размерах и форме фигуры потребителя;
- б) *субъективную* – потребительские предпочтения по стилевому, конструктивному, цветовому решению и другие параметры.

Проведенный нами анализ современных САПР одежды, используемых для промышленного производства одежды, свидетельствует о существовании разных



подходов к получению параметрической информации о размерах и форме фигур потребителей, включая использование значений размерных признаков, задаваемых в виде параметров в базах данных или самостоятельно конструктором во время построения базовых конструкций (Рисунок 2.2, а).



**Рисунок 2.2 – Сценарии получения исходной параметрической информации о фигуре потребителя: а) ввод размерных признаков; б) измерение аватара**

При реализации первого сценария конструктор вызывает из базы данных размерные признаки, не изменяя их значений (параметры  $P_i = \text{const}$ ). Количество размерных признаков ограничено базой данных конкретной САПР одежды. Для каждого конкретного изделия определена совокупность размерных признаков, используемых для построения конструкции. Данный сценарий предусматривает проектирование конструкций на типовые фигуры.

Во втором сценарии конструктор может менять значения размерных признаков (параметры  $P_i = \text{Var}$ ), ориентируясь на адресность будущего потребителя. Количество размерных признаков ограничено базой данных конкретной САПР, для каждого конкретного изделия определена совокупность размерных признаков, используемых для построения конструкции.

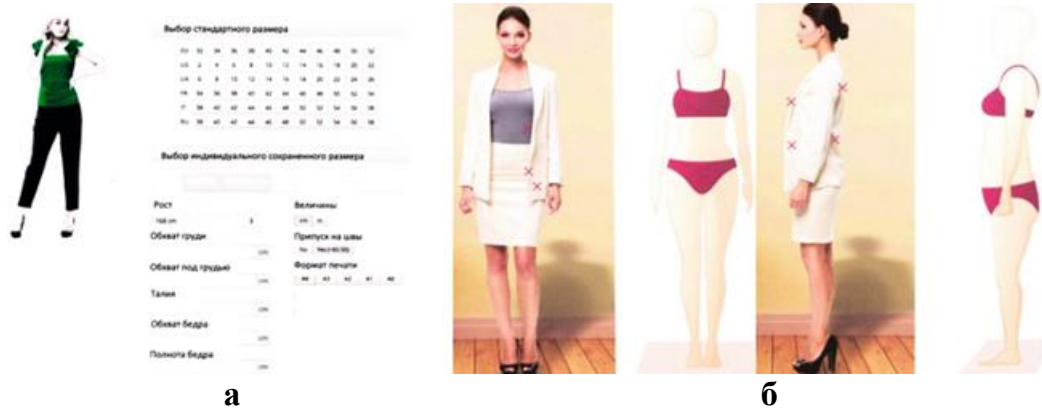
При работе по третьему и четвертому сценариям конструктор сам формирует алгоритм построения конструкции, решая какие размерные признаки им будут использованы. Выбор задания размерных признаков в виде постоянной величины ( $P_i = \text{const}$ ) (третий сценарий) или переменной ( $P_i = \text{Var}$ ) (четвертый сценарий) зависит от методики проектирования, способа и инструмента построения, выбранного

конструктором для работы. В отдельных САПР одежды может быть реализован как один, так и несколько сценариев. Например, в *САПР Ассоль* реализованы 1-й и 3-й сценарий [443], в *САПР GRAFIS* 2-й и 4-й [449], в *САПР Assyst* информация о потребителе задается только 3-м сценарием [446].

В ряде САПР для получения размерных признаков существует возможность импорта информации о фигуре при помощи аватара индивидуальной или типовой фигуры, что позволяет получить более точную информацию при создании персонифицированной одежды (см. Рисунок 2.2, б). Однако для промышленного проектирования данный способ пока остается слишком трудоемким, так как на практике измерение фигуры и ввод размерных признаков в систему осуществляется конструктором в ручном варианте (см. Рисунок 2.2, б, *синие стрелки*). Цепочка получения информации о фигуре складывается из этапов: получение данных сканирования фигуры → редактирование формы аватара в соответствии с формой фигуры → измерение аватара (в ряде САПР последний этап автоматизирован, но количество получаемых размерных признаков ограничено).

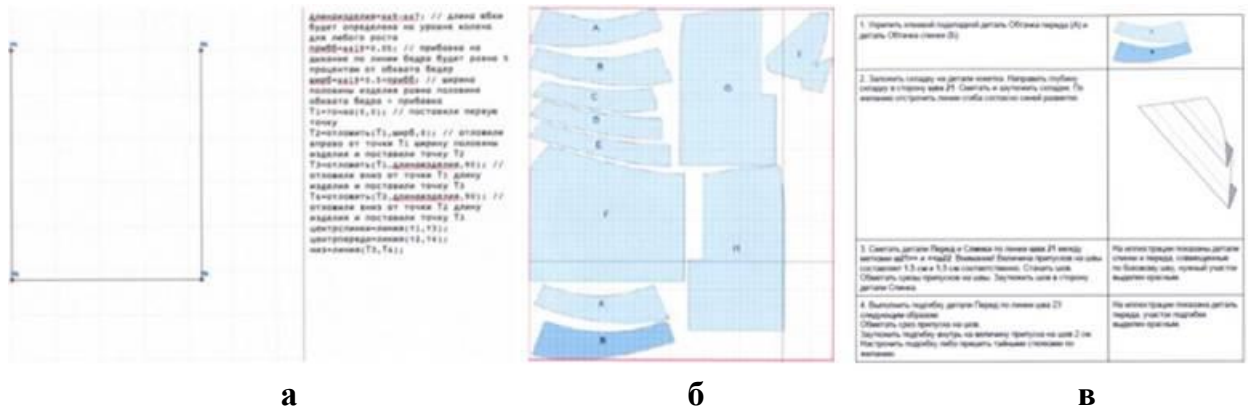
Задача автоматизированного получения необходимого набора размерных признаков на основании автоматического измерения сканированного отображения фигуры потребителя (см. Рисунок 2.2, б *красные стрелки*) ни в одной САПР одежды пока не решена, что обуславливает особый интерес к изобретениям, направленным на автоматизацию этого этапа проектирования. Для решения этой задачи в изобретении *Кривоносой Н.В.* предлагается система сквозного проектирования изделий на индивидуального потребителя [417], включающая:

- модуль построения манекена, основанный на распознавании опорных точек фигуры, определении их ориентации в пространстве и построении профильных отображений 3D на основе сравнения абрисов фигуры с эталонными (Рисунок 2.3, а, б);
- модуль построения конструкции, основанный на написании конструктором алгоритма последовательности построения (Рисунок 2.4, а);
- модуль построения изделия по заданной конструкции (см. Рисунок 2.4, б); последовательность сбора изделия с использования базы данных терминологии по изготовлению (см. Рисунок 2.4, в).



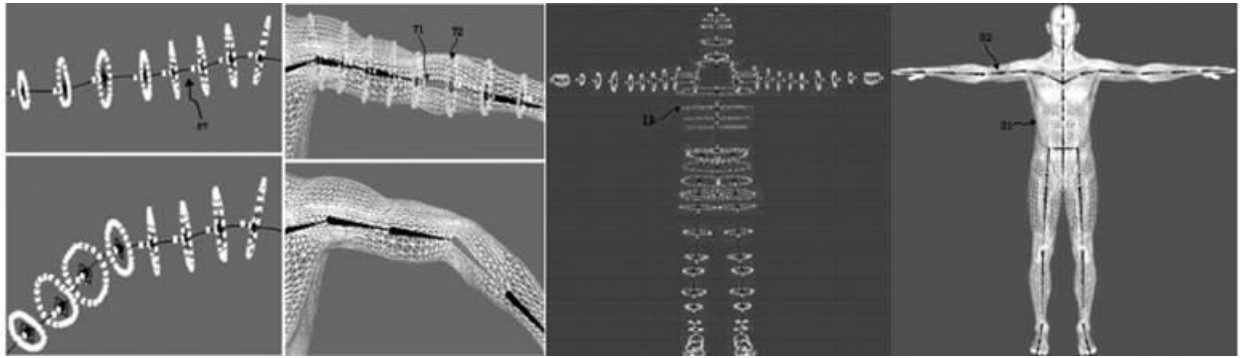
**Рисунок 2.3 – Построение манекена фигуры: а) интерфейс ввода размерных признаков; б) визуализация манекена по фотографиям фигуры**

К недостаткам предлагаемой системы следует отнести: отсутствие возможности для конструктора дополнять инструкции и редактировать последовательности операций, препятствующее внедрению в промышленное производство; и ограниченность спектра получаемых моделей, так как функционал системы ориентирован на создание изделий простых форм, а осуществление процесса распознавания фигуры опирается только на девять размерных признаков, которых недостаточно для персонификации реальных фигур.



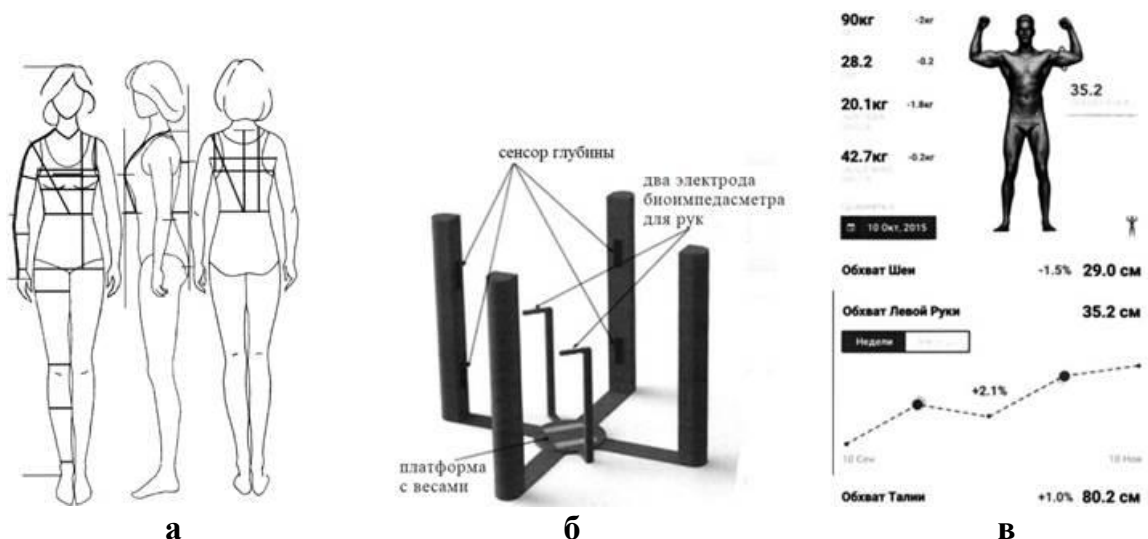
**Рисунок 2.4 – Этапы проектирования: а) создание алгоритма; б) построение конструкции; в) выбор технологических терминов из базы данных**

В изобретении (Kim H.-W. et al., 2016) описано устройство для создания цифровой модели человека на основе сопоставления изображений конкретного человека и стандартной усредненной модели фигуры [408], с помощью которого можно в автоматизированном режиме получить информацию о размерных признаках фигуры для построения ее математической модели (Рисунок 2.5). Однако это устройство не предназначено для измерения всех необходимых для проектирования одежды параметров, а само построение математической модели остается трудоемким.



**Рисунок 2.5 – Построение цифрового аватара фигуры человека**

Караваемым К.А. предложен ещё один способ создания трехмерной модели тела человека [416], построение которой осуществляется с помощью фотографирования человека в эластичной одежде с нанесёнными на неё метками (Рисунок 2.6, а), после чего на полученную 3D модель осуществляется примерка изделий разных производителей. Достоинством этого способа является ориентированность на маркетинг, а недостатком – трудоёмкость и субъективность описанных контактных методов измерения.

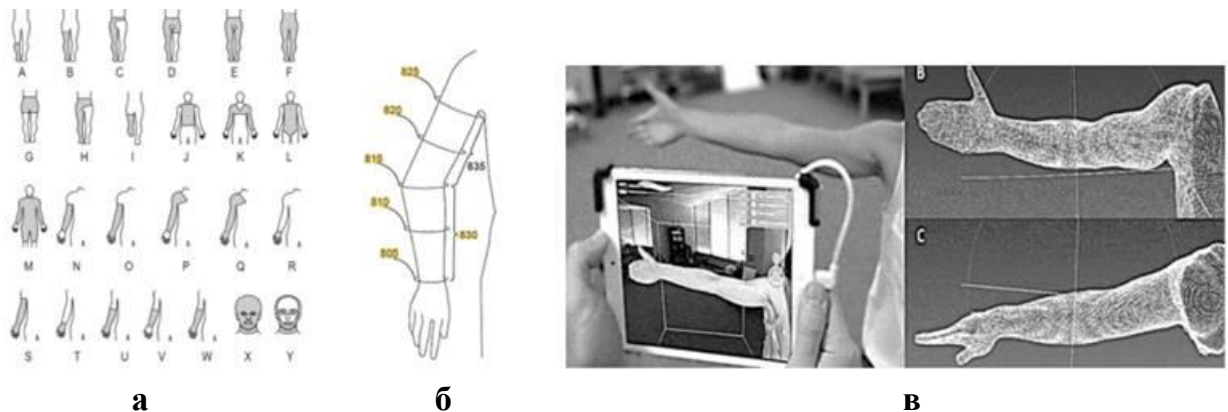


**Рисунок 2.6 – Создание 3D модели тела человека: а) нанесение меток на эластичную одежду; б) схема весоизмерительного датчика; в) визуализация результатов измерения**

В изобретении (Подшивалов С.А. и др., 2018) проблему автоматического построения трехмерной модели тела человека предлагается решать путем автоматического формирования и визуализации данных о размерных признаках фигуры, включая измерения обхватов, вес, индекс массы тела, данные о процентном содержании жира и мышц [408]. Получение данной информации осуществляется благодаря включению в состав измерительного устройства весоизмерительного датчика,

биоимпедансметра и сенсоров глубины (см. Рисунок 2.6, б). Этот способ ориентирован для контроля за состоянием человека (см. Рисунок 2.6, в), в том числе в процессе спортивных тренировок, но совсем не адаптирован к системам проектирования одежды, хотя сам принцип сбора информации о субъекте проектирования очень полезен для формирования обоснованных рекомендаций с точки зрения оценки особенностей фигуры потребителя.

С позиции интеллектуализации получения информации о субъекте проектирования интерес представляет изобретение (*Weiler M., Frank N., 2018*), в котором изложен способ получения конкретной информации для определенного элемента конструкции в изделиях компрессионного назначения [405] (Рисунок 2.7). Необходимая параметрическая информация получается путем визуализации и измерения тела человека, которые проводятся путем распознавания и математического описания частей фигуры как геометрических объектов. Так как это изобретение предназначено только для проектирования изделий компрессионного назначения в профилактических целях, то для использования предлагаемого способа в процессе проектирования швейных изделий широкого ассортимента необходимо создание дополнительных баз данных и иного математического аппарата.



**Рисунок 2.7 – Получение параметрической информации о теле человека:**  
**а) предметы компрессионной одежды; б) распознавание изображения; в) схема измерения руки**

С точки зрения распознавания антропометрических признаков и разработки рекомендаций пользователю особенно интересно изобретение (*Newman D., 2020*), предназначенное для изготовления инклюзивных изделий [414], исходной информацией для которого является изображение потребителя, на основании которого можно определить внешние недостатки его фигуры потребителя по отклонениям её размерных



параметров от типовых характеристик, чтобы внести изменения в конструкцию одежды и напечатать специальные элементы, маскирующие обнаруженные дефекты фигуры.

Для получения субъективной информации о предпочтениях потребителей по стилевому, конструктивному, цветовому решению и другим характеристикам в условиях промышленного производства предлагается использовать отклик на ранее разработанные модели изделий, хранящиеся в базе данных моделей. Сценарий получения информации от потребителя об его предпочтениях в рамках используемой структуры САПР одежды может быть основан на визуализации изделия на шаблоне типовой фигуры или на графическом изображении фигуры потребителя, при чем могут использоваться как 2D, так и 3D средства визуализации. Для трехмерной визуализации автоматизированные системы интегрируют модуль конструирования со сторонними программами визуализаторами. В качестве примера работы визуализатора рассмотрен функционал программного продукта *i-Designer*, разработанного корейской компанией *Technoa Inc.* [450], ориентированного на продвижение и продажу одежды, 3D модуль которого интерактивен, интуитивно понятен и удобен пользователю (Рисунок 2.8, а).



**Рисунок 2.8 – Редактирование параметров одежды в системе *i-Designer*:**

- а) интерактивный ввод значений; б) изменение степени прилегания изделия;**  
**в) изменение длины изделия**

Система *i-Designer* предоставляет возможность многовариантной модификации параметров изделия: при изменении степени прилегания изделия на разных конструктивных уровнях (см. Рисунок 2.8, б), при изменении основных параметров габаритов изделия, включая длину или ширину (см. Рисунок 2.8, в), при изменении свойств ткани, прежде всего жесткости ткани – драпирующейся/ мягкой, средней жесткости и жёсткой. Модуль-конструктор системы основан на пополняемой базе данных моделей и ориентирован на относительно стабильный ассортимент: поло, сорочки, юбки, классические жакеты (Рисунок 2.9, а).



**Рисунок 2.9 – Моделирование одежды в системе *i-Designer*: а) трехмерная модель; б) конструкция изделия**

Перспективность данного модуля выражается прежде всего в способе организации диалога с пользователем, позволяющем формализовать этап получения информации о субъекте проектирования, который, однако, на настоящий момент является скорее инструментом маркетинга, чем проектирования. К другим преимуществам системы *i-Designer* можно отнести её интеграцию со сторонними программными продуктами, позволяющими контролировать уровень спроса на изделие и персонализировать отдельные параметры изделия, например, цвет и фактуру материала и др. (см. Рисунок 2.9, б). Однако потребителю предлагают очень ограниченный выбор характеристик разработанной модели изделия, которые можно изменять.

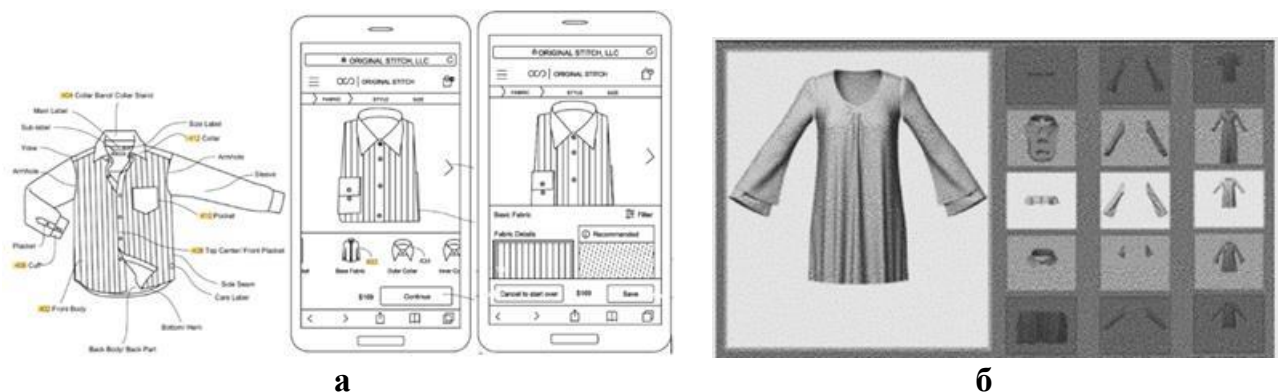
Способ организации персонализированного проектирования (*Ohnemus I., Felber J., 2014*) основан на взаимодействии потребителей и производителей одежды посредством сетевых баз [410]. Данные о параметрах фигуры, введенные потребителем (Рисунок 2.10, а), передаются в базу данных, включающую информацию о размерах изделия и параметрах примерки на конкретного потребителя (см. Рисунок 2.10, б), где впоследствии и хранятся. Пользователь может выбрать уже готовый вариант изделия по параметрам, отображенным на экране дисплея (см. Рисунок 2.10, в), при этом визуализация изделия на фигуре не осуществляется, а оценивается только соответствие размеров изделия размерам потребителя. База данных параметров примерки организована в виде обучающейся базы, генерирующей данные на основе информации о вариантах предыдущих примерок. Изобретение ориентировано на реализацию связи с потребителем только на уровне

выбора изделия, подходящего по размерным параметрам для конкретной фигуры, хотя следует отметить, что способ хранения информации позволяет обеспечить персонафицированный подход к конкретному потребителю.



**Рисунок 2.10 – Последовательность выбора одежды: а) ввод информации о потребителе; б) база данных для выбора предмета одежды; в) организация образной связи о степени соответствия параметров изделия параметрам фигуры**

В изобретении (Koh С., 2018) представлен ещё один способ формирования данных о потребительских предпочтениях [425], основанный на получении, систематизации и хранении информации о потребителе, организации иерархической базы данных описания моделей. Описание моделей организовано в виде взаимосвязанных переменных элементов описания, в том числе параметров конструкции и материала (Рисунок 2.11, а). В результате анализа выявленных потребительских предпочтений выбираются наиболее подходящие цепочки описания, выбираемые только из элементов базы данных, что существенно ограничивает ассортимент получаемых изделий.



**Рисунок 2.11 – Способ организации информации для выбора дизайна одежды: а) в виде иерархической базы данных; б) в виде прототипов решений**

Интересным с позиции ориентации на производство, а не на маркетинг является изобретение (Gupta N., Eremenko P., 2014) [406], в котором предложен командно-управляющий сетевой способ автоматизированного изготовления персонафицированной



одежды, включающий получение сканированного изображения фигуры человека; подготовку и хранение информации о фигуре потребителя в виде облака точек; получение и хранение информации о предпочтениях потребителя в виде цифрового рисунка; преобразование информации о потребителе в виде инструкции и передача ее на производство. Достоинством этого способа является возможность сохранять и повторно использовать прототипы решений, а недостатком – отсутствие возможности подготовки адресных рекомендаций для потребителя с учетом особенностей его индивидуальной фигуры.

В американском патенте (*Sareen I.*, 2018) описан способ организации серверной модельной системы по взаимодействию конструктора и покупателя одежды [413], основанной на организации базы данных конструкций элементов изделия, его виртуального трехмерного изображения и описания правил компоновки элементов в изделии. База данных формируется путем наполнения конструкций со стороны проектировщика. Выбор модели в процессе *online* покупок осуществляется путем набора элементов из базы данных. Патент ориентирован в сторону маркетинговых онлайн продаж. В качестве инструментов для организации системы проектирования в изобретении предложено использовать программное обеспечение для построения конструкций *TUKACAD*, для визуализации моделей - *E-FIT SIMULATOR* [451]. Для симуляции поведения ткани разработчиками предложена система *ClothFX*, для создания аватаров - *Online fitting*. Недостатком этого изобретения является ограничение пакетов программных продуктов и необходимость использования имеющихся баз данных, что существенно сужает ассортимент проектируемых изделий (см. Рисунок 2.11, б), хотя идея в целом представляется очень перспективной.

На организацию всего процесса проектирования направлен и способ создания одежды, представленный в изобретении (*Anger B.*, 2019) и включающий этапы получения точных измерений фигуры пользователя и хранение этих сведений в базе данных [404]. Получая доступ к базе данных, пользователь может выбрать изделия из массива, рекомендуемого системой, затем оценить примерку выбранной модели изделия, осуществляемую путем наложения фотографических изображений, после чего внести некоторые коррективы в полученное изображение. Квалифицированный производитель изготавливает одежду в соответствии с размерами и предпочтениями потребителя и отправляет ему готовое изделие. Так как отсутствует реалистичная виртуальная примерка

выбранной модели на 3D аватаре фигуры потребителя, то фактическое качество посадки готового изделия полностью зависит от правильности снятых измерений и квалификации конструктора.

Проведенный анализ известных способов получения объективной и субъективной параметрической информации о потребителе проектируемой одежды позволяет выделить тенденции к изготовлению персонализированных изделий и к использованию самообучающихся систем, способных выявлять предпочтения потребителей. Для реализации этих подходов в структуре САПР одежды требуется инструментарий для описания как субъекта (потребителя), так и объекта проектирования (изделия) в виде взаимосвязанных параметрических характеристик, значения которых могут регулироваться на всех этапах процесса проектирования без нарушений его итерации.

Кроме того, следует отметить, что внедрение интеллектуальных компонентов в САПР одежды расширило *роль субъекта проектирования*, добавив к его традиционному функционалу пассивного *реципиента готовых изделий*, выступающего в качестве покупателя одежды, возможность реализовать функционал *интерактивного потребителя* или *пользователя в виртуальной среде*, который может сообщить производителю дополнительную информацию о своих предпочтениях по текстуре или цвету материала, о своих антропометрических параметрах, выбрать особенности конструктивного решения из имеющихся вариантов, и таким образом выступить в качестве *содизайнера проектного решения*, в наибольшей степени удовлетворяющего все стороны.

### 2.3 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ОДЕЖДЫ В 2D И 3D ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ САПР

Уровень автоматизации программных продуктов для проектирования одежды можно оценить по уровню формализации процесса проектирования одежды в виде алгоритмов, сопровождающих действия конструктора на этапах проектирования. Традиционно выделяют три основных этапа конструкторских работ: построение базовой конструкции, моделирование и разработку комплекта рабочих лекал. В данном разделе

нами рассмотрены этапы построения базовой конструкции и разработки комплекта рабочих лекал как наиболее формализуемых этапов, подлежащих алгоритмизации и автоматизации. Моделирование конструкции одежды нами рассматривается как творческий, трудно формализуемый этап процесса проектирования, поэтому анализ его промышленной реализации в САПР проведен с позиции степени его интеллектуализации и представлен в следующем параграфе.

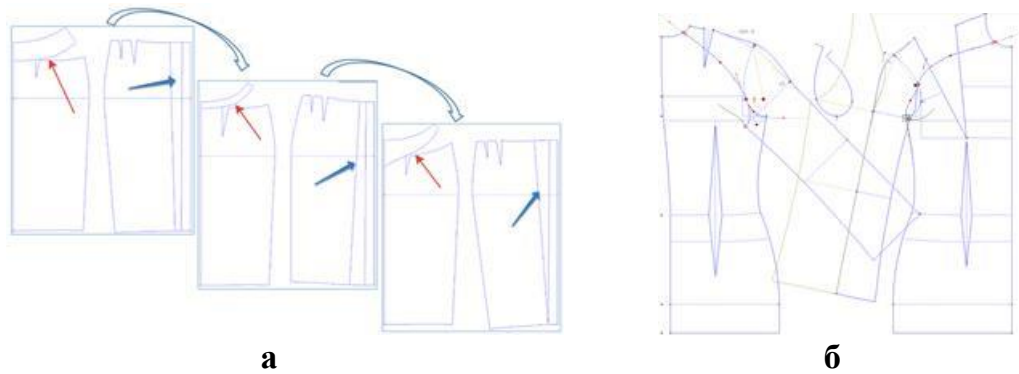
Проведенное исследование САПР, используемых в швейной промышленности позволило выделить *два основных подхода к автоматизации разработки конструкций*, а именно:

- 1) построение конструкции по уже имеющимся в программном продукте алгоритмам;
- 2) построение конструкции самим проектировщиком.

*Первый подход* успешно реализован в немецкой **САПР GRAFIS [449]**, отличающейся наиболее рекламируемым конструкторским программным обеспечением и мощным математическим аппаратом. Построение базовых и модельных конструкций в этой САПР одежды осуществляется в интерактивном автоматизированном режиме, и каждую созданную конструкцию характеризует система цифровой параметрической информации, включающая:

- размерные признаки фигуры человека;
- значение конструктивных прибавок;
- значение конструктивных параметров и коэффициентов;
- приемы моделирования;
- коэффициенты моделирования.

Изменение любого параметра конструкции возможно на любом этапе, что сразу отображается в графическом документе и делает эту программу очень привлекательной для конструкторов (Рисунок 2.12, а). Этап построения конструкторской документации (лекал базового размера, градации, спецификации, табеля мер) в программе интегрирован с этапом построения конструкции в одном параметрическом модуле и содержит блоки готовых решений, охватывающих достаточно большой спектр задач (например, оформление лекал, разработку производных деталей), что позволяет полностью автоматизировать процесс разработки конструкторских документов в условиях полной взаимосвязи как параметров конструкции, так и параметров оформления лекал.

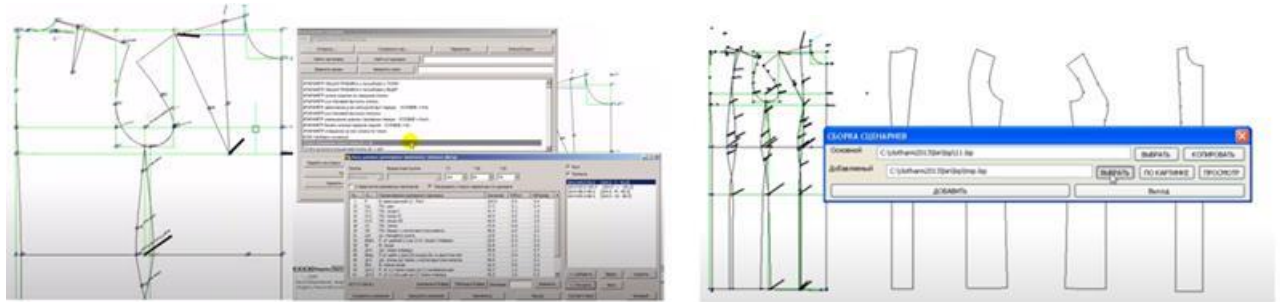


**Рисунок 2.12 – Взаимосвязь конструктивных параметров в САПР *GRAFIS*:  
а) с графическим чертежом; б) информативные точки в конструкции реглан**

Следует отметить, что при жестко регламентированных параметрических зависимостях и удобном математическом описании конструкций в САПР *GRAFIS* творческая составляющая процесса целиком лежит на конструкторе и зависит от его опыта. Недостатками работы конструктора можно назвать отсутствие рекомендуемых прибавок и конструктивных параметров, большое количество параметрических точек, сложных в управлении (см. Рисунок 2.12, б), необходимость контролировать последовательность своей работы. Так что, хотя у конструктора есть очень удобный инструмент, эффективно и качественно применять его может только достаточно квалифицированный и компетентный профессионал. Кроме того, при интеграции конструкторских документов между *GRAFIS* и другими САПР одежды передается только графический документ, параметрическая информация, заданная алгоритмически и обеспечивающая взаимосвязь параметров конструкции не передается ни в прямом, ни в обратном направлении.

В САПР *Ассоль*, программном продукте российского центра «Прикладных компьютерных технологий АССОЛЬ», реализованы *оба подхода к автоматизации конструирования* [443]. Система ориентирована как на разработку одежды, так и на другие продукты легкой промышленности: обувь, сумки, мебель, и восемь из 18-ти программ САПР *Ассоль* совместимы с продуктами *AutoCAD* и *BricsCAD*. При работе в параметрическом модуле конструирования «Доступная параметрика» САПР *Ассоль* построение конструкции осуществляется на основе параметрической информации о размерных признаках, конструктивных прибавках, коэффициентах, приемах конструктивного моделирования и их коэффициентах, что позволяет формализовать взаимосвязь между всеми параметрами, используемыми при построении конструкции и отображении её в графическом документе (Рисунок 2.13). Изменение любого параметра

конструкции в программе на любом этапе её построения сразу отображается в графическом документе. В том же модуле САПР интегрирован этап построения конструкторской документации, для чего вся информация по оформлению лекал описана в виде параметров, что позволяет моментально корректировать чертежи лекал при изменении параметров конструкции.

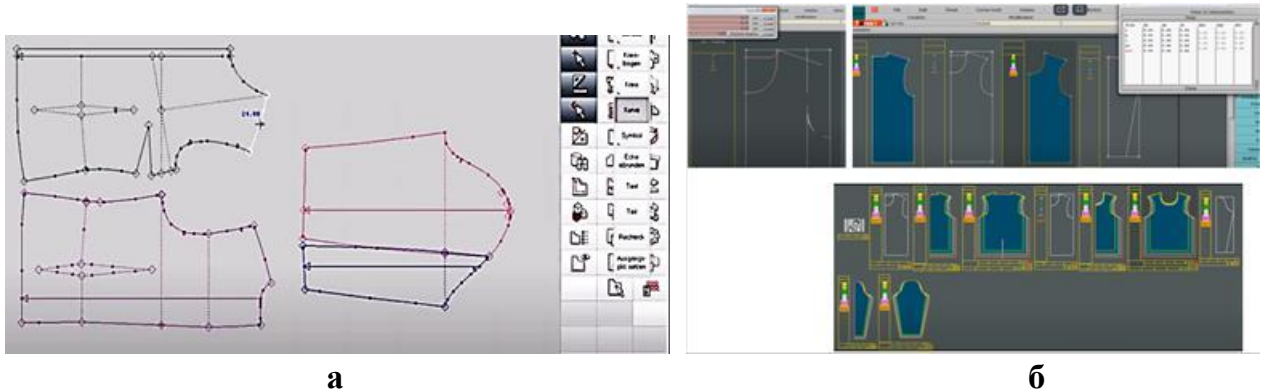


**Рисунок 2.13 – Интерактивное построение конструкции одежды в САПР Ассоль**

Недостатком данной системы можно считать недостаточную надежность хранения оперативной информации о ходе проектирования, так как файл сценария параметрического проектирования не защищен от стирания, и в случае обнаружения ошибки и при попытке её исправить в сценарии нередко происходит обнуление всей цепочки параметрического построения. Высокой сложностью отличается корректировка сценария при обнаружении ошибок, так как этот процесс требует дополнительных знаний в пунктуационной системе записи различных команд, а также немалого количества времени на обнаружение и устранение различного рода ошибок. Также, как и в других параметрических системах, таких как САПР *GRAFIS*, параметрический модуль САПР Ассоль подразумевает необходимость соблюдения условий последовательности построения, что требует высокого уровня владения не только приемами конструирования, но и глубоким знанием данной САПР одежды.

В качестве другого примера реализации *второго подхода к автоматизации построения конструкций* можно привести САПР *Assyst*, разработанную британской компанией *Assyst bullmer* [446]. Для организации процесса конструирования в программе предполагается использование инженерного инструмента для построения чертежей (Рисунок 2.14, а), при этом вся информация, необходимая для создания конструкции, проектировщиком выбирается самостоятельно. Интерактивная взаимосвязь между параметрами конструкции отсутствует. Любое изменение значения конструктивного параметра (например, конструктивной прибавки, ширины складки) приводит к

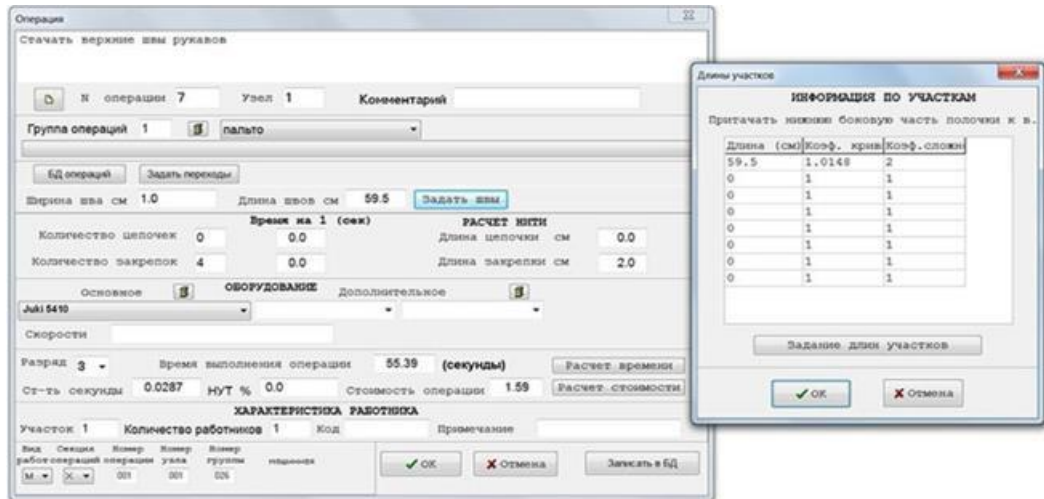
необходимости изменения всего чертежа. Для реализации автоматической зависимости чертежа конструкции от размеров фигуры на этапе градации конструктором устанавливаются правила, опять же на основе личного профессионального опыта. На следующем этапе построения и оформления лекал в САПР *Assyst* также используется инженерный инструмент, хотя на этом этапе в программе уже предусмотрена возможность использования блоков готовых решений.



**Рисунок 2.14 – Построение конструкции: а) САПР *Assyst*; б) модуль *Modaris***

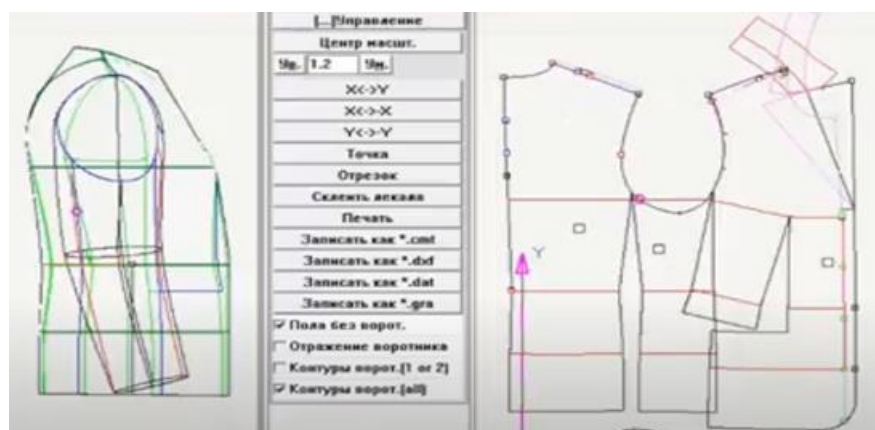
В модуле *Modaris* САПР *Lektra*, разработанной французской компанией *Lectra* [441], также реализован *второй подход к автоматизации построения конструкции*. Процесс построения конструкции в модуле *Modaris* не параметрический, проектировщик строит конструкцию сам, используя свои профессиональные знания (см. Рисунок 2.14, б). Последующее построение пакета конструкторских документов осуществляется в параметрическом автоматизированном режиме, включая этап раскроя, что является преимуществом САПР *Lektra* перед большинством программных пакетов, представленных на рынке.

С точки зрения автоматизации и интеграции всех модулей процесса проектирования одежды следует отметить внедрение в структуру ряда САПР технологических модулей. Так, преимуществом российской САПР *Comtense* является наличие модуля (Рисунок 2.15), в котором решаются задачи формирования технологической последовательности, расчета затрат времени, выбора фурнитуры и др. с помощью пополняемых баз данных и баз знаний, что значительно сокращает срок проектирования модели и повышает качественный уровень самого процесса проектирования новых моделей. Модуль технологической подготовки производства параметрически связан с конструкцией изделия, что позволяет напрямую читать параметры конструкций, созданных в модуле *AB OVO* САПР *Comtense*.



**Рисунок 2.15 – Модуль технологической подготовки в САПР COMTENSE**

В российской САПР СТАПРИМ [444] организация конструкторского модуля основана на создании пространственной формы в трехмерной виртуальной среде с её последующей разверткой. Все используемые методики и размерные признаки внесены в базу данных системы в виде переменных параметров, которыми может управлять конструктор в интерактивном режиме (Рисунок 2.16). Все параметры конструкции визуализируются в трехмерной форме, позволяя конструктору увидеть и оценить своё решение. Наличие модуля 3D проектирования, предназначенного для работы конструктора, отличает эту САПР от многих других. Однако, САПР СТАПРИМ не предоставляет возможность для работы конструктора в 2D пространстве, поэтому разработку комплекта конструкторской документации предлагается осуществлять в САПР Comtense.



**Рисунок 2.16 – Модуль интерактивного конструирования в САПР СТАПРИМ**

Инженерные задачи конструирования одежды, такие как построение базовых конструкций или лекал, автоматизированы в высокой степени и в достаточном объеме благодаря простоте их алгоритмизации, что позволяет интегрировать модули решения

этих задач в современные САПР одежды. Тем не менее, практически все САПР, предназначенные для промышленного применения в швейном производстве, ориентированы на профессионального, опытного пользователя, который должен уметь самостоятельно оперировать разными параметрами при построении конструкций одежды. Для начинающего пользователя САПР уже на этапе построения базовых конструкций необходима интерактивная поддержка системы в форме рекомендаций.

## **2.4 АНАЛИЗ УРОВНЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ОДЕЖДЫ В СОВРЕМЕННЫХ САПР ОДЕЖДЫ**

Творческая направленность ряда задач в процессе проектирования одежды предопределяет сложность их формализации и соответственно целесообразность применения методов интеллектуализации для алгоритмизации процессов создания и распознавания художественных образов, визуального оценивания пространственных изображений в виртуальной среде и других. Исследование вида и степени интеллектуализации процесса моделирования конструкций одежды в первую очередь рассмотрим с позиций:

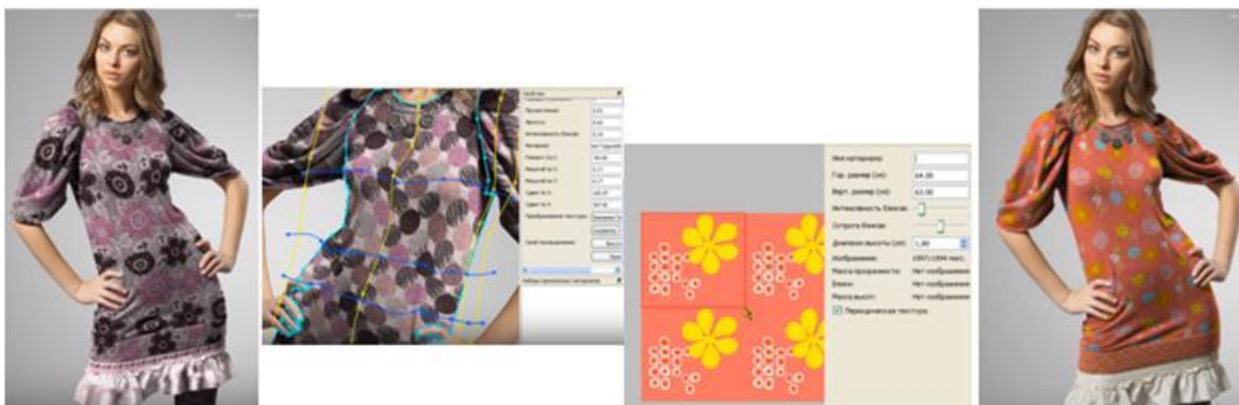
- интеллектуализации проектирования для повышения качества продукта;
- интеллектуализации процесса взаимодействия производителя и потребителя.

До настоящего времени одним из наименее проработанных звеньев процесса проектирования одежды является этап преобразования информации от художественных и технических эскизов изделия к его конструкции. Слабая формализуемость информации, заданной эскизом, предполагает целесообразность применения методов интеллектуализации для выявления и преобразования параметров эскиза в параметры конструкции. В ряде САПР одежды проблема преобразования информации художественного образа изделия в чертёж конструкции решается в некоторой части, при этом предлагаемые решения очень разнообразны.

Например, в САПР Ассоль предложена функция создания эскизов одежды с элементом визуализации объемной формы (Рисунок 2.17), что является комфортным инструментом для общения дизайнера и конструктора. Получение информации

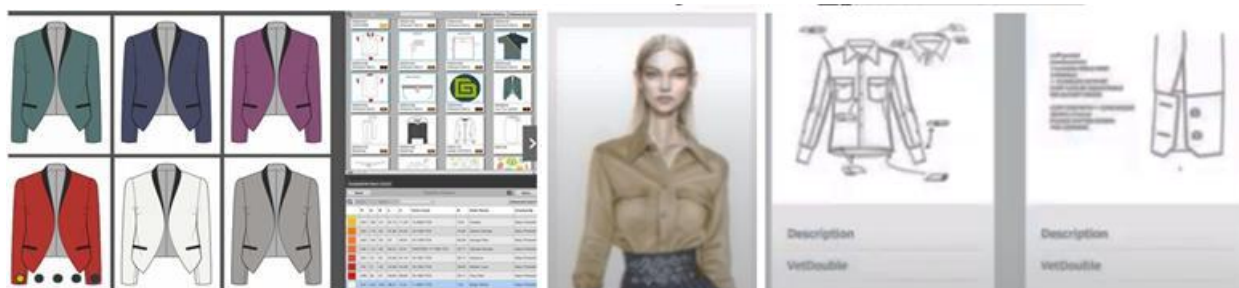


конструктором удобно, так как сохранены пропорции реального объекта, но использовать данный модуль возможно только при выборе конструктивных элементов одежды из базы данных, что не всегда приемлемо при создании нового изделия.



**Рисунок 2.17 – Визуализация формы изделия в двухмерном модуле Ассоль-Дизайн**

В автоматизированном комплексе *Gerber*, разработанном американской компанией *Gerber Technology Solutions*, модуль построения эскиза отсутствует, но есть возможность импорта эскизов из графических редакторов [448]. В этой системе имеется модуль управления жизненным циклом изделия *Yunique PLM*, представленный в виде базы данных информации об изделии, доступ к которой предоставлен всем разработчикам проекта, в том числе дизайнеру, конструктору, технологу. Информация модуля *Yunique PLM* включает технические эскизы, спецификацию, методы технологической обработки, таблицу мер, конструкцию, комплект лекал модели, трехмерную визуализацию изделия. База данных САПР пополняется на предприятии и может быть экспортирована. Наличие модуля *Yunique PLM* позволяет интенсифицировать творческий процесс конструктора при создании новых моделей путем использования прототипов и их конструктивных решений (Рисунок 2.18).



**Рисунок 2.18 – Функции модуля *Yunique PLM***

Очень интересной, с точки зрения организации сквозного проектирования, является интеграция модуля *Lectra Fashion PLM* [441] с программным продуктом *Adobe Illustrator* (Рисунок 2.19). В данной коллаборации реализована возможность согласовать

дизайнерскую идею и способ конструктивного решения будущей модели, что очень важно в совместной работе художника и конструктора. У дизайнера есть возможность оценить колористическое и фактурное решение изделия с учетом сырьевых ресурсов конкретного производства, у конструктора имеется инструмент для получения конкретной параметрической информации о модели. В модуле *Lectra Fashion PLM* имеется достаточно большой набор базовых решений, позволяющих облегчить техническую часть работы, например, унифицированные методы технологической обработки узлов, ряд конструктивных решений. Это позволяет формализовать процесс получения исходной информации для конструкторской работы и автоматизировать процесс формирования полного комплекта рабочей документации для изделия.



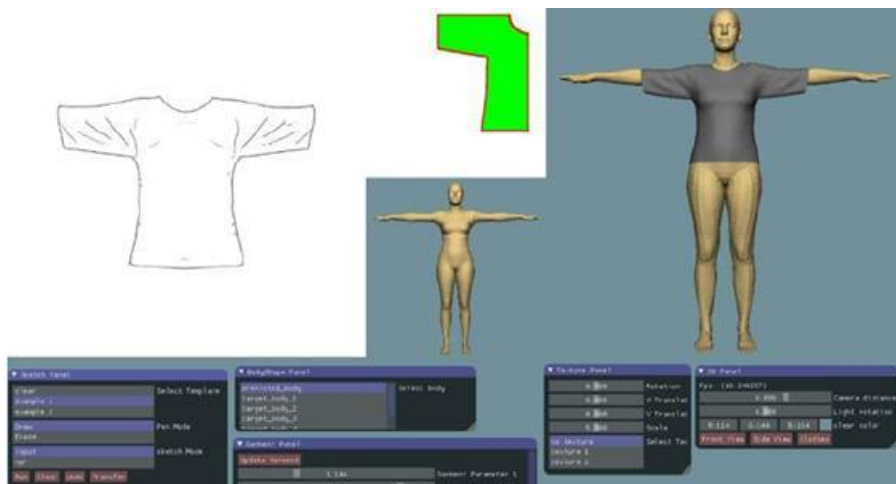
**Рисунок 2.19 - Интеграция модуля *Lectra Fashion PLM* с *Adobe Illustrator***

Оригинальный параметрический подход к работе с эскизами одежды, имеющей сложную складчатую поверхность, предложен британскими исследователями из *University College London* (Wang T. et al., 2018) [372]. Решение основано на методе создания совместно обучающихся связанных сетей, каждая из которых специализируется на связывании пар представлений, объединяя при этом параметрическую информацию между двумерными эскизными изображениями, параметрами фигуры, изделия и объемной трехмерной визуализацией. Для обучения этих сетей создан синтаксический набор эталонных данных (Рисунок 2.20).



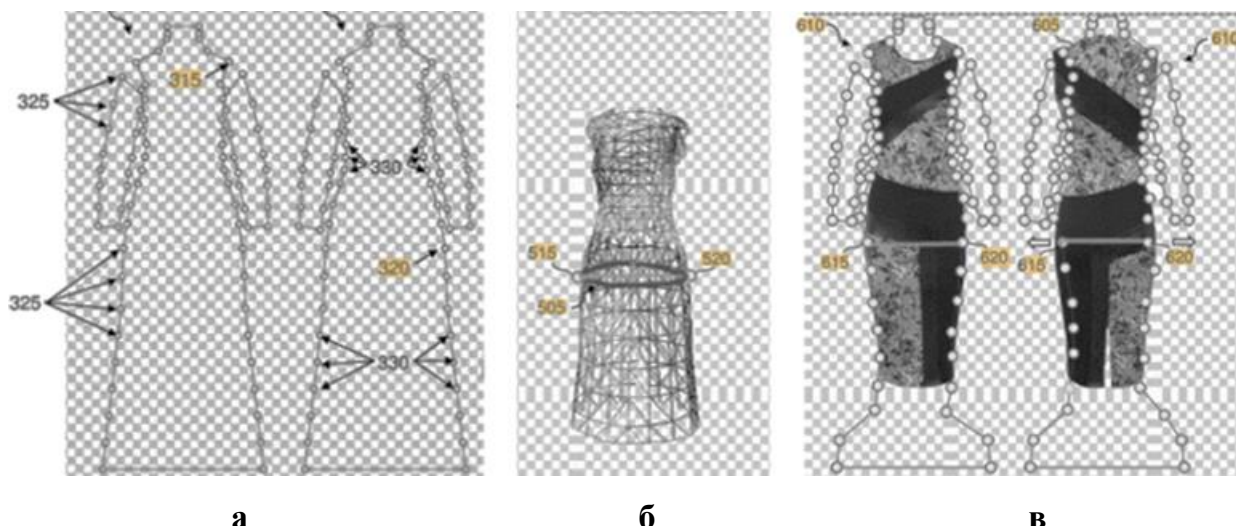
**Рисунок 2.20 – Эталонные данные для работы с эскизами кимоно и платья [372]**

Для интерактивного редактирования изделий (Рисунок 2.21) предложены такие характеристики, как длина, ширина изделия, растяжение ткани и прочность на сдвиг. Однако применение данного метода ограничено эталонным набором образцов, создание которого занимает большое количество времени, так как предлагаемая система основана не на самообучении, а на дополнении знаний экспертом.



**Рисунок 2.21 – Редактирование параметров эскиза, фигуры и изделия [372]**

В американском изобретении (*Khalili M., Khalili F., 2016*) предложен способ генерации 3D модели изделия, параметрически связанной с изображениями его 2D проектирования [424]. В частности, 3D модель создается путем деформации шаблона 3D модели с использованием контрольных точек (Рисунок 2.22, а), аналогами для которых являются контрольные точки на 2D изображениях.



**Рисунок 2.22 – Схема генерации 2D и 3D изображений: а) контур 2D модели (сзади и спереди); б) сечение 3D модели; в) настройка контрольных точек на 2D модели**

Шаблон 3D модели включает в себя несколько плоскостей, каждая из которых имеет несколько вершин и 3D опорные точки (см. Рисунок 2.22, б). Модификация 3D

модели осуществляется путем деформирования плоскостей и связанных с ними вершин шаблона 3D модели на основе изменения расположения 2D контрольных точек на 2D изображении (см. Рисунок 2.22, в). Задача обеспечения взаимосвязи между 2D и 3D изображениями особенно актуальна на начальных этапах проектирования, однако данному изобретению не хватает проработки дальнейшего перехода к конструкции изделия для возможности интеграции этого решения в САПР.

Трудность формализации информации, задаваемой изображением эскиза, обуславливает сложность алгоритмизации и последующей автоматизации этапа моделирования конструкции изделия для достижения её соответствия эскизу. Проведенный анализ показывает, что в большинстве САПР одежды инженерная часть процесса моделирования, которая может быть описана алгоритмически, представлена в виде блоков готовых решений, а выбор параметров целиком зависит от уровня профессионализма конструктора и реализуется интерактивно. Таким образом, интеллектуализация решения задач этапа моделирования в САПР осуществляется преимущественно в форме элементов интерактивного диалога и предложения различных вариантов готовых проектных решений.

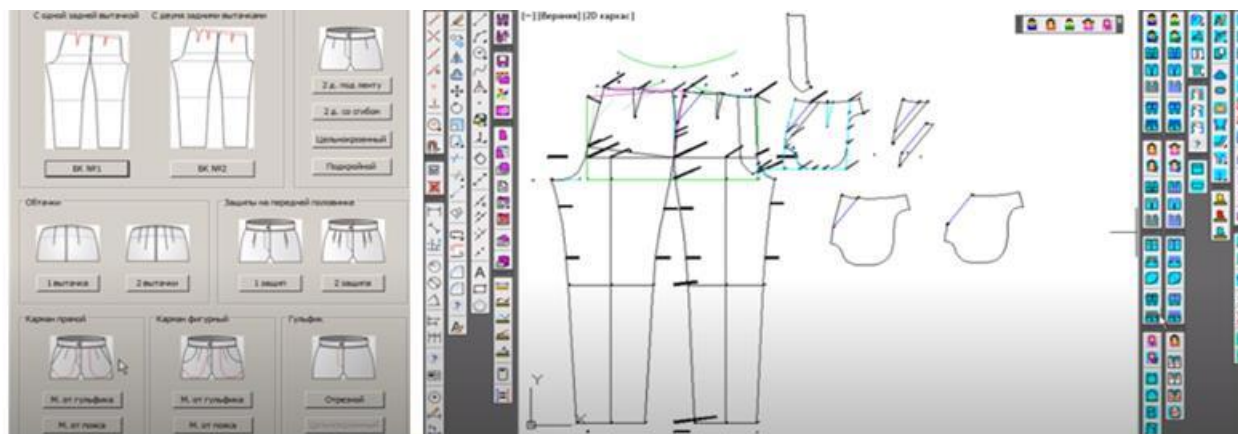
С точки зрения вариации блоков готовых решения наибольшей практической полезностью отличается САПР *GRAFIS*, в которой заложены блоки решений конструкций разных покроев стана, рукавов, воротников, карманов, декоративных элементов. При этом алгоритмический способ построения элементов блоков готовых решений позволяет получать большое многообразие видов, форм и конструкций конструктивных элементов, сохраняя связь с параметрами конструкции основной детали.

Множество блоков для построения и моделирования деталей одежды заложено и в конструкторском модуле «Доступная параметрика» САПР Ассоль (Рисунок 2.23), который ориентирован на создание удобного пространства для конструктора с помощью встроенных в программу методик построения готовых конструкций и экспертных рекомендаций по решению отдельных конструкторских и технологических задач (Рисунок 2.24). Однако, в основном данный модуль предназначен для моделирования конструкций изделий стабильного ассортимента несложной пространственной формы и покроев, а для моделирования более сложного ассортимента есть возможность сформировать алгоритм построения конструкции самому специалисту.



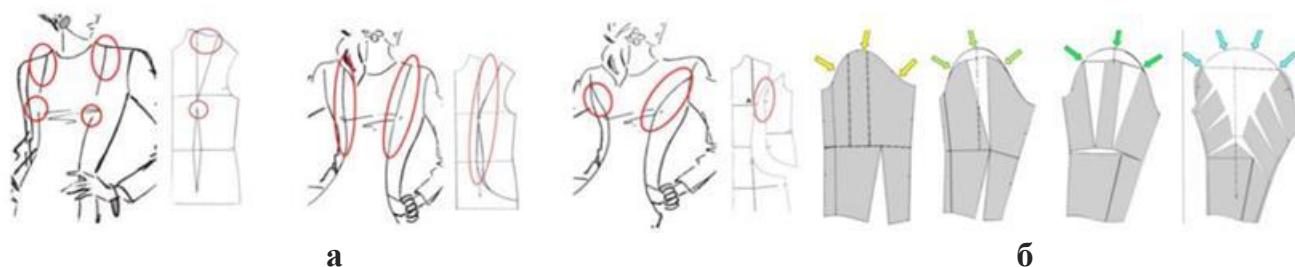


**Рисунок 2.23– Базы готовых конструкторских решений в модуле САПР Ассоль**



**Рисунок 2.24 –Модуль построения конструкции в САПР Ассоль**

Также можно отметить изобретение (Мироненко Е.А. и др., 2020), в котором описана техническая схема организации системы автоматизированного виртуального проектирования одежды на основе использования пополняемой базы данных размерных признаков, математических выражений и зависимостей для определения параметров изделия, наборов готовых параметрических данных и конструкторских решений (Рисунок 2.25, а, б) [421], однако отсутствует механизм, описывающий «правила» выбора удачных решений, которые впоследствии должны пополнять базы готовых решений для виртуального проектирования одежды.



**Рисунок 2.25 – Организация базы данных готовых решений:**

**а) для нагрудной вытачки; б) для построения линии оката рукава**

Использование ранее проверенных конструкций и сохранение самых удачных результатов проектирования позволяет значительно облегчить труд конструктора, повысить творческую составляющую его работы и улучшить качество новых проектных

решений. С другой стороны эффективность использования готовых проектных решений очевидна в большей степени для конструирования изделий условно-стабильного ассортимента, в то время как создание оригинальных, принципиально новых моделей современной одежды и использование новых технологий и материалов практически исключают возможность использования баз данных известных конструкторско-технологических решений.

## 2.5 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНОЙ ПРИМЕРКИ В САПР ОДЕЖДЫ

Решения конструктора в процессе моделирования требуют проверки и корректировки путем оценки пространственной формы готового изделия, которая может проводиться не только путем анализа качества посадки отшитого материального образца, но и с помощью его визуализации и виртуальной примерки. Для проведения виртуальной оценки качества посадки проектируемого изделия на виртуальном манекене в САПР одежды интегрируют модуль конструирования с внешними программами визуализаторами. Например, для целей визуализации пространственной формы одежды модуль конструкции *GRAFIS* интегрирован с модулем *VStitcher*, при этом в модуль виртуальной примерки автоматически передается графический документ.

Программное обеспечение *VStitcher*, разработанное сингапурской компанией *Browzwear International* [452] для 3D моделирования одежды, ориентировано на визуализацию моделей в трехмерной среде, но не предназначено для инженерного проектирования в промышленном масштабе. Система позволяет загружать конструкции, ранее разработанные в сторонних программах, что делает *VStitcher* очень привлекательным для совместного проектирования (Рисунок 2.26).

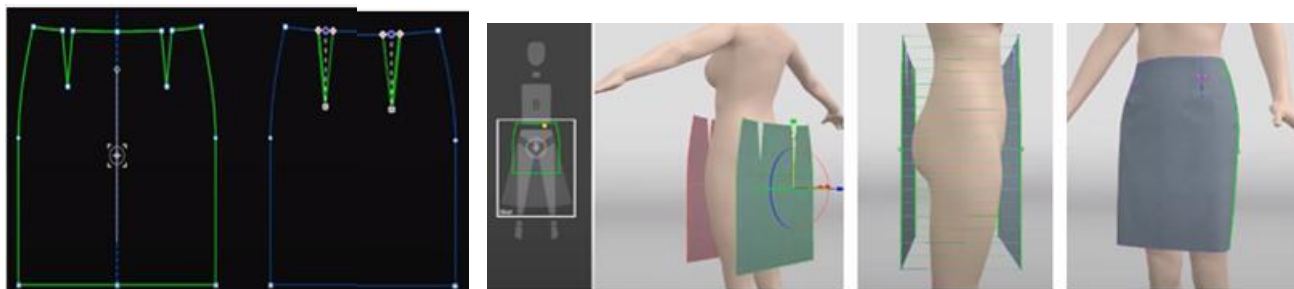


Рисунок 2.26 – Конструирование и визуализация 3D моделей в *VStitcher*

Модуль *VStitcher* имеет разнообразные инструменты для трехмерного моделирования одежды, в том числе для определения линий членения без изменения объемной формы, когда линии членения, рисуемые непосредственно на 3D модели, сразу достаточно точно отображаются в конструкции, сохраняя пропорциональные соотношения и пластику формы (Рисунок 2.27). Такой инструмент очень комфортен для творческого анализа модели одежды и оценки её пространственной формы в процессе визуализации. Для симуляции ткани в программе имеются инструменты виртуального регулирования физико-механических свойств материалов, чтобы адекватно прогнозировать внешнюю форму проектируемого изделия.



**Рисунок 2.27 – Моделирование линий членений конструкции в *VStitcher***

Тем не менее, несмотря на достаточно хорошо проработанный инструмент симуляции ткани в *VStitcher*, моделирование изделий сложных форм не всегда соответствует действительности, особенно в части визуализации драпировок и посадки рукава (Рисунок 2.28).

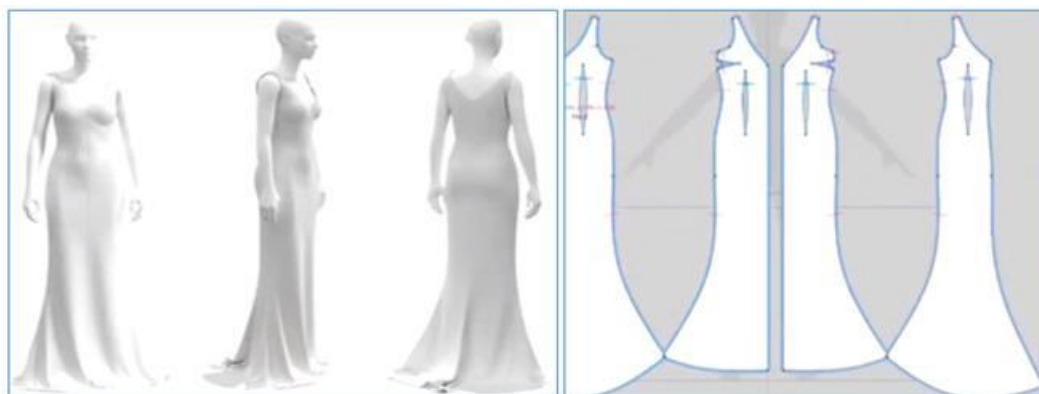


**Рисунок 2.28 – Моделирование изделий сложных форм в *VStitcher***

По нашей оценке модуль 3D моделирования *VStitcher* является одним из самых удобных в использовании современных инструментов визуализации одежды, поэтому его используют в сторонних САПР для проведения виртуальных примерок, что особенно полезно для организации дистанционного диалога с заказчиком и получения обоснованной обратной связи. Следует иметь ввиду, что параметрическая связь в модуле *VStitcher* на сегодняшний день организована только в направлении от программы конструктор к программе визуализатор, поэтому информацию, полученную после

примерки, конструктор использует для самостоятельного переноса в программу построения конструкций. Для оценки конструкторского решения, исходя из внешней формы 3D модели, конструктором используется следующий алгоритм: определение дефектов на виртуальном образце одежды; определение причины их возникновения; исправление конструкции в САПР *GRAFIS*; повторная передача конструкции в модуль *VStitcher* для визуализации и повторной оценки.

К другим наиболее удобным инструментам трехмерной визуализации безусловно следует отнести программное обеспечение *CLO 3D*, которое не является ни инженерной, ни параметрической системой. Основной функцией *CLO 3D* является получение реалистичного визуального эффекта при моделировании пространственного объекта, который используется для визуализации в различных САПР одежды, в том числе в САПР Ассоль (Рисунок 2.29) и в украинской САПР *Julivi* (Рисунок 2.30) [447].



**Рисунок 2.29 – Импорт конструкции из САПР Ассоль для визуализации в CLO 3D**

Так как использование программы *CLO 3D* не создает параметрической связи с конструкторским документом, то на сегодняшний день можно говорить только об условной визуализации проектных решений.

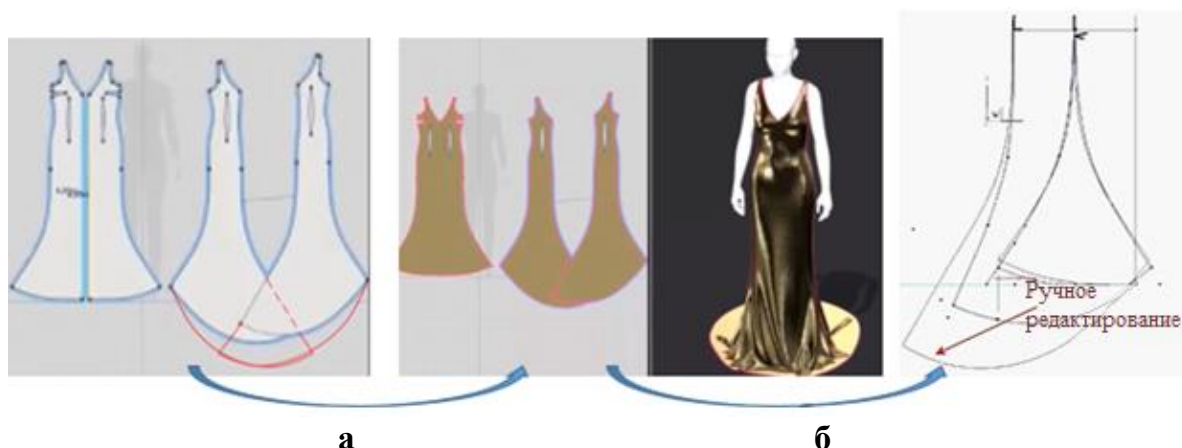


**Рисунок 2.30 – Импорт проектных решений из САПР *Julivi* в программу *CLO 3D***

Корректировка конструкции после проведения виртуальной примерки в *CLO 3D* отличается трудоемкостью: сначала в программе визуализатора исправляется необходимый параметр (Рисунок 2.31), затем схема конструкции передается в САПР

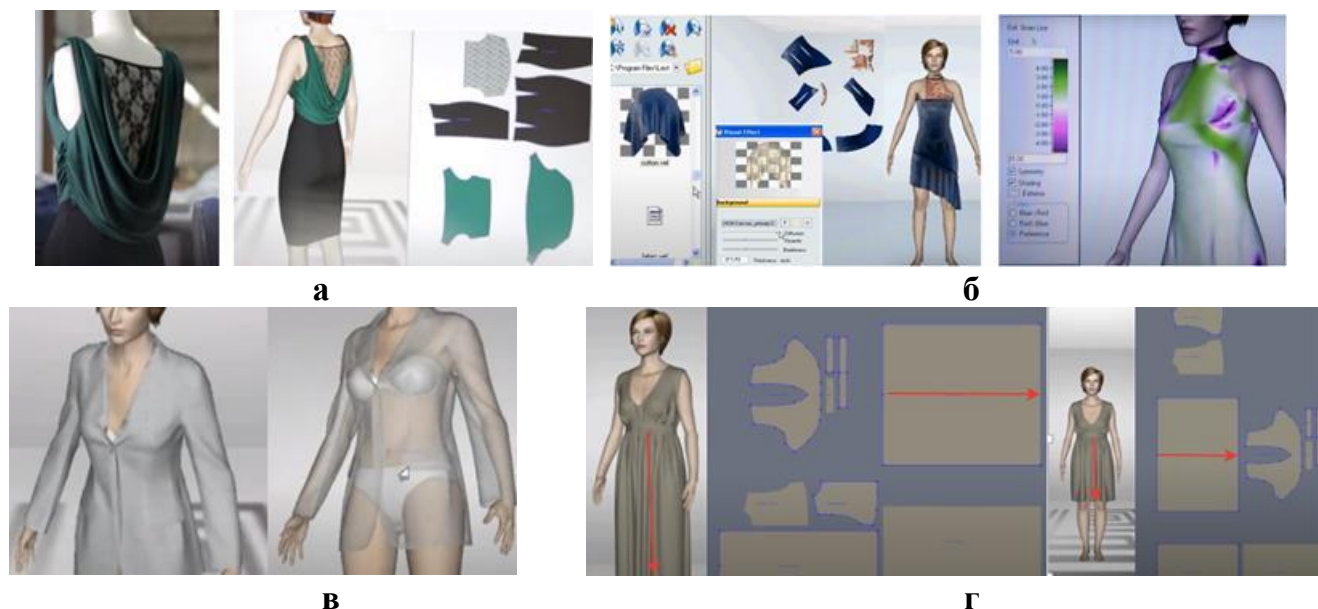


Ассоль, где исходя из изменений в шаблоне, исправляется исходная конструкция. Параметрической связи нет и в обратном направлении от 3D модели к конструкции.



**Рисунок 2.31 – Визуализация примерки модели в CLO 3D для редактирования конструкции в САПР Ассоль**

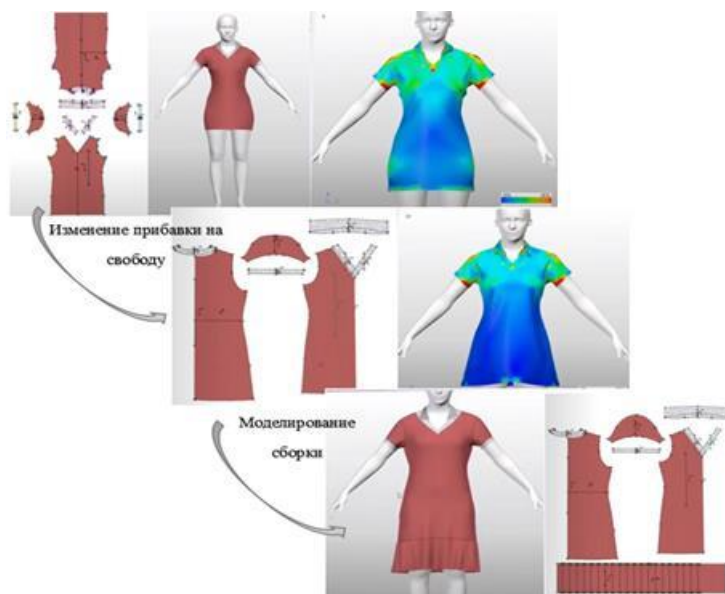
В системе *Lectra* модуль виртуальной примерки *Modaris 3D fit* встроен в структуру системы так, что автоматизированный цикл проектирования становится сквозным от создания эскиза модели одежды до её виртуальной примерки. Однако, несмотря на высокий уровень визуализации, в том числе и складчатой поверхности (Рисунок 2.32, а) в программе заложен ограниченный функционал по изменению физико-механических характеристик материалов (см. Рисунок 2.32, б) и отсутствует достоверность визуализации узла «рукав-пройма».



**Рисунок 2.32 – Виртуальная примерка в *Modaris 3D fit*: а) визуализация поверхности одежды; б) симуляция поведения ткани; в) визуализация узла рукав-пройма; г) визуализация параметрической связи 3D модели и конструкции**

Согласно алгоритму программы швы «стыковываются», в результате чего визуализация ряда узлов технологически неверна, например, в узле рукав-пройма отсутствует эффект посадки несмотря на то, что в конструкции посадка заложена (см. Рисунок 2.32, в), вследствие чего конструктор не может достоверно оценить решение, принятое им в процессе моделирования данного узла. Параметрическая связь модуля примерки *Modaris 3D fit* и конструкции сохраняется, что является большим достоинством системы. Эта связь реализована при корректировке конструкции, например, для изменения длины изделия, формы линий, ширины деталей, положения декоративных элементов (см. Рисунок 2.32, г).

В САПР *Gerber* модуль виртуальной примерки *AccuMark 3D* также встроен в структуру системы (Рисунок 2.33), где реализована параметрическая связь, но только от конструкции к 3D модели. Параметрическая интеграция модулей конструктивного моделирования и визуализации виртуальной примерки позволяет конструктору интерактивно изменять конфигурацию деталей конструкции с одновременной визуализацией этих изменений в изображении 3D модели проектируемого изделия.



**Рисунок 2.33 – Параметрическая связь конструкции и её 3D модели в *AccuMark 3D***

В результате виртуальной примерки в *AccuMark 3D* конструктор может получить визуальную информацию об оценке натяжения ткани на поверхности фигуры в статике и динамике (Рисунок 2.34, а), о степени свободы прилегания одежды к поверхности фигуры человека (см. Рисунок 2.34, б), нанести шаблон рисунка на лекала или поверхность 3D модели самого изделия (см. Рисунок 2.34, в). В этом программном модуле функция исправления дефектов конструкции реализована только на уровне визуализации самого

дефекта, определение причины его возникновения и выбор решения по способу устранения дефекта полностью лежит на конструкторе и зависит от его опыта, при этом необходимо учитывать средний уровень достоверности представления виртуального манекена и его соответствия фигуре потенциального потребителя.



**Рисунок 2.34 – Использование 3D модели изделия в *AccuMark 3D*: а) оценка натяжения ткани на фигуре; б) свобода прилегания одежды; в) рисунок на лекалах**

Среди недостатков модуля виртуальной примерки системы *Gerber* можно отметить ограниченность сферы сквозного проектирования, направленного прежде всего на ускорение и многовариантность моделей изделий, имеющих одну конструктивную основу, в то время как творческая разработка более сложных моделей по покрою, формообразованию или фактуре материала остаётся традиционно трудоёмкой. К достоинствам модуля виртуальной примерки *AccuMark 3D*, интегрированного с инженерным модулем проектирования, следует отнести возможности:

- обеспечения связи с заказчиком на уровне предоставления визуальной информации о модели;
- создания модельного ряда изделий, выполненных на одной конструктивной основе;
- модификации моделей изделий для их персонификации.

Одним из наиболее продвинутых решений организации виртуальной примерки является собственный модуль трехмерной визуализации одежды САПР *Assyst* [446], преимуществом которого по сравнению с другими системами является наличие параметрической взаимосвязи с конструкцией изделия, позволяющей конструктору оценить свое решение в процессе виртуальной примерки (Рисунок 2.35, а). Трехмерное моделирование осуществляется в модуле *Vidya*, сохраняя параметрическую связь с 2D конструкцией так, что изменения в 3D модели напрямую переносятся в конструкцию и

наоборот (см. Рисунок 2.35, б). По заявлениям производителя созданная параметрическая связь на сегодняшний день реализована частично и продолжает совершенствоваться.



а

б

**Рисунок 2.35 – Виртуальная примерка в САПР Assyst: а) построение 3D модели по конструкции; б) параметрическая связь конструкции и 3D модели**

Модуль трехмерного моделирования *Vidya* функции, необходимые для визуализации пространственной формы одежды, включая отображение фактуры материала, рисунка, цвета, декоративных строчек, аппликаций, петель, пуговиц. Программа позволяет успешно симулировать поведение ткани с учетом толщины, растяжимости, драпируемости и других свойств материала, а изменения параметров ткани осуществляются в интерактивном режиме с одновременной визуализацией в модели. В качестве преимуществ модуля трехмерной визуализации одежды САПР Assyst хотелось бы отметить возможность увидеть градацию одежды на фигурах разных размеров, которая осуществляется в интерактивном режиме и является существенным плюсом в работе конструктора, помогая принять решение о вариантах модельных особенностей изделия. На экране имеется возможность увидеть степень напряжения ткани в одежде на поверхности фигуры для разных размеров (Рисунок 2.36).



**Рисунок 2.36 – Визуализация градации одежды в САПР Assyst**

Инновацией в технологии трехмерного проектирования является отображение методов технологической обработки и сборки изделия на виртуальной модели (Рисунок



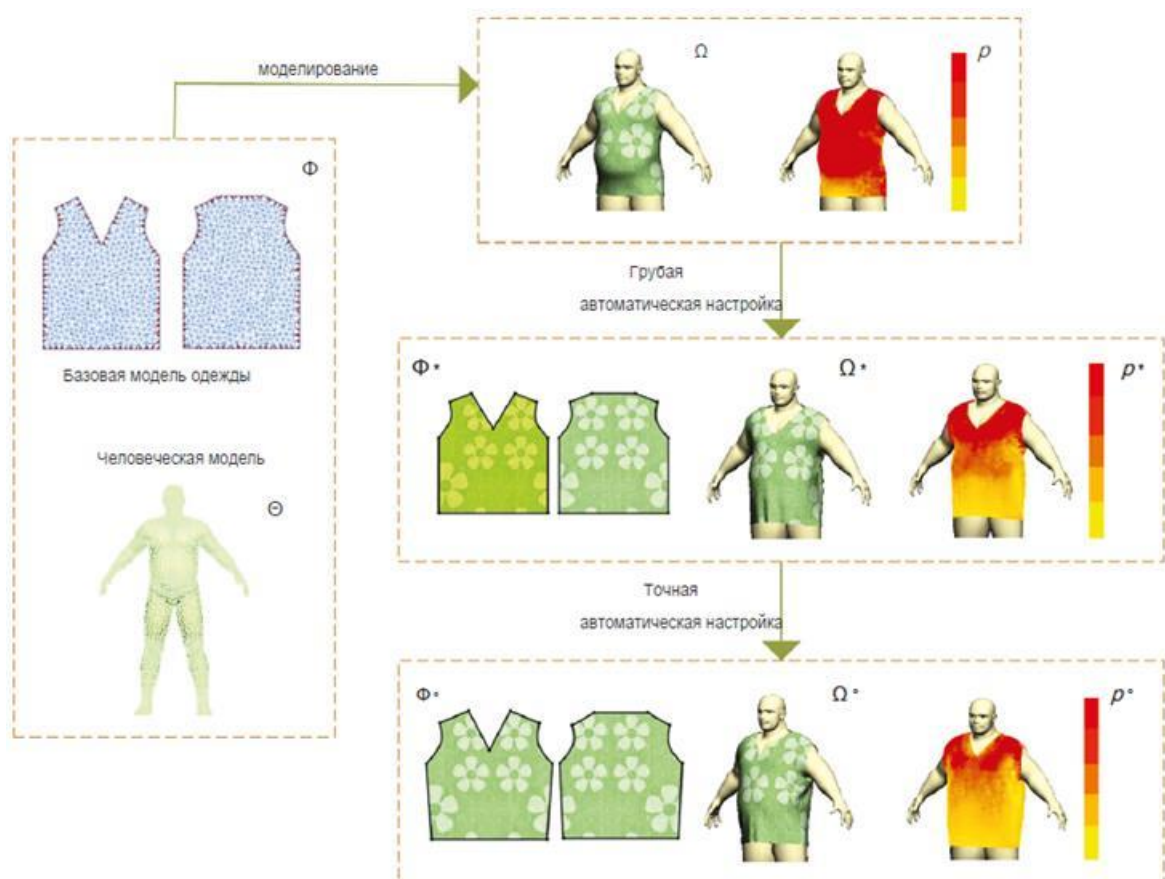
2.37). Реализованная в САПР *Assyst* визуализации технологии изготовления позволяет добиться высокой степени реалистичности представления модели, используя функцию отображения дублирующих деталей и фрагментации жесткости пакета материалов. Тем самым в САПР *Assyst* интегрируется параметрическое описание модели, связывающее не только особенности конструкции, внешней формы изделия и свойств материала, но и обеспечивающее дополнительную взаимосвязь с параметрами, определяющими особенности технологической обработки изделия и приемов оформления лекал, что не реализовано в других САПР, известных в мировой швейной промышленности.



**Рисунок 2.37 – Визуализация технологической обработки изделий в САПР *Assyst***

Стоит заметить, что вариативность предлагаемых и возможных для реализации решений в САПР *Assyst* ограничивается моделями, имеющимися в базе данных системы, поэтому разработку оригинальных моделей одежды, отличающихся новыми функциями, стилевыми или конструктивными решениями, требуется начинать «с нуля». Кроме того, существенной проблемой является облачный способ хранения, предполагающий открытый доступ к базам знаний.

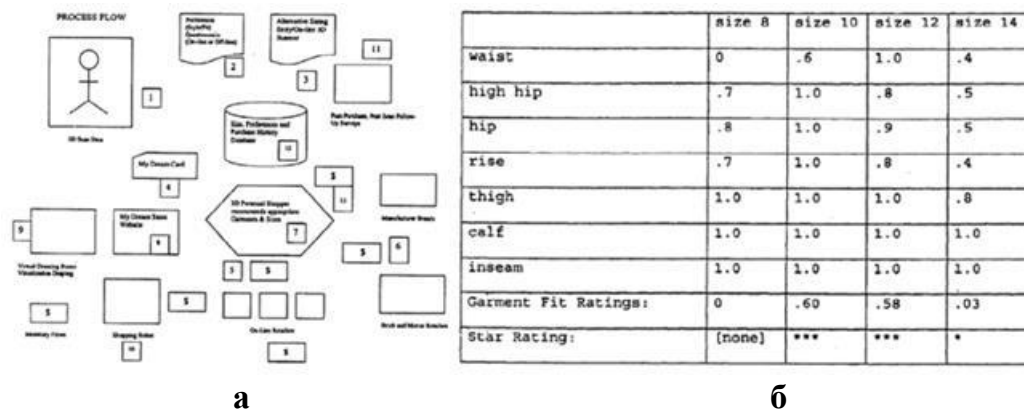
Китайскими и шведскими исследователями (*Zhu Y. et al., 2019*) предложен метод трёхэтапного моделирования изделия на фигуре человека (Рисунок 2.38) [399], заключающийся в первоначальном математическом моделировании одевания конструкции с исходными параметрами на манекен, затем в подгонке изделия под размеры манекена с помощью математических вычислений, и в завершение – в интерактивном взаимодействии автоматизированной системы с дизайнером. Использование тепловой карты, отражающей информацию о прогнозируемом растяжении ткани, помогает дизайнеру принять решение о способе моделирования изделия под конкретного человека. Однако, данный метод не применим для моделирования сложных кроев и стилей одежды.



**Рисунок 2.38 – Автоматизированная регулировка внешней формы изделия [399]**

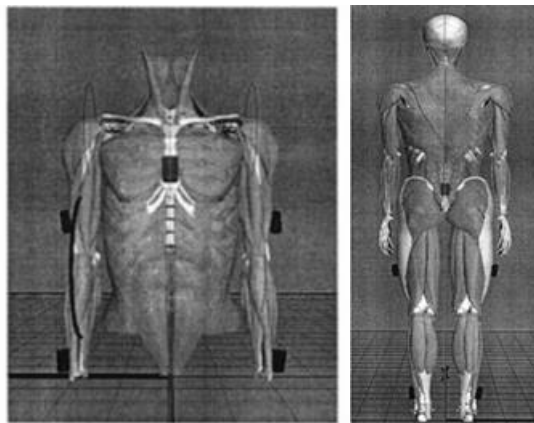
Помимо визуализации изделия в процессе виртуальной примерки очень важен инструмент оценивания и регулировки, поэтому с точки зрения интеллектуализации этого процесса интересным представляется американское изобретение (*Onyshkevych V. et al., 2002*) [423], в котором предложен метод формализации описания качества посадки изделия на фигуре человека с точки зрения потребителя (Рисунок 2.39, а). В качестве оценивающего критерия используется шкала соответствия размеров изделия размерам фигуры человека. Для каждого размера одежды существует идеальный размер фигуры, подходящий именно этому предмету одежды, а также диапазон, в пределах которого размеры изделия и фигуры можно считать соответствующими друг другу, а параметрам изделия в этом диапазоне размеров назначают «балл соответствия размеров», равный 1. При уменьшении размера изделия одежда становится более плотной, а «балл соответствия размеров» стремится к 0, при увеличении - одежда становится более свободной, а балл соответствия принимается равным +1 (см. Рисунок 2.39, б). Соответствие измерений изделия и фигуры человека определяется на всех конструктивных уровнях фигуры как компоненты общей оценки. Комбинированная оценка соответствия может быть дополнительно уточнена путем взвешивания

значимости отдельных компонентов оценки соответствия. В качестве механизмов для объединения индивидуальных оценок соответствия возможны как определение среднего арифметического (для быстрого вычисления), так и расчет полиномиальной функции, которая статистически компенсирует линейность между измерениями в уравнении. Однако, посадку изделий свободных или сложных силуэтных решений оценить данным методом невозможно.



**Рисунок 2.39 – Оценка одежды по размеру: а) блоки системы; б) балльная оценка посадки изделия на фигуре**

В изобретении российской войсковой части (Гергей А.М. и др., 2018) предложено оценивать уровень эргономических свойств одежды для военных с помощью биомеханических сенсоров [418], позволяющих моделировать профессиональные движения военных и с высокой точностью определять количественную оценку уровня их эргономического комфорта (Рисунок 2.40).



**Рисунок 2.40 – Размещение биомеханических сенсоров «Траст-М» на теле человека**

В этой разработке интересен способ оценки посадки изделия на фигуре человека с помощью определения соотношений обхватных характеристик, однако на комфортность одежды существенно влияют как особенности ряда конструктивных решений, например, узла рукав-пройма, так и модельные особенности изделия, например, членения, подрезы.

Кроме того, данная разработка направлена на оценку уже готовых изделий, в то время как для проектирования очень важным является обеспечение возможности оценки качества посадки изделия в процессе его проектирования.

Проведенный анализ существующих подходов к виртуальной оценке качества посадки одежды на фигуре человека показывает, что в современных САПР одежды модули виртуальных примерок отсутствуют или являются в большей степени маркетинговым инструментом представления новых моделей, чем рабочим инструментом конструктора, и важную роль в этом играет степень параметризации процесса проектирования. В связи с этим особый интерес представляет исследование математического аппарата, используемого для реализации виртуальных примерок одежды в САПР.

## 2.6 АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИМЕРОК МОДЕЛЕЙ ОДЕЖДЫ

В качестве объектов визуализации в процессе проведения виртуальной примерки рассмотрен математический аппарат и способы описания трехмерных моделей фигуры человека, образцов одежды и симулирования поведения ткани.

В изобретении (*Curry S., Sosa L., 2015*), описывающем систему и способ виртуальной примерки на основе 3D сканирования (Рисунок 2.41, а, б), для совмещения виртуального аватара покупателя и модели одежды предлагается применить конечно-точечный анализ, на основе которого формируется точное изображение изделия на аватаре пользователя [411].



Рисунок 2.41 – Виртуальная примерка одежды: а) антропометрический профиль потребителя; б) виртуальный гардероб с аватаром пользователя



В системе доступен выбора вариантов модельных элементов, типа ткани, аксессуаров (Рисунок 2.42, а, б), однако функция симуляции ткани не реализована.

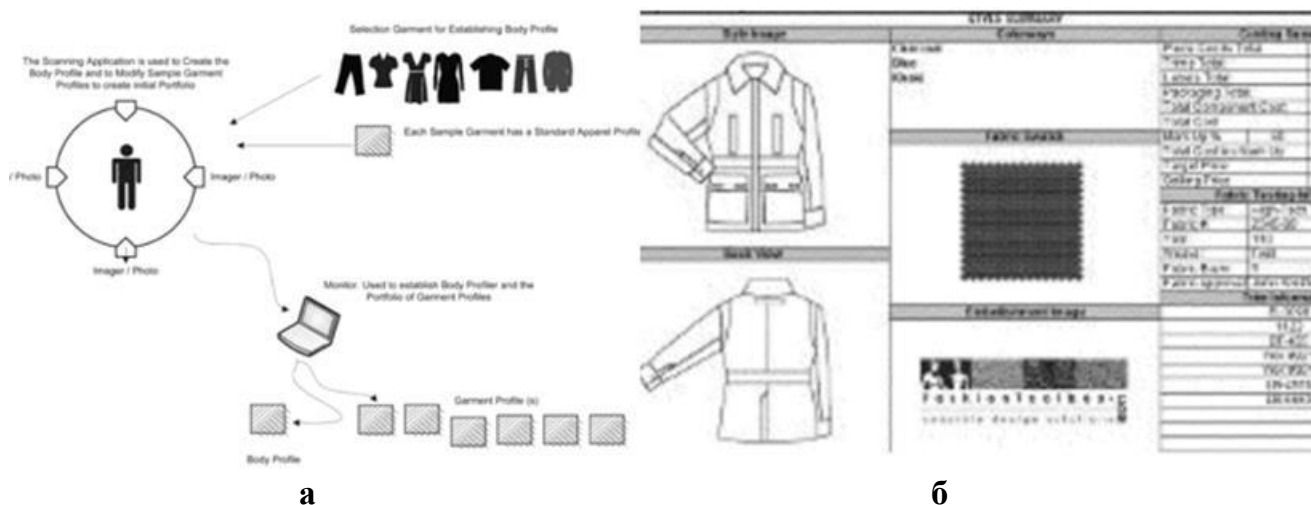
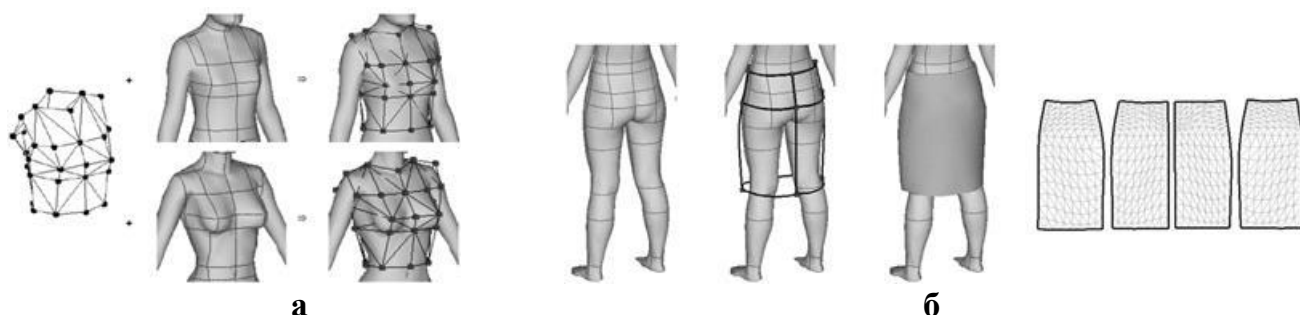


Рисунок 2.42 – Организация информации о модели: а) иллюстрация профиля; б) графическое представление данных модели одежды

Разработке математического аппарата посвящены изобретения (*Chen Y. et al., 2016; Sharma D. et al., 2020*), в которых описаны методы генерации одежды на цифровом аватаре потребителя с функцией визуализации свойств ткани [415] и способы формирования 3D моделей фигуры человека и изделия в разных позах, имитируемых с помощью сенсорной системы [412], при отсутствии функции симуляции поведения ткани.

Учеными из Гонконга (*Wang C. et al., 2003*) предложен способ трехмерного конструирования путем регенерации 3D модели изделия на фигурах с другими размерными признаками (Рисунок 2.43), для чего модели фигуры и изделия представляют в виде топологического графа, а определенным точкам 3D модели изделия ставят в соответствие определенные точки модели фигуры, за счет чего любое перемещение точки фигуры сопровождается перемещением точки изделия [370]. Можно сказать, что в этой работе математически описана параметрическая связь между размерными признаками и параметрами изделия. Хотя предлагаемый способ описания пространственной формы в виде топологического графа позволяет реализовать плоскостную развертку изделия, сохраняя связь параметров 3D модели и её конструкции, требуется доработка процесса корректировки конструкторских решений, так как при выполняемой развертке не учитываются элементы формообразования (см. Рисунок 2.43, б). Использование топологического графа интересно с точки зрения возможности построения точной

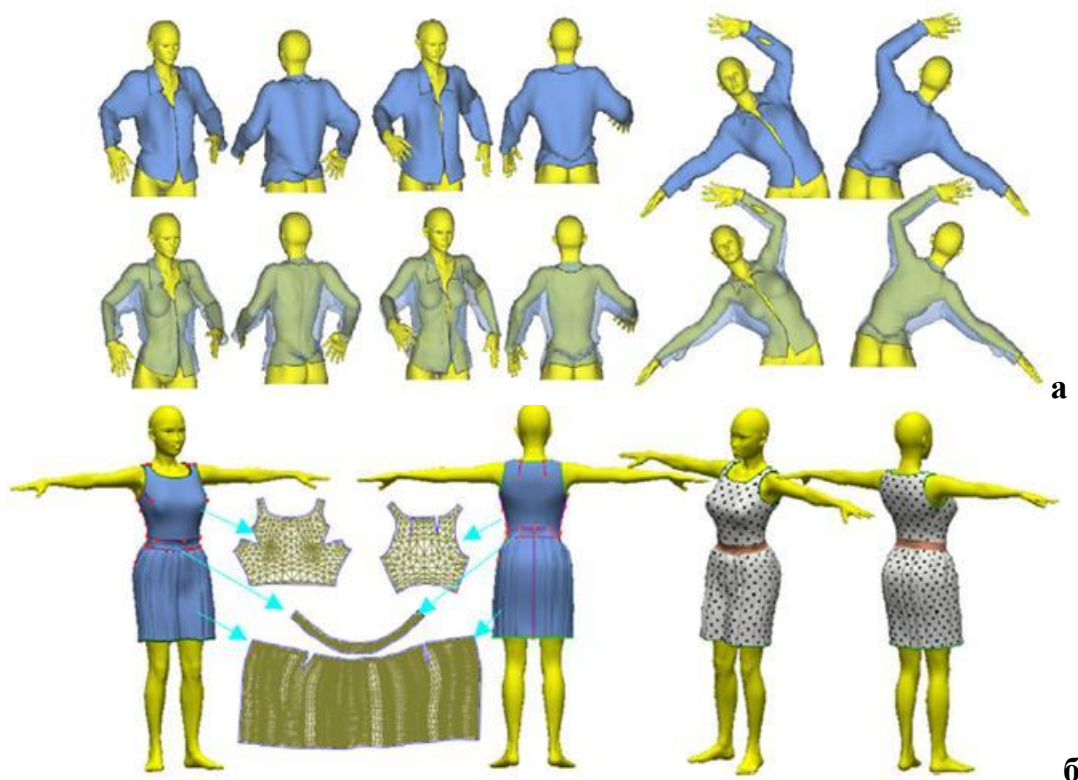
трехмерной модели, отображающей особенности конкретной фигуры, и последующей визуализации изделия на разных фигурах. Возможность учитывать свойства ткани в этой разработке тоже отсутствует.



**Рисунок 2.43 – Формирование 3D модели одежды на фигуре человека [370]:**

**а) генерация шаблонов на разных фигурах; б) связь 3D эскиза и конструкции**

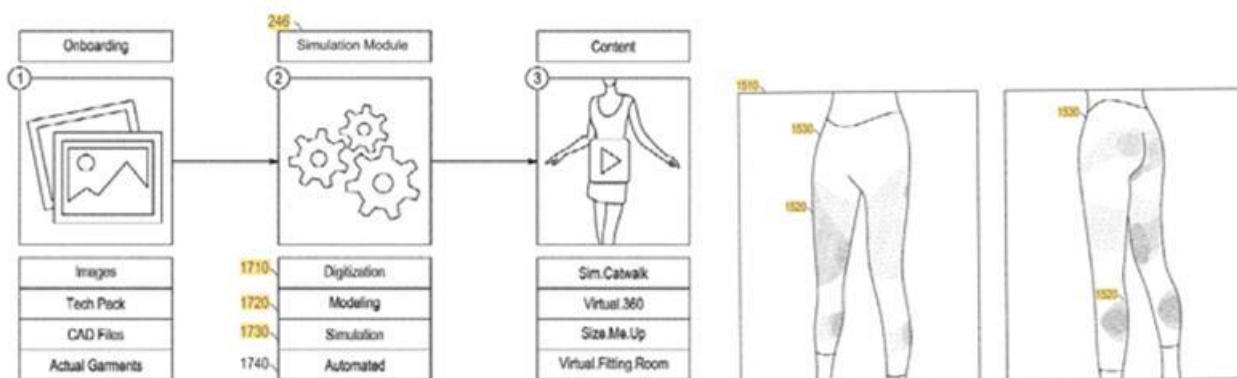
Китайскими исследователями (*Li J. et al., 2010*) предлагается позиционировать 3D модель изделия относительно виртуального манекена путем сопоставления соответствующих точек, и затем редактировать форму и расположение изделия относительно фигуры с помощью геометрических дескрипторов, выполняющих роль корректирующих правил [263], что свидетельствует об использовании методов интеллектуализации и продукционных моделей представления знаний (Рисунок 2.44).



**Рисунок 2.44 – Визуализация поведения ткани при движении человека в одежде**

В качестве дескрипторов рассматривают евклидово расстояние, нормаль к поверхности, которые устанавливают взаимосвязь параметров фигуры и изделия в форматах регулировки плотности облегания, фрагментированных зон контакта и зон свободных складок. Предлагаемый подход, опирающийся на математические модели и параметрические взаимосвязи, перспективен для реализации виртуальных примерок как в статике, так и в динамике (см. Рисунок 2.44, а), однако его недостатком остается отсутствие проработки перехода от виртуальной примерки к инженерному конструированию (см. Рисунок 2.44, б).

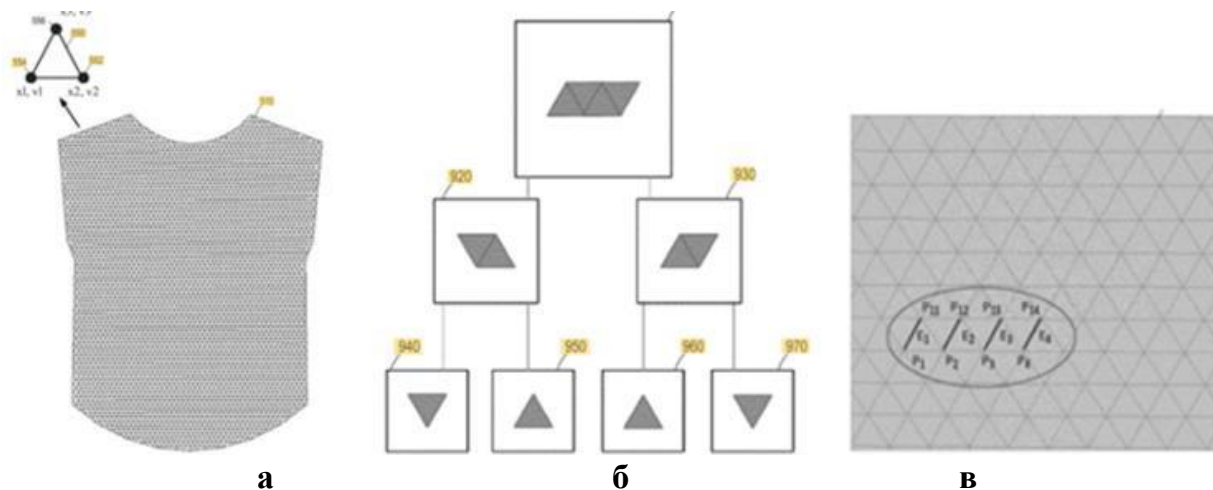
В работе (*Chhugani J. et al., 2016*) предложен способ симулирования поведения ткани с разными физико-механическими свойствами (Рисунок 2.45), для чего поверхность одежды на виртуальном манекене описывают группой вершин, которыми являются точки на поверхности одежды [426].



**Рисунок 2.45 – Визуализация одежды на манекене с учетом её облегания**

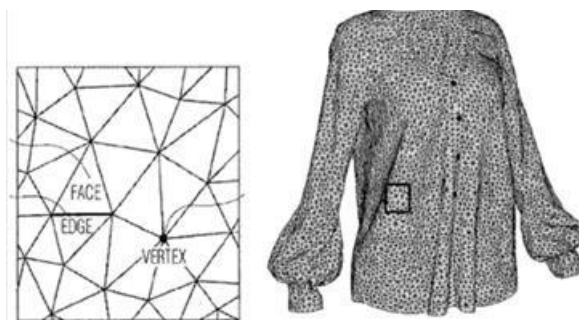
Каждый временной шаг моделирования может принимать в качестве входных данных состояние предмета одежды (например, положение вершин предмета одежды, связность вершин для формирования сетки, соответствующей предмету одежды, скорость вершин, ускорение вершин, внешние силы, действующие на предмет одежды) и определять состояние предмета одежды на основе моделируемых сил, действующих на предмет одежды (Рисунок 2.46, а). Например, для предмета одежды с  $M$  вершинами модуль моделирования предмета одежды может хранить и вычислять  $M$  векторов положения,  $M$  векторов скорости,  $M$  векторов ускорения и  $M$  векторов силы. Расчет может быть выполнен параллельно с использованием множества ядер и множества векторных исполнительных устройств (см. Рисунок 2.46, б). В качестве способа описания 3D модели одежды может быть выбрана мозаичная сетка (см. Рисунок 2.46, в), включающая в себя группу вершин, являющихся точками на поверхности предмета

одежды. Для симулирования поведения ткани в одежде предлагается вычислять чистую силу на каждой частице, которая может быть основана на гравитационной, пружинной или других силах (например, силы сопротивления для достижения желаемого прилегания). Аппаратный модуль для реализации процесса симуляции может быть реализован механически, электронным способом или в любой подходящей комбинации таких устройств, и может включать в себя программируемую логику или другую схему программного обеспечения для выполнения заданных операций.



**Рисунок 2.46 – Моделирование поведения ткани: а) действие сил; б) иерархические деревья с треугольниками в сетке одежды; в) мозаичная сетка**

Изобретение (Zhang D., 2012) раскрывает способ моделирования и конструирования одежды в трехмерной среде с функцией симуляции свойств ткани, осуществляемой представлением 3D моделей треугольной сеткой [427]. С точки зрения симуляции ткани также интересно изобретение (Leong J. et al., 2019), в котором описан способ моделирования реалистичного изображения пространственной формы одежды с учетом законов физики [407], представления виртуальной поверхности тела человека и изделия в виде трехмерной полигональной сетки (Рисунок 2.47), использования 3D сканирования для получения виртуального прототипа или способа непосредственного рисования в трехмерной программе. Достоинством данного способа моделирования поведения ткани с помощью 3D полигональной сетки является возможность визуализировать текстуру, растяжимость, драпируемость, толщину и другие свойства материалов, а недостатком - обособленность описанного метода от решения инженерных задач проектирования одежды.



**Рисунок 2.47 – Симулирование поведения ткани 3D полигональной сеткой**

## **ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ**

1. Проведенные исследования показывают, что методология параметризации является эффективным средством интеллектуализации и автоматизации моделирования и визуализации внешней формы пространственных объектов благодаря предоставляемой возможности однозначной формализации всех этапов проектирования изделий с помощью выявления совокупности взаимосвязанных входных, текущих и выходных параметров объекта и установления строгих математических или алгоритмических взаимосвязей между ними, что отражено в обобщенной концептуальной модели параметризации процесса проектирования геометрических объектов заданной функциональности.
2. Характер задаваемых основных и дополнительных функций проектируемого объекта с одной стороны может быть расширен благодаря повышению уровня новизны проектного решения, а с другой стороны лежит в основе описания проектируемого объекта, обуславливает свойства, обобщенные характеристики и в целом качество выпускаемого изделия, предопределяя способ его проектирования и изготовления.
3. Проведенный анализ способов получения антропометрической информации для использования в САПР показал возможность интеграции сведений о размерах и форме фигуры потребителя, полученных контактными, бесконтактными методами измерений, из баз данных типовых и условно типовых фигур, из экспертной оценки конструктором типа фигуры потребителя, а также путем распознавания и математического описания пространственных фигур как геометрических объектов.
4. Внедрение интеллектуальных компонентов в САПР одежды расширило роль субъекта проектирования, добавив к его традиционному функционалу пассивного реципиента готовых изделий, выступающего в качестве покупателя одежды, возможность реализовать функционал интерактивного потребителя или пользователя в виртуальной

среде, который может сообщить производителю дополнительную информацию о своих предпочтениях по текстуре или цвету материала, о своих антропометрических параметрах, выбрать особенности конструктивного решения из имеющихся вариантов, и таким образом выступить в качестве содизайнера проектного решения, чтобы производить наиболее востребованные или персонифицированные изделия.

5. Определена необходимость формирования гибкой, регулируемой, параметрической системы описания субъекта и объекта проектирования, итерационное изменение параметров которых может быть осуществимо на любом этапе проектирования.

6. Проведенный анализ наиболее эффективных САПР одежды, успешно реализуемых в мировой швейной промышленности, показал, что в общем процессе проектирования наибольшей степени автоматизировано решение инженерных задач построения базовых конструкций и лекал одежды благодаря простоте их алгоритмизации, однако практически все САПР предназначены для промышленного применения профессиональным и опытным специалистом, умеющим компетентно оперировать разными параметрами при построении конструкций одежды, поэтому для менее опытного пользователя САПР даже на этапе построения базовых конструкций необходима интерактивная поддержка системы в форме рекомендаций.

7. Методы интеллектуализации применяются в САПР прежде всего на наименее автоматизированном этапе преобразования художественных и технических эскизов в конструкцию изделия из-за слабой формализуемости заданной информации, а также на этапе моделирования с помощью алгоритмического представления блоков готовых решений и моделей-аналогов, аккумулирующих наиболее удачные проектные решения, формирования интерактивной поддержки справочной информацией или экспертными рекомендациями, что позволяет повысить творческую составляющую работы конструктора. Однако, для создания оригинальных, принципиально новых моделей современной одежды с использованием новых технологий и материалов требуется более глубокий уровень интеллектуализации систем и технологий, так как использование баз данных известных конструкторско-технологических решений в этом случае практически не применимо.

8. Проведенный анализ уровня поэтапной автоматизации процесса проектирования одежды свидетельствует о разной степени формализуемости отдельных модулей, что

сопровождается сложностью передачи информационных потоков между ними, когда выходная информация одного этапа становится входной информацией для следующего. Установлена слабая информационная взаимосвязь в САПР одежды между творческим эскизом и конструкторским решением объекта проектирования как в двухмерной, так и в трехмерной среде, что предопределяет актуальность решения задачи формализации перехода информации от эскиза к конструкции с использованием средств параметризации и интеллектуализации.

9. Исследование современных средств проведения виртуальной примерки проектируемых моделей одежды в САПР показало эффективность использования визуализации 3D модели для сокращения разрывов в цепочке информации об объекте проектирования на этапе перехода от эскиза к конструкции, для оценки и формализации проектных решений, для организации интерактивного информационного взаимодействия с потребителем.

10. На основе анализа методов интеллектуализации и параметризации процессов проектирования и изготовления швейных изделий выявлено, что повышению эффективности автоматизации процесса и улучшению качества готовых изделий способствует использование параметрического инструмента описания объекта и субъекта проектирования на основе гибкого применения математического аппарата, обеспечивающего взаимосвязь визуальной, графической и вербальной информации и получение новых и оригинальных проектных решений для промышленного производства швейных изделий высокого качества.

## **3 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ**

### **3.1 ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ ЦИФРОВОГО ОПИСАНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОГО ИЗДЕЛИЯ**

Процесс технического переоснащения производства происходит намного медленнее, чем появление новых технологий и материалов, что объективно объясняется сложностью модернизации, необходимостью переквалификации персонала, слабой степенью адаптации новых технологий к условиям производства, недостаточной проработанностью инноваций из-за неопределенности их перспективности и эффективности, гипотетического характера заявленных характеристик и свойств продуктов. Тем не менее, внедрение новых технологий и инноваций требует модификации процесса проектирования и изготовления одежды, большей вариабельности производства в зависимости от используемых сырьевых ресурсов и других производственных факторов, и в первую очередь цифровой организации производственного процесса, которую характеризует:

- ❖ отсутствие бумажной документации;
- ❖ визуализация объекта проектирования на всех этапах, начиная с формирования технического задания;
- ❖ параметрическое описание объекта проектирования и его преобразований;
- ❖ возможность изменения любых параметров изделия с одновременной визуализацией результатов;
- ❖ интеллектуализация процесса, а иногда и объекта проектирования;
- ❖ использование как двухмерной (2D), так и трехмерной (3D) виртуальной среды;
- ❖ обеспечение тесной цифровой взаимосвязи между начальным этапом проектирования одежды (техническим заданием) и конечным результатом (оценкой качества готового продукта), включая организацию доведения обратной связи от потребителя готового продукта в производственный процесс;
- ❖ создание принципиально новых проектных решений с использованием интеллектуальных информационных технологий.



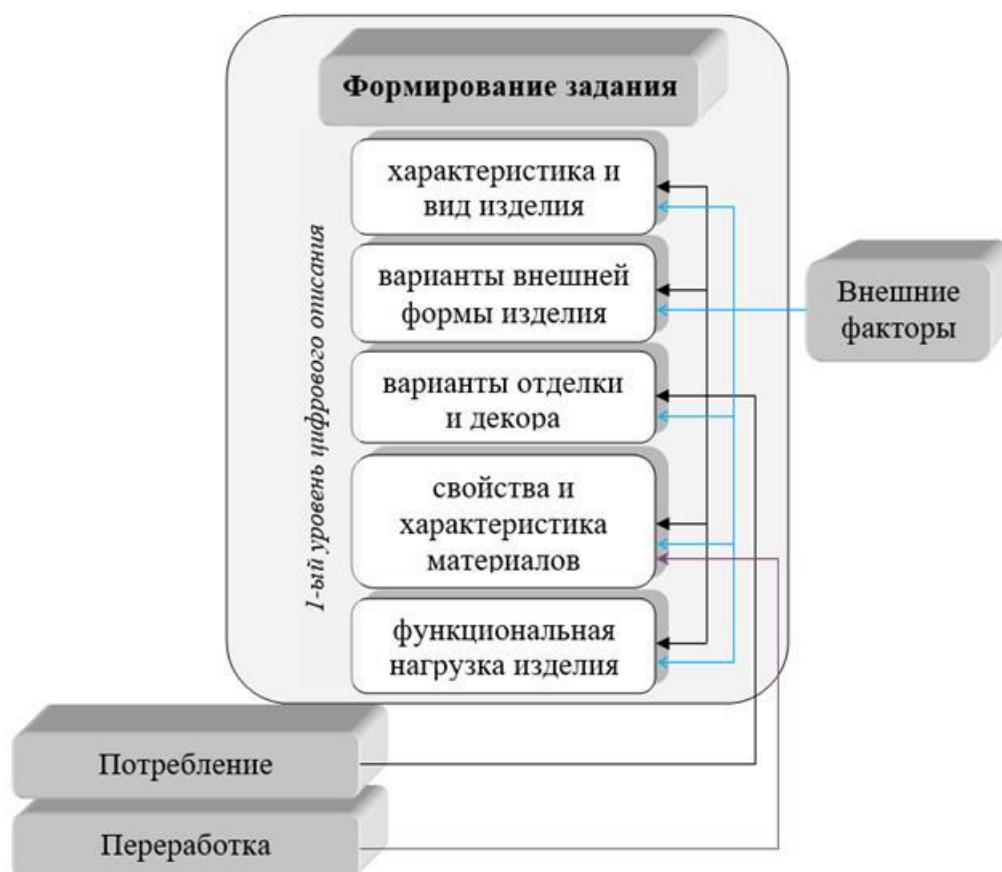
Виртуальные взаимоотношения субъекта и объекта проектирования осуществляются путём формулирования характеристик и свойств объекта (как исходной информации) для их реализации в итоговом изделии, а также путём реализации механизма регулирования параметров, описывающих разрабатываемое изделие на входе и на выходе процесса таким образом, чтобы полностью удовлетворить предъявляемые к нему требования заказчика и ожидания конечного потребителя. Регулирование параметров проектируемого объекта выполняют с учетом условий производства, предпочтений потребителей и других внешних факторов. Номенклатура параметров включает в себя как количественные (измеряемые) характеристики, так и качественно оцениваемые факторы (на основе визуальных, тактильных и других ощущений). Таким образом, исходными данными для проектирования является информация:

- что производить;
- для кого производить;
- какими характеристиками и свойствами должно обладать проектируемое изделие.

Традиционно эту информацию получают методом прогнозирования на стадии разработки эскизного проекта, опираясь на текущие направления моды, маркетинговые исследования, социальные тенденции и др. Структуру цифрового описания проектируемого объекта подразделяют на ряд уровней, формируемых с позиции последовательной модификации информации об изделии в процессе его проектирования и содержащих комплекс единичных показателей, определяющих антропологические, художественные, конструктивно-технологические и другие параметры (см. Рисунок 2.1).

На первом уровне цифрового описания проектируемой модели изделия *определяется начальная совокупность параметров, которыми будет описано изделие, и диапазон их значений*. На основе пяти выделенных групп параметров 1-го уровня цифрового описания проектируемого объекта формируется техническое задание (Рисунок 3.1):

- характеристика и вид изделия или коллекции моделей одежды;
- варианты решений внешней формы изделия;
- варианты решений отделки и декора;
- свойства и характеристика материалов, используемых для изготовления изделия;
- варианты функциональной нагрузки изделия, включая «умные» функции изделия.



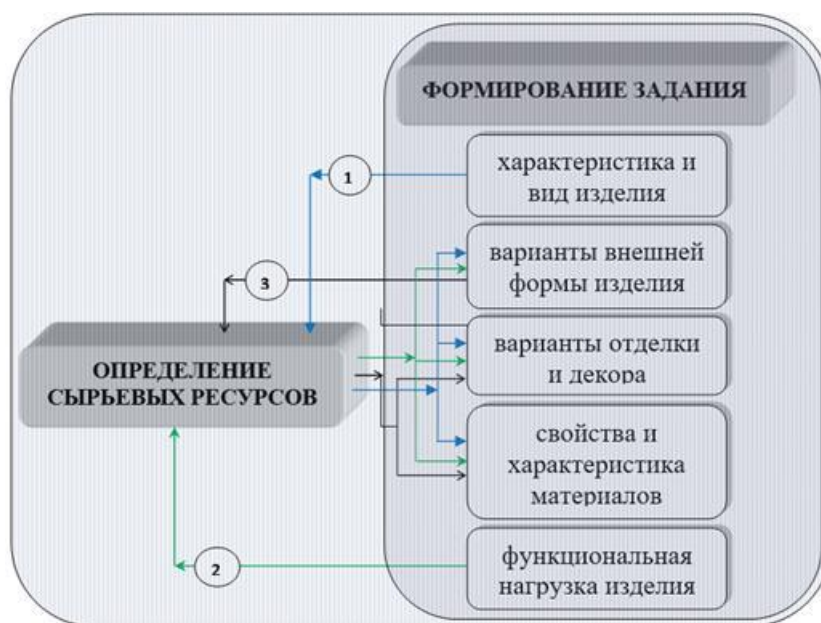
**Рисунок 3.1 – Структура информации 1-го уровня цифрового описания объекта**

Традиционное производство одежды не предполагает существенной вариабельности материалов и оборудования, так как ориентировано на конкретный ассортимент выпускаемой одежды: мужской, детской, спортивной, производственной или других видов. Развитие инновационных технологий предоставляет возможность более широкого выбора или даже проектирования материалов с искомыми свойствами, а также возможность перенастройки параметров технологического процесса изготовления изделий путем его переоснащения или модификации. В зависимости от выбора используемых технологий и материалов (сырьевых ресурсов) конкретизируют и корректируют совокупность параметров 1-го уровня, образуя три основных взаимозависимых информационных потока 2-го уровня цифрового описания проектируемой модели одежды (Рисунок 3.2).

**1-й поток** (см. Рисунок 3.2, *синие стрелки*) характеризует процесс выбора материалов и оборудования для группы параметров «характеристика и вид изделия», на основе которых корректируют параметры формируемого задания, включая внешнюю форму, отделку, декор изделия и характеристику используемых материалов.

**2-й поток** (см. Рисунок 3.2, *зеленые стрелки*) характеризует разработку вариантов технического решения для проектирования «умных» функций одежды (группа параметров «функциональная нагрузка изделия»), на основе которых корректируют остальные параметры формируемого задания.

**3-й поток** (см. Рисунок 3.2, *черные стрелки*) обозначает выбор материалов и оборудования для проектирования изделия заданной формы (группа параметров «варианты внешней формы изделия»), на основе которых корректируют остальные параметры формируемого задания.

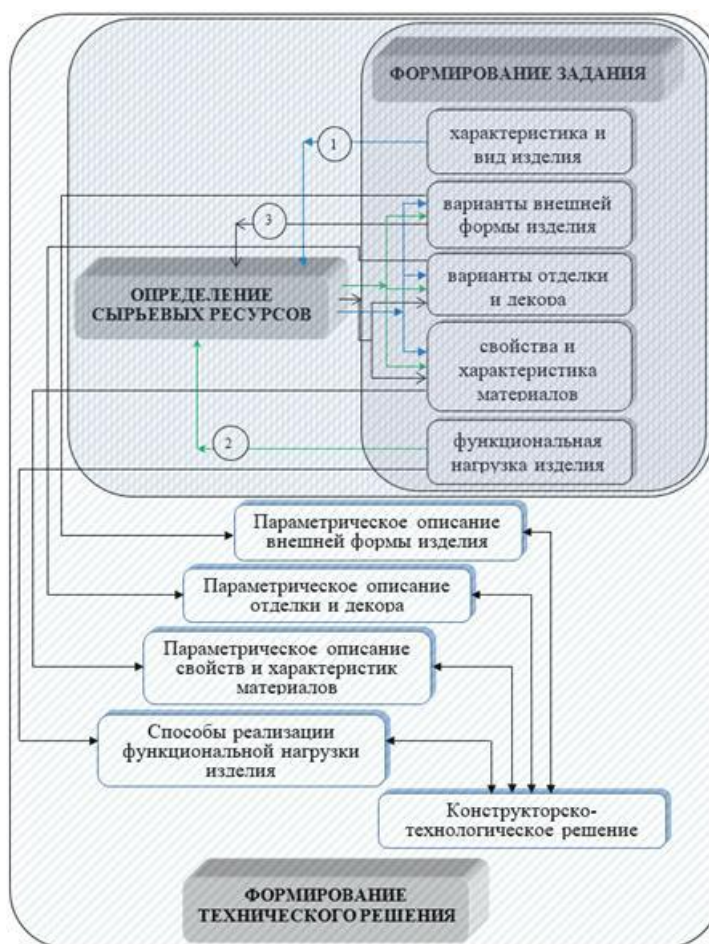


**Рисунок 3.2 – Структура информации 2-го уровня цифрового описания изделия**

На 3-ем уровне цифрового описания проектируемого изделия завершается формирование окончательной цифровой модели изделия, то есть формируется техническое решение модели с заданными параметрами, объединенными в блоке «формирование технического решения» (Рисунок 3.3). На этом этапе для каждого параметра устанавливаются значения, однозначно определяющие условия процессов проектирования и производства изделия с высокими показателями качества для разработки конструктивно-технологического решения проектируемого изделия. При этом существует возможность варьирования характеристик, формирующих «задание» и определяющих «сырьевые ресурсы», с позиции анализа «работоспособности» объекта проектирования. Преимуществом параметрического проектирования является возможность использования цифровой модели изделия, позволяющей оценивать его качество и «работоспособность» в виртуальной среде, вместо изготовления натурального

образца. Данные, аккумулируемые в блоках «формирование задания», «определение сырьевых ресурсов» и «формирование технического решения», представляют собой информационное наполнение проектной документации для изготовления изделия, в которой полностью учитывается специфика производства, а в качестве образца для проверки качества изделия используется трехмерная цифровая модель изделия. Таким образом, на выходе блока «формирование технического решения» создается трехмерная цифровая модель изделия с полным информационным описанием, необходимым для изготовления оригинала, включающим (Рисунок 3.3):

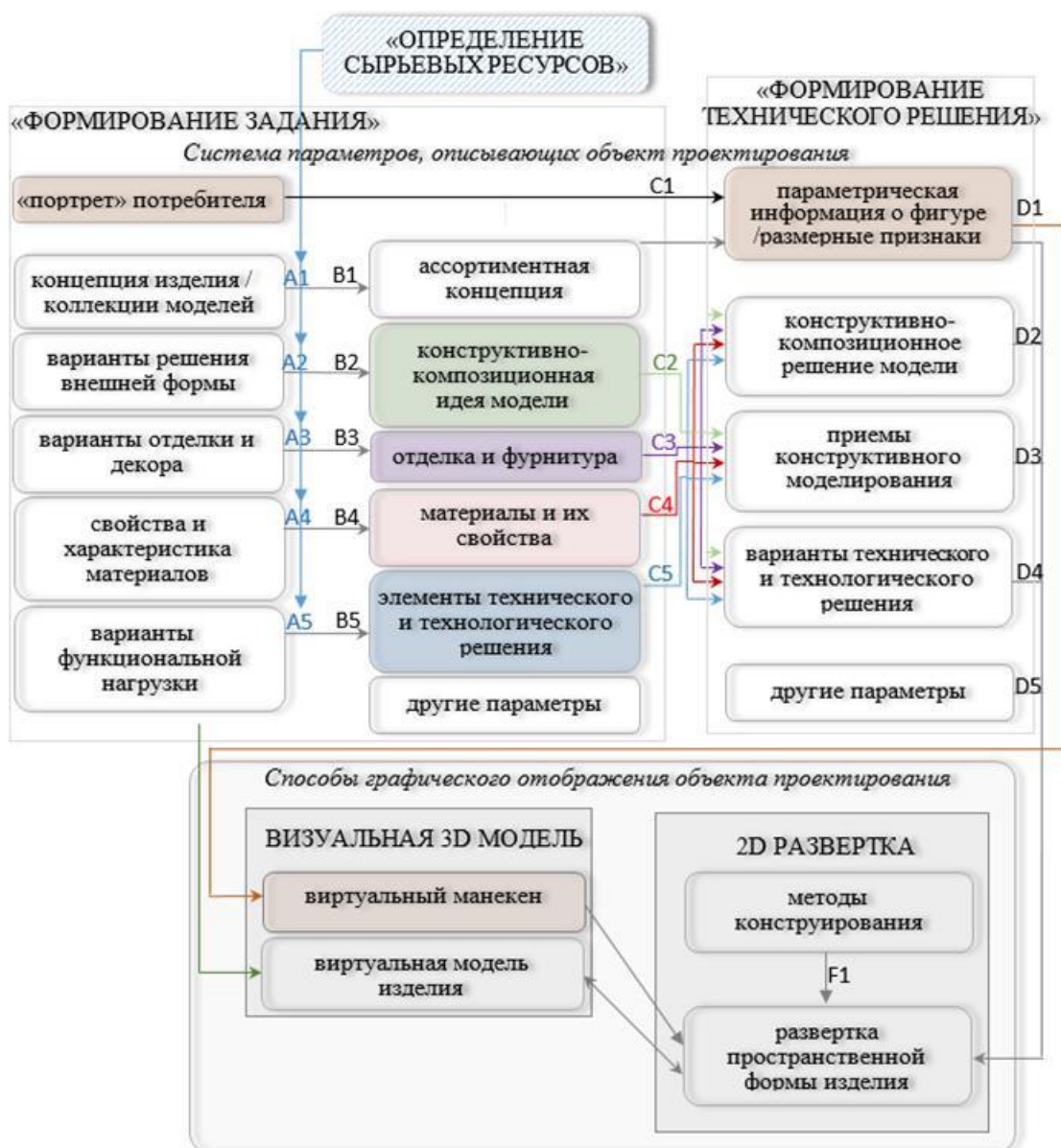
- параметрическое описание внешней формы изделия;
- параметрическое описание отделки и декора;
- параметрическое описание свойств и характеристик материалов;
- описание способов реализации функциональной нагрузки изделия;
- описание технологии изготовления изделия.



**Рисунок 3.3 – Структура информации для формирования технического решения**

Использование информационных технологий в процессе промышленного производства способствует снижению себестоимости и повышению качества продукции,

для достижения которых важно преодоление разобщенности информационных потоков на разных этапах проектирования и производства, усиление их согласованности и взаимосвязи. С целью определения структуры процесса параметрического проектирования одежды рассмотрены информационные потоки блоков «формирование задания», «определение сырьевых ресурсов», «формирование технического решения», на выходе из которых создается цифровой пакет документов, необходимых для изготовления образца (Рисунок 3.4). Началом производственного цикла и нулевым информационным слоем можно считать старт производственного блока «формирование задание», внутри которого синтезируется вся информация, определяющая концепцию внешнего образа изделия.



**Рисунок 3.4 – Обобщенная информационная модель процесса виртуального проектирования одежды**

Информация, полученная от заказчика, потребителя, производителя формируется как совокупность требований к будущему изделию в виде обобщённых характеристик вида изделия, дизайнерского решения, декоративных элементов, информации о внешнем облике потребителя и других данных, составляющих 1-й уровень информационного описания проектируемого изделия. В рамках цифрового документа эта информация координируется в графическом документе «виртуальная модель изделия» (блок виртуальной 3D модели). Входящий информационный поток для формирования графического изображения модели изделия выражен последовательностью преобразования информации, которую в общем виде можно разделить на три группы:

- 1 группа** – формирование исходных данных, включая процессы преобразования первичной информации об изделии в информацию, скорректированную и конкретизированную с учетом *сырьевых ресурсов* (см. Рисунок 3.4, преобразования В в соответствии с условиями А);
- 2 группа** – преобразование исходных данных в формализуемый параметрический инструмент для *формирования технического решения* (см. Рисунок 3.4, преобразования С);
- 3 группа** – информация для определения способа построения виртуальной модели изделия с использованием параметрического инструмента (см. Рисунок 3.4, преобразования D).

**Исследование потока информации 1-й группы.** Выделены следующие цепочки:

- ✓ концепция изделий → ассортиментная концепция (см. Рисунок 3.4, преобразование В1 в соответствии с условием А1);
- ✓ варианты решения внешней формы изделия → конструктивно-композиционная идея (см. Рисунок 3.4, преобразование В2 в соответствии с условием А2);
- ✓ варианты отделки и декора → отделка и фурнитура (см. Рисунок 3.4, преобразование В3 в соответствии с условием А3);
- ✓ характеристика материалов → материалы и их свойства (см. Рисунок 3.4, преобразование В4 в соответствии с условием А4);
- ✓ варианты функциональной нагрузки → элементы технического и технологического решений (см. Рисунок 3.4, преобразование В5 в соответствии с условием А5).

Организация 1-го информационного потока зависит от влияния внешних факторов, обуславливающих изменение характеристик и свойств готового изделия, и в свою



очередь зависящих от использования, модификации или создания новых технологий или материалов, социального развития общества, расширения требований к качеству продукции. Влияние социальных, технологических и сырьевых факторов на формирование ассортиментной концепции проиллюстрировано на примере создания коллекции в стиле *family look* (Рисунок 3.5). Таким образом, параметры, определяющие объект на этапе художественного проектирования, должны быть установлены однозначно или впоследствии выступать в качестве ограничивающих условий.

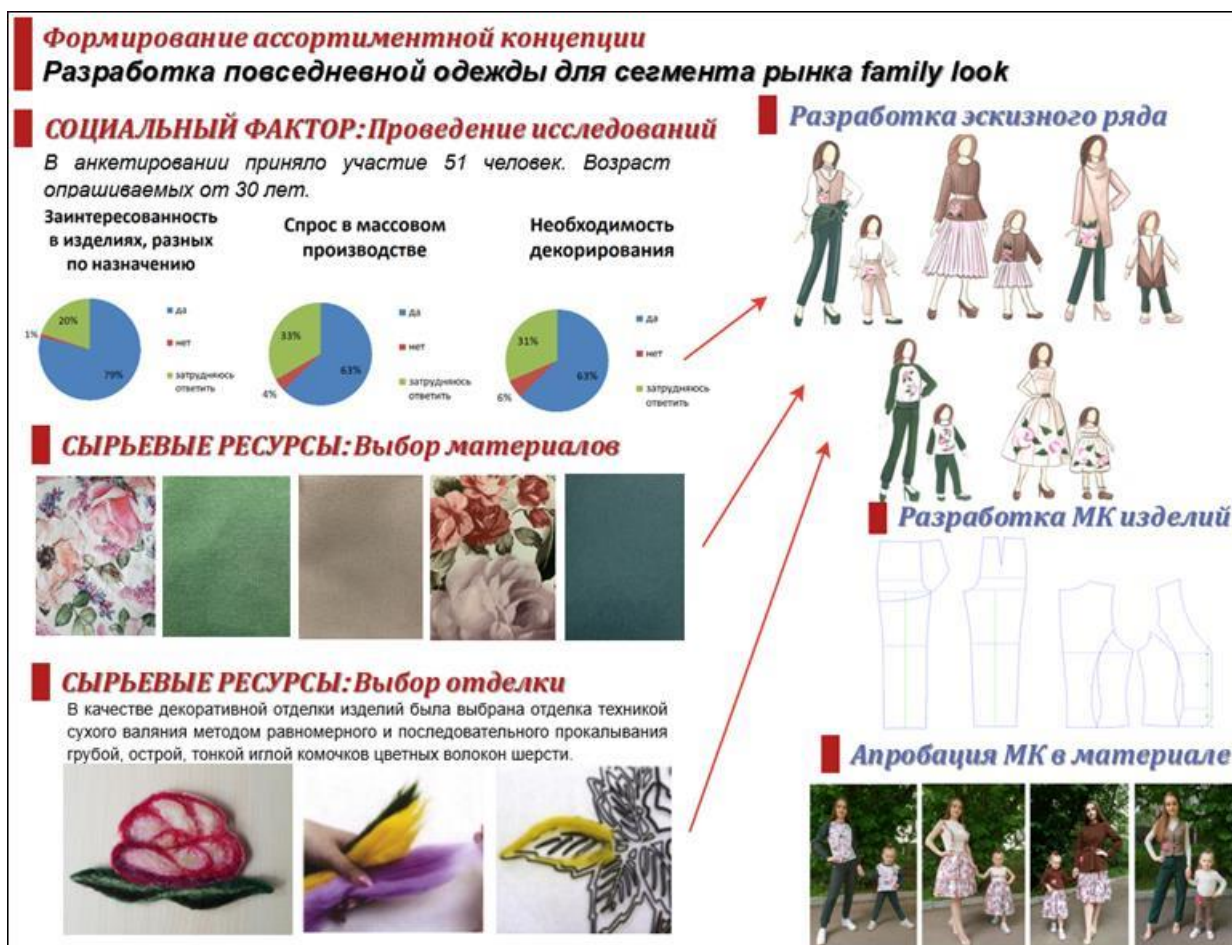


Рисунок 3.5 – Информационный поток 1-й группы при разработке коллекции

Для организации информационного потока 1-й группы необходима разработка хорошо структурированных баз данных и знаний, отображающих особенности конкретного производства, его ресурсы и логистику. Совокупность уточнений информации этого потока формируется в виде художественного или технического эскиза, технического описания, фотографии модели, готового изделия, что и является входной информацией для блока «формирование технического решения».

**Исследование потока информации 2-й группы.** Уровень цифровизации входной информации может варьироваться от нулевого, при выполнении эскиза без

использования компьютерной техники и графических редакторов, до самого высокого уровня цифрового описания с использованием современной компьютерной графики и анимации. С помощью графических редакторов в САПР можно создавать как 2D, так и 3D параметрические эскизы, аккумулирующие в себе исходную информацию о проектируемом изделии, позволяющие реалистично его визуализировать для сохранения, преобразования и передачи параметрической информации в виртуальной среде процесса проектирования изделия. Основной задачей 2-го информационного потока является преобразование выходных данных 1-го информационного потока в формализуемый параметрический инструмент (см. Рисунок 3.4, совокупность преобразований С), необходимый для визуализации объекта проектирования. Эта задача решается разработкой способа распознавания исходных конструктивных параметров по эскизу изделия, заданному в разных форматах (художественного или технического эскиза, дизайн- или концепт-проекта). Инструмент для распознавания исходных конструктивных параметров по эскизу модели зависит от способа его задания (Рисунок 3.6) и основан на следующих информационных технологиях:

- интерактивном диалоге для преобразования вербальной информации в параметрический вид;
- распознавании художественного эскиза;
- преобразовании стилизованной модели в параметрическую;
- параметризации образца;
- маркировки «цифрового двойника».

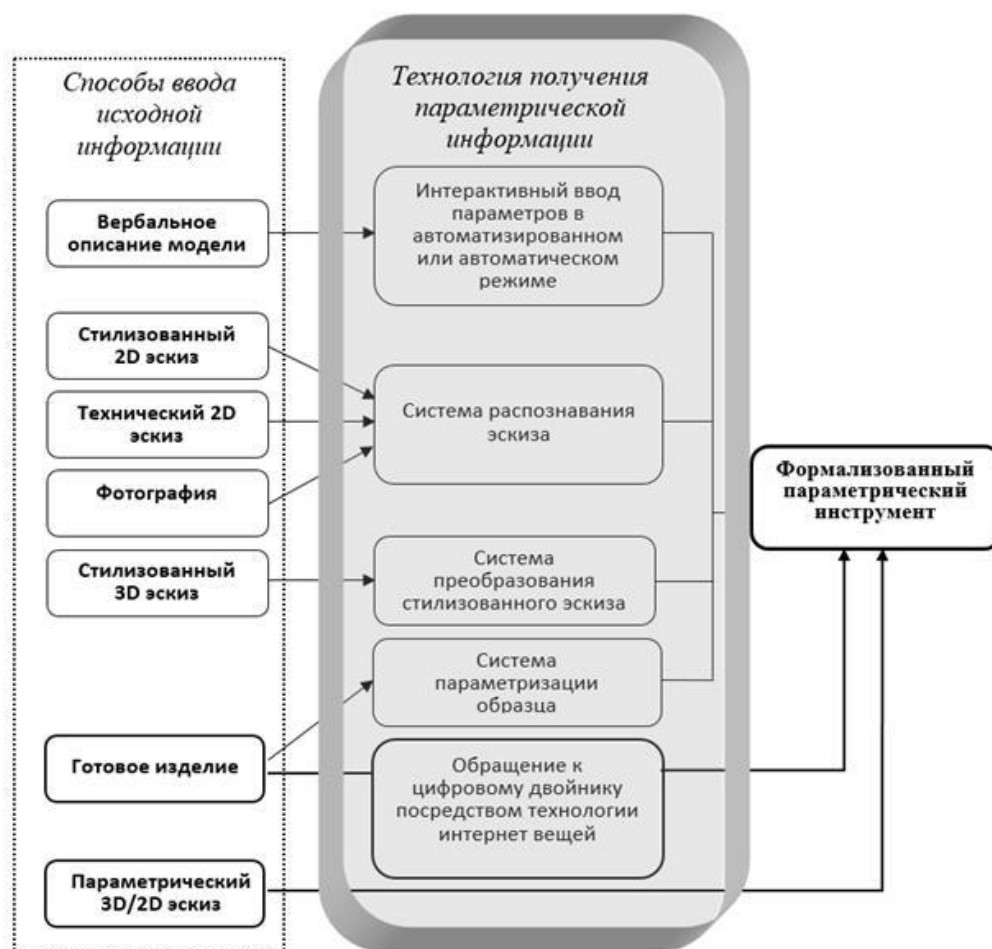
Благодаря развитию цифровых технологий одними из наиболее перспективных способов задания эскизного проекта можно считать технологию создания *параметрического 3D эскиза* и технологию представления изделий по прототипу, распознаваемому по маркировке изделия в виде цифрового двойника готового образца (*технологию интернет вещей*).

Помимо данных о проектируемом изделии исходной информацией для виртуального проектирования трехмерной модели одежды являются и характеристики внешнего образа потребителя, антропометрические данные которого включены в структуру современного проектирования одежды. В цифровой документации эта информация аккумулируется в графическом документе «виртуальный манекен» (блок



виртуальной 3D модели) и последовательно преобразуется для графического изображения манекена в следующем виде (см. Рисунок 3.4):

- «портрет потребителя» (блок формирования задания) → «параметрическая информация о фигуре/ размерные признаки» (блок формирования технического решения) (см. Рисунок 3.4, преобразование C1);
- «параметрическая информация о фигуре/ размерные признаки» блок формирования технического решения) → «виртуальный манекен» (блок виртуальной 3D модели) (см. Рисунок 3.4, преобразование D1).



**Рисунок 3.6 – Преобразование информационного потока 2-й группы**

Метод реализации данной цепочки основан на решении следующих задач:

- *определении способа получения информации для формирования портрета потребителя;*
- *определении способа преобразования информации о портрете потребителя в параметрическую информацию о фигуре в виде необходимого набора признаков;*
- *разработке способа построения трехмерного манекена по заданному набору размерных признаков.*

**Исследование потока информации 3-ей группы** (см. Рисунок 3.4, группа преобразований D). Параметры, используемые на этапах художественного и конструктивного проектирования одежды, характеризуют композиционное, конструктивное и технологическое решение модели и лежат в основе формирования графического отображения виртуального прототипа изделия. Параметрическое моделирование обеспечивает информационную взаимосвязь между графическими изображениями объекта проектирования в виде трехмерного (3D) эскиза и двухмерной (2D) развертки изделия. Для графического формообразования модели используют методы моделирования пространственной формы 3D эскиза изделия и инженерные методы её развертки на плоскости для построения деталей двухмерной конструкции. В качестве основных элементов 3D эскиза выступают графические прототипы: внешнего образа модели одежды (3D модель изделия) и фигуры человека (виртуальный 3D манекен). Цифровое описание 3D манекена базируется на совокупности параметров, определяемых системой размерных признаков, а описание 3D модели изделия – на совокупности её конструктивных параметров, определяемых на этапе художественного проектирования для последующего построения исходной базовой конструкции и модельной конструкции изделия. Совокупности параметров виртуального манекена фигуры человека, 3D эскиза модели одежды и деталей её конструкции взаимосвязаны в рамках системы параметрического проектирования одежды. Более глубокая детализация параметров проектирования способствует увеличению степени автоматизации процесса, повышению достоверности результатов визуализации проектного решения и соответственно качества готовых изделий [115].

### **3.2 РАСПОЗНАВАНИЕ ИСХОДНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПО ХУДОЖЕСТВЕННОМУ ЭСКИЗУ МОДЕЛИ**

В процессе проектирования конструкций одежды исходной информацией является совокупность значений конструктивных параметров, которые используются при расчетах и построении чертежей конструкций. Значения конструктивных параметров устанавливаются путем формализации признаков описания внешнего вида модели по заданному эскизу. В качестве инструмента получения исходной информации об объекте

проектирования можно использовать интеллектуальные технологии распознавания конструктивных и композиционных характеристик одежды, а именно предлагаемый метод распознавания исходных конструктивных параметров по художественному эскизу.

Традиционно оценка внешнего вида проектируемого изделия осуществляется визуально по эскизу на основе субъективного опыта конструктора. Для проведения виртуального проектирования одежды следует преобразовать информацию, заданную эскизом, в начальное цифровое описание проектируемого изделия с помощью специального инструмента, включающего:

- ✓ систему параметрических характеристик;
- ✓ способ вычисления параметрических значений;
- ✓ правила выбора значений при неоднозначном варианте решения.

Для цифровизации начальных этапов проектирования одежды разработаны формализованные способы прочтения эскиза и установлены способы параметрического описания характеристик модели, заданной эскизом. Процесс распознавания эскизного решения модели одежды логически подобен процессу визуальной оценки изделия, его последовательность *частично* соответствует последовательности зрительного восприятия внешнего образа изделия: от общего к частному. Первоначально определяется характеристика общей формы и силуэта изделия, затем определяется структура изделия, которая зависит от покрова стана (наличие вертикальных и горизонтальных членений) и покрова рукава. В зависимости от характеристик покрова в структуре изделия выделяются основные части изделия. На следующем этапе анализируются форма, силуэт и конструктивные особенности основных частей изделия. Итогом визуальной оценки изделия для конструктора является определение конструктивных параметров для построения модельной конструкции изделия. Исходя из вышеизложенного, для разработки метода виртуального распознавания эскиза процесс визуальной оценки модели одежды представлен в виде последовательности формальных процедур, результатом которых является получение значений конструктивных параметров.

В нашем исследовании последовательность распознавания конструктивных параметров проектируемого изделия подразделяем на пять уровней анализа художественного эскиза, которые могут производиться в ином порядке в связи с многообразием форм и конструкций моделей одежды, а также со спецификой зрительного

восприятия человеком графических объектов. Выделены следующие уровни анализа визуального образа модели по эскизу (Рисунок 3.7):

1 уровень – покрой рукава;

2 уровень – наличие горизонтальных членений;

3 уровень – наличие вертикальных членений;

4 уровень – способы формообразования и геометрическая форма частей изделия;

5 уровень – определение исходных конструктивных параметров.



**Рисунок 3.7- Последовательность анализа визуального образа модели одежды**

Анализируемые параметры с 1-го по 4-ый уровень отражают то, как устроено изделие, то есть его структуру. Для определения и распознавания этих характеристик выбран набор *базовых графических элементов*, построенный по принципу подобия абриса/ геометрии внешней формы изделия определенной геометрической фигуре. Для распознавания параметрических характеристик (5-й уровень) разработан параметрический инструмент, основанный на расчете масштабного коэффициента, принятого в конструировании, и математических расчетов величины проекционных зазоров, которые преобразуются в значения прибавок и конструктивных параметров.

### **Разработка инструментария для распознавания структурных характеристик моделей одежды**

За *базовый графический элемент* в работе принято графическое изображение абриса внешней формы изделия или части изделия, однозначно определяющее:

- структурную характеристику изделия или элемента изделия;

- геометрическую форму/ силуэт изделия или элемента изделия;
- способ формообразования изделия или элемента изделия.

Для определения совокупности базовых графических элементов, необходимых для создания технического эскиза, разработана структурная схема графического решения модели одежды (Рисунок 3.8).



**Рисунок 3.8 – Структурная схема элементов эскиза женского плечевого изделия**

1-ый уровень графического решения модели плечевого изделия включает: стан (F10); лиф/ верхнюю часть плечевого изделия (F20); юбку/ нижнюю часть плечевого изделия (F30); рукав (F40); воротник (F50); конструктивно-декоративные элементы (F60). Выбор термина «стан/ лиф/ верхняя часть плечевого изделия» и «юбка/ нижняя часть плечевого изделия» зависит от технологии сборки деталей изделия. Несмотря на то, что воротник является конструктивно-декоративным элементом, он выделен в отдельную группу, так как при расчетах его конструкции используются размерные признаки и характеристики фигуры, что позволяет воспринимать его как самостоятельную деталь в отличие от других конструктивных элементов (карман, пата, оборка), построение которых ведется на конструкции основной детали. В скобках приведено обозначение каждого элемента, состоящее из буквенного обозначения F (фрагмент/ часть изделия) и из цифрового обозначения номера, присвоенного с учетом иерархии уровней.

2-ой уровень схемы графического решения включает элементы: верхняя (F21) и нижняя (F22) части лифа, верхняя (F31) и нижняя (F32) части юбки/ нижней части плечевого изделия, верхняя (F41) и нижняя (F42) части рукава. На 3-ем уровне происходит дальнейшая детализация членений графических базовых элементов конструкции.

Структурная схема графического решения модели плечевого изделия разработана на основе результатов анализа изображений моделей одежды, выполненного с целью выделения наиболее информативных, с точки зрения конструирования, элементов эскиза, несущих информацию о структурной характеристике изделия или элемента изделия. На основе проведенного анализа установлены 12 групп *базовых графических элементов* для плечевых изделий с втачным рукавом (Таблица 3.1), необходимых для создания технического эскиза и соответствующих элементам графического решения плечевых изделий. Каждая группа графических элементов несет информацию о структурной характеристике части изделия.

**Таблица 3.1 - Группы базовых графических элементов для плечевых изделий с втачным рукавом**

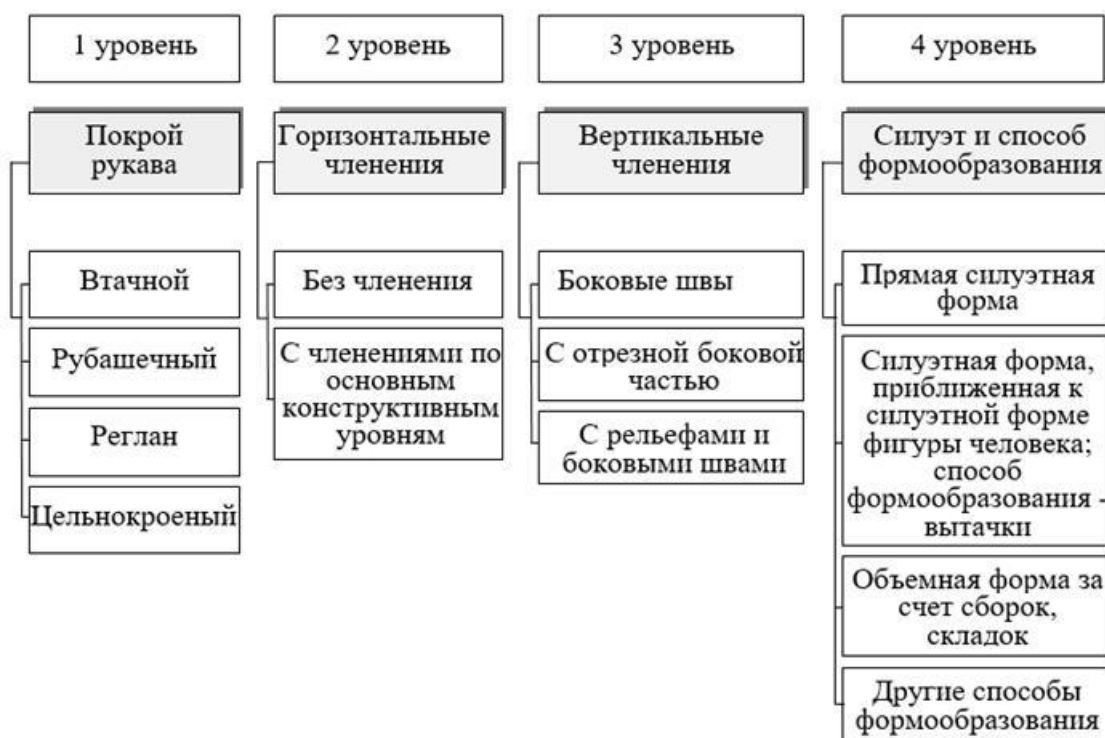
№ группы базовых графических элементов	Структурная характеристика <i>базовых графических элементов</i> (какую часть изделия описывает)	Обозначение соответствующего элемента графического решения изделия
1	Стан	F10
2	Лиф/верхняя часть изделия	F20
3	Юбка/нижняя часть изделия	F30
4	Рукав	F40
5	Воротник	F50
6	Конструктивно-декоративные элементы	F60
7	Верхняя часть лифа/верхней части изделия	F21
8	Нижняя часть лифа/верхней части изделия	F22
9	Верхняя часть юбки/нижней части изделия	F31
10	Нижняя часть юбки/нижней части изделия	F32
11	Верхняя часть рукава	F41
12	Нижняя часть рукава	F42

**Набор базовых графических элементов** представляет собой совокупность *вариантов* графических изображений элементов изделия, охватывающую различные силуэтные решения, варианты кроев и другие характеристики изделий или частей изделия. Для формирования набора графических элементов определены условия, определяющие их необходимость и достаточность, а именно:

- ❖ точная визуализация особенностей композиционного решения изделия;
- ❖ условно-упрощенный способ отображения, позволяющий акцентировать внимание на значимых характеристиках изделия или его части;
- ❖ задание элемента с помощью оптимально необходимой совокупности информационных точек и контурных линий, позволяющей варьировать размеры изделия или его частей;
- ❖ использование графических элементов с разными геометрическими характеристиками для достижения разнообразия форм изделия или его частей;
- ❖ вариативность конструктивных решений для обеспечения разнообразия графических элементов.

В рамках исследования разработаны **наборы базовых графических элементов** для плечевых изделий на примере платья и блузы, для поясных – на примере юбки. На первом этапе разработки определена информационная нагрузка, которую должны нести графические изображения, и представлена в виде многоуровневой системы описания внешнего вида изделия, соответствующей ранее представленным уровням анализа эскиза (см. Рисунок 3.6). Для каждого уровня определены варианты описания внешнего вида изделия (Рисунок 3.9). На 2-ом этапе разработки инструментария для распознавания структурных характеристик синтезированы графические изображения **набора базовых графических элементов**, созданные посредством выбора вариантов геометрической формы изделия и комбинированием вариантов формообразования модели одежды. Для описания моделей одежды на первых трех уровнях используют постоянные базовые графические элементы, в качестве которых выбраны: крой рукава (например, втачной), горизонтальные членения (по линии талии), вертикальные членения (боковые швы) и другие. Описание внешнего вида изделия на 4-ом уровне более вариативно. В процессе исследования выделены наиболее распространенные варианты силуэтной (геометрической) формы (ГФ): прямая (ГФ1), трапецевидная (ГФ2, ГФ3) и овальная

(ГФ4), проведено сопоставление визуальной формы силуэта с основными характеристиками конструкций одежды и ее частей (Таблица 3.2).



**Рисунок 3.9 - Система описания изделий с учетом базовых графических элементов**

При обозначении *базового графического элемента* буквенное обозначение F выбрано как непосредственное обозначение фрагмента, далее использован тройной индекс, разделенный точками, первая позиция которого обозначает элемент графического решения изделия (см. Рисунок 3.8), вторая позиция – номер графической (силуэтной) формы (ГФ $i$ ) (Таблица 3.2), третья позиция - собственный номер элемента (в нашем исследовании они пронумерованы по порядку).

Последовательность формирования *набора базовых графических элементов* и разработка их схематических изображений и обозначений проиллюстрирована на примере *базовых графических элементов* 1-ой группы (лиф/верхняя часть изделия) (Таблица 3.3). В качестве элементов формообразования для примера выбраны вытачки и сборка. Базовые графические элементы частей поясных изделий формируются на основе аналогичного подхода [66]. Целесообразность использования базовых графических элементов обусловлена возможностью получать практически неограниченное количество вариантов графического решения моделей одежды при сокращении времени проектирования их конструкций.

Разработанная в процессе исследования *база графических элементов* составляет:



- стан (базовые элементы F10.X) - 14 элементов, выделенных в три группы;
- лиф/ верхняя часть (базовые элементы F20.X) - девять элементов (две группы);
- юбка/нижняя часть (базовые элементы F30.X) – восемь элементов (три группы);
- рукав (базовые элементы F40.X) - семь элементов (три группы).

**Таблица 3.2 – Схемы визуализации 4-го уровня описания внешнего вида изделия**




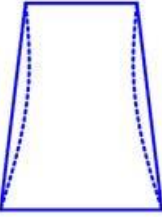

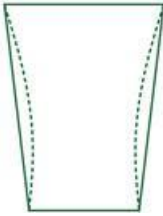











Условная форма изделия/ части изделия	Условный силуэт изделия/ части изделия	Особенности конструкции
Форма изделия, подобная форме фигуры человека/ части фигуры		
 Цилиндр (форма фигуры, приближенная к цилиндру)	 <b>ГФ 1</b> Прямоугольник (форма фигуры, приближенная к прямоугольнику)	Базовая конструкция с различными значениями прибавок на свободу облегания
Форма изделия, повторяющая контур фигуры человека в верхней опорной части и расширяющаяся к низу		
 Усеченный конус (форма фигуры, подобная усеченному конусу)	 <b>ГФ 2</b> Трапеция с нижним основанием (форма фигуры, подобная трапеции с нижним основанием)	Конструкция, приближенная по размерам к параметрам фигуры в верхней опорной части и расширенная к низу
Форма изделия, расширенная относительно фигуры человека в верхней части и зауженная к низу		
 Усеченный конус (форма фигуры, подобная усеченному конусу)	 <b>ГФ 3</b> Трапеция с верхним основанием (форма фигуры, подобная трапеции с верхним основанием)	Конструкция с фиксированным разведением в верхней части и зауженная к низу
Форма изделия инвариантная относительно формы фигуры человека		
 Эллипсоид (форма фигуры, приближенная к эллипсоиду)	 <b>ГФ 4</b> Эллипс (форма фигуры, приближенная к эллипсу)	Конструкция с фиксированным разведением по верхнему и нижнему срезам


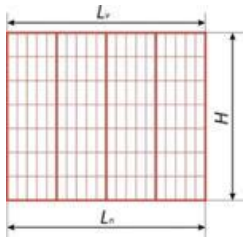
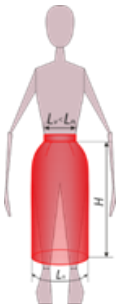
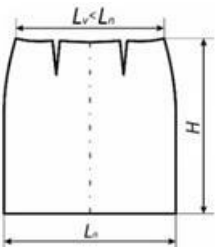

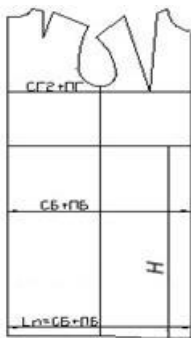
Таблица 3.3 – Набор базовых графических элементов группы Лиф, F20

Обозначение базового графического элемента	Схематическое изображение базового графического элемента	Силуэт и способ формообразования 4-го уровня
F20.1.1		Силуэтная форма, приближенная к форме фигуры человека, способ формообразования – вытачки (условное соответствие ГФ – цилиндр: БК с различными величинами прибавок), ГФ №1
F20.1.2		Прямая силуэтная форма (условное соответствие ГФ – цилиндр: БК с различными величинами прибавок), ГФ №1
F20.2.1		Прямой силуэт со сборкой по линии соединения с юбкой (соответствие ГФ – трапеция с нижним основанием: конструкция в фиксированном разведении снизу), ГФ №2
F20.3.1		Приталенный силуэт, со сборкой по горловине (условное соответствие ГФ – трапеция с верхним основанием: конструкция с фиксированным разведением сверху), ГФ №3
F20.3.2		Приталенный силуэт, со сборкой по плечевым швам (условное соответствие ГФ – трапеция с верхним основанием: конструкция в фиксированном разведении сверху), ГФ №3
F20.3.3		Приталенный силуэт, со сборкой по горловине и по плечевым швам (условное соответствие ГФ – трапеция с верхним основанием: конструкция в фиксированном разведении сверху), ГФ №3
F20.4.1		Силуэт овал со сборкой по горловине и по линии соединения с юбкой (соответствие ГФ – овал: конструкция в фиксированном разведении сверху и снизу), ГФ №4
F20.4.6		Силуэт овал со сборкой по плечевым швам и по линии соединения с юбкой (соответствие ГФ – овал: конструкция в фиксированном разведении сверху и (или) снизу), ГФ №4
F20.4.7		Силуэт овал со сборкой по горловине, плечевым швам и линии соединения с юбкой (соответствие ГФ – овал: конструкция в фиксированном разведении сверху и (или) снизу), ГФ №4

Последовательность формирования базовых графических элементов 2-го уровня приведена на примере юбки (Приложение В, Рисунок В.1) По результатам проведённых исследований в работе получены схематические изображения **набора базовых графических элементов** (Приложение В, Таблица В.1). Разработанные схематические изображения базовых графических элементов позволяют формализовать процесс визуального восприятия образного содержания модели и преобразовать эту информацию в значения конструктивных параметров.

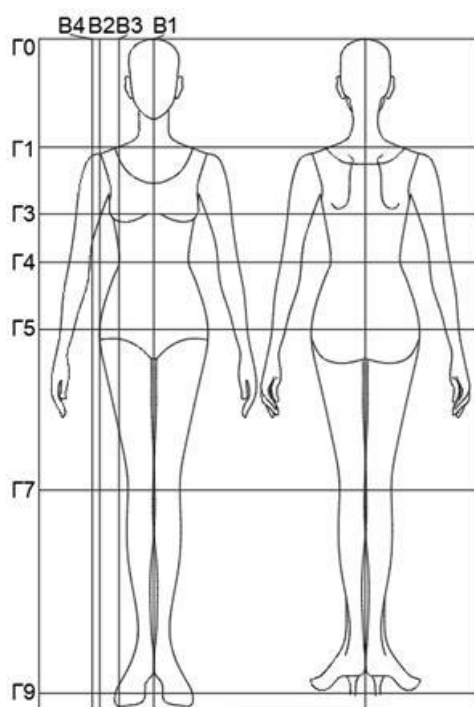
В процессе распознавания эскиза **базовые графические элементы** используются как знаки (символы), выбор которых подразумевает определенное конструктивное решение изделия. В связи с чем, в работе для каждого графического элемента определен алгоритм конструктивного моделирования на основе базовой конструкции (Таблица 3.4) (Приложение В, Таблица В.2), установлен перечень конструктивных параметров, лежащих в основе цифрового описания эскизного и конструктивного решения изделия или частей изделия для визуализации **базовых графических элементов**.

**Таблица 3.4 – Взаимосвязь параметров развёртки базового примитива и конструкции (фрагмент)**

Графическая форма	Условная развёртка ГФ	Эскиз базового элемента	Вариант конструктивного решения	Параметры модификации базовой конструкции и базовой формы
Прямой силуэт 				<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату бёдер (Пб);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• ширина изделия по верхнему срезу (<math>L_v</math>);</li> <li>• длина изделия (H)</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату груди 3 (Пг3);</li> <li>• прибавка к обхвату бёдер (Пб);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• длина изделия от линии талии (H)</li> </ul>

## Разработка инструментария для распознавания параметрических характеристик модели одежды по эскизу

Исходной информацией для определения параметрических характеристик модели одежды в эскизе является фигура человека. Для распознавания параметрических характеристик 5-го уровня (см. Рисунок 3.7) предложено использовать параметрический инструмент, включающий эталонную масштабную сетку и коэффициенты преобразования значений проекционных зазоров между контурами фигуры человека и изделия в конструктивные параметры. *Эталонная масштабная сетка* представляет собой контур фигуры человека, включая вид спереди и сзади, и систему из семи горизонтальных линий и четырех вертикальных линий (Рисунок 3.10). Способ обозначения горизонтальных линий масштабной сетки определен в соответствии с принятыми в теории конструирования одежды обозначениями конструктивных горизонталей, в то время как вертикальные линии обозначены по порядку (Таблица 3.5).



**Рисунок 3.10 – Схема эталонной масштабной сетки технического эскиза**

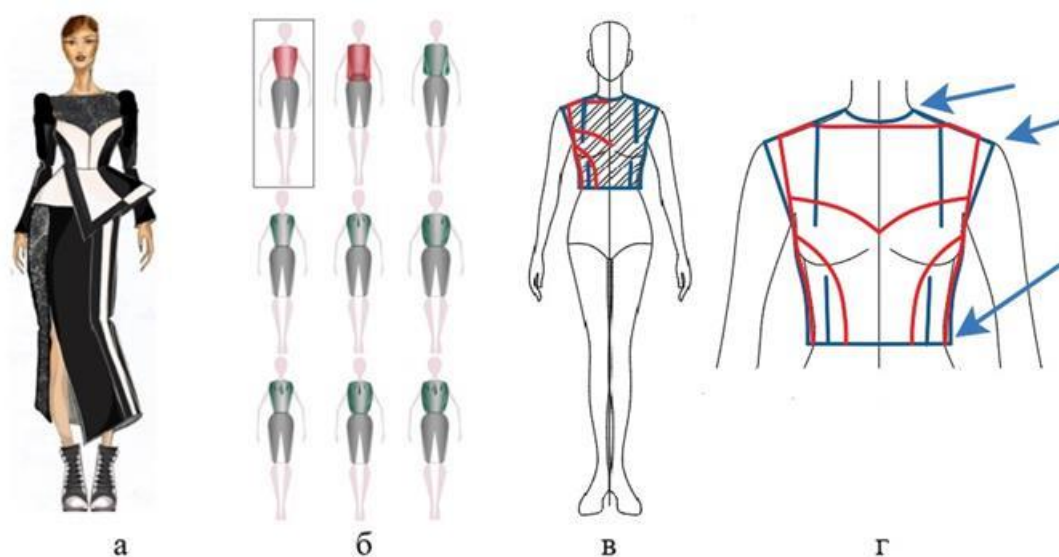
Исходной информацией для построения эталонной масштабной сетки являются данные о размерных признаках типовой или индивидуальной фигуры, которые могут быть:

- взяты из таблиц измерений типовых фигур ГОСТ или ОСТ;
- измерены контактными или бесконтактными способами;
- получены с трехмерной цифровой модели фигуры человека.

Таблица 3.5 – Система основных линий эталонной сетки технического эскиза

Обозначение	Наименование
<i>Горизонтальные линии сетки</i>	
Г0	Горизонталь, проходящая через верхушечную точку
Г1	Горизонталь, проходящая через плечевую точку
Г3	Линия груди
Г4	Линия талии
Г5	Линия бедер
Г7	Линия колена
Г9	Нулевая горизонталь
<i>Вертикальные линии сетки</i>	
В1	Линия симметрии фигуры
В2	Линия, проходящая через плечевую точку
В3	Линия, проходящая через точку пересечения линии талии и бокового контура фигуры
В4	Линия, проходящая через точку пересечения линии бедер и бокового контура фигуры

Информацию о конструктивных параметрах изделия, заданного эскизом, можно получить *пересчётом значений проекционных зазоров* между контуром фигуры человека и изделия в конструктивные параметры путем сравнения координат информативных точек контура фигуры человека и аналогичных точек на эскизе модели одежды. Реализация вышеописанного процесса проиллюстрирована на примере лифа жакета (Рисунок 3.11).



**Рисунок 3.11 - Распознавание параметров модели по эскизу: а) эскиз жакета; б) выбор базовой графической формы; в) редактирование базовой формы; г) анализ смещения информативных точек и определение параметров изделия**

Посредством разработанных базовых графических элементов определяются базовые конструктивные параметры, на основании которых строится конструкция одной из базовых форм изделия. На следующем этапе определяются модельные конструктивные параметры путем графического моделирования базовых графических элементов и анализа смещения информативных точек графических элементов. Для считывания величины этого смещения используются два способа:

- прямое измерение (измерение с эскиза переносится в конструкцию с учетом масштабного коэффициента);
- косвенное измерение (используют более сложные зависимости для пересчета значений соответствующих параметров).

Использование прямых измерений возможно при считывании длин или вертикальных измерений, а также расстояний на поверхности фигуры человека, «условно» не имеющих искажений. Для косвенных измерений необходимо использовать математические зависимости, определяющие способ преобразования проекционных размерных признаков в обхватные.

### **Разработка параметрического инструмента для пересчета значений проекционных зазоров в значения конструктивных параметров**

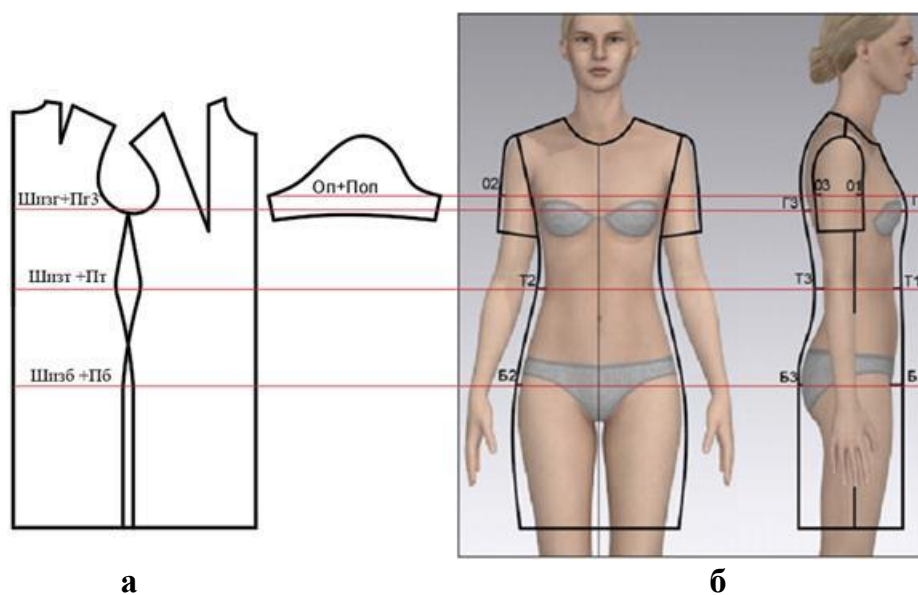
В основе создания параметрического инструмента для преобразования проекционных параметров в конструктивные лежат экспериментальные исследования, результаты которых можно проиллюстрировать на примере плечевых изделий с втачным рукавом женского ассортимента. Для исследования выбраны наиболее информативные сечения для плечевой одежды с втачным рукавом: по линиям груди, талии и бедер (Рисунок 3.12).

Разработка вышеописанного параметрического инструмента основана на:

- измерении графических изображений сечений манекена/ фигуры человека и макетов женских изделий;
- сопоставлении параметров прибавок и проекционных зазоров на заданных конструктивных уровнях.

Алгоритм проведения экспериментального исследования включает:

- построение конструкции плечевого изделия (на примере размера 158-92-98) с различными исходными значениями прибавок по исследуемым конструктивным уровням (см. Рисунок 3.12, а);
- проверку качества посадки изделия в макете, расчет фактических значений величин прибавок к обхватам груди (Пг3), талии (Пт), бедер (Пб), плеча (Поп) (см. Рисунок 3.12, а);
- измерение проекционных зазоров между изделием, надетым на человека, и фигурой человека (см. Рисунок 3.12, б).



**Рисунок 3.12 – Схема измерения параметров:**

**а) конструктивных прибавок; б) проекционных зазоров**

Для обозначения проекционных зазоров использованы обозначения, состоящие из букв для отображения уровней линий груди (Г), талии (Т), бедер (Б), обхвата плеча (О) и из цифр для уточнения контуров: переднего (1) и заднего (3) на виде сбоку, и бокового (2) на виде спереди (Таблица 3.6). Обработка полученных экспериментальных данных проведена методами математической статистики (Приложение Г, Таблица Г.1). Параметрические зависимости значений конструктивных параметров от значений проекционных зазоров выражаются уравнениями множественной регрессионной зависимости и имеют вид:

$$\text{Пг3} = a_1 + b_1 \times \text{Г3} + d_1 \times \text{Г1}$$

$$\text{Пт} = a_2 + b_2 \times \text{Т3} + c_2 \times \text{Т2} + d_2 \times \text{Т1}$$

$$\text{Пб} = a_3 + b_3 \times \text{Б3} + c_3 \times \text{Б2} + d_3 \times \text{Б1}$$

$$\text{Поп} = a_4 + b_4 \times \text{О3} + c_4 \times \text{О2} + d_4 \times \text{О1}$$



**Таблица 3.6 - Значения прибавок и проекционных зазоров женского плечевого изделия с втачным рукавом, размер 158-92-98 [97]**

№ макета	Величина прибавки, см				Величина пространственного зазора, см										
	ПгЗ	Пт	Пб	Оп	ГЗ	Г1	ТЗ	Т2	Т1	БЗ	Б2	Б1	ОЗ	О2	О1
1	1,42	4,06	1,77	1,11	0,11	0,51	1,09	1,93	1,78	1,22	0,95	0,42	0,10	0,41	0,01
2	2,32	6,40	2,41	1,97	0,20	0,66	1,34	2,43	2,11	1,22	0,95	0,50	0,14	0,60	0,07
3	3,56	7,58	2,74	2,23	0,27	0,69	1,41	2,97	2,38	1,26	0,96	0,60	0,17	0,72	0,12
4	4,05	8,89	3,12	2,94	0,30	1,03	1,60	3,57	4,59	1,38	1,02	0,63	0,43	0,83	0,21
5	6,02	13,1	3,45	3,46	0,34	1,07	2,24	4,87	4,89	1,52	1,04	0,85	0,54	0,87	0,22
6	7,36	15,4	3,54	4,78	0,44	1,56	2,30	5,28	5,51	1,64	1,07	1,28	0,57	1,30	0,43

На основе рассчитанных коэффициентов корреляции (Приложение Г, Таблица Г.2-Г.4) и коэффициентов регрессии (Приложение Г, Таблица Г.5) составлены уравнения множественных регрессионных зависимостей значений конструктивных прибавок от величин проекционных зазоров. Использование разработанных зависимостей необходимо для параметризации процесса перехода информации от технического эскиза к конструкции изделия (Таблица 3.7) при рекомендуемых рамках граничных условий: ПгЗ  $\in$  [1,4; 7,4] см; Пт  $\in$  [4,1; 15,4] см; Пб  $\in$  [1,8; 3,5] см.

**Таблица 3.7 - Параметрические зависимости значений конструктивных параметров от значений проекционных зазоров**

1	ПгЗ от ГЗ, Г1
	$ПгЗ = -0,502 + 0,488 \times ГЗ - 0,004 \times Г1$
2	Пт от ТЗ, Т2, Т1
	$Пт = -2,07 - 0,05 \times ТЗ + 0,41 \times Т2 - 0,06 \times Т1$
3	Пб от БЗ, Б2, Б1
	$Пб = 5,42 + 0,03 \times БЗ - 0,33 \times Б2 + 0,05 \times Б1$
4	Поп от ОЗ, О2, О1
	$Поп = 3,47 + 1,03 \times ОЗ - 0,63 \times О2 + 2,15 \times О1$

Апробация полученных зависимостей для моделей одежды женского ассортимента показала достоверность результатов для изделий прилегающего, полуприлегающего и прямого силуэтов.



Для косвенных измерений в процессе распознавания исходных конструктивных параметров мужской одежды по художественному эскизу проектируемой модели целесообразно использовать результаты исследования Черемисиной Т.А. [108], в которых получены математические зависимости значений конструктивных прибавок мужских пиджаков от значений проекционных прибавок на уровнях обхватов груди третьего, талии, бедер, плеча (Рисунок 3.13) с учетом различной жесткости используемых тканей (Таблица 3.8).

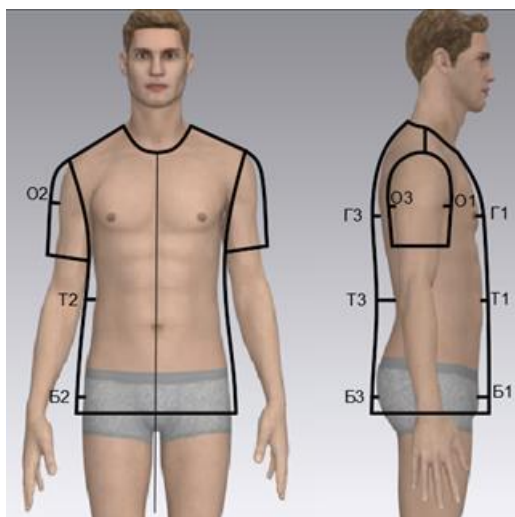


Рисунок 3.13 – Схема измерения проекционных зазоров в мужской одежде

Таблица 3.8– Параметрические зависимости конструктивных прибавок мужских пиджаков от проекционных прибавок с учетом жесткости материалов

Конструктивная прибавка	Обозначение проекционной прибавки	Математическая зависимость конструктивной прибавки (y) от проекционной прибавки (x)		
		Для тканей малой жесткости	Для тканей умеренной жесткости	Для жестких тканей
<i>Пг3</i>	$x_1$ – проекционная прибавка Г-1; $x_2$ – проекционная прибавка Г-4.	$Y = -23,43 - 16,32x_1 + 45,21x_2$	$Y = -1,11 + 16,15x_1 - 11,54x_2$	$Y = -8,91 - 4,77x_1 - 14,91x_2$
<i>Пт</i>	$x_1$ – проекционная прибавка Т-1; $x_2$ – проекционная прибавка Т-2. $x_3$ – проекционная прибавка Т-3.	$Y = 2,61 + 10,12x_1 - 5,41x_2 - 0,49x_3$	$Y = 2,55 - 0,71x_1 + 3,79x_2 + 0,45x_3$	$Y = 2,98 + 0,44x_1 + 1,41x_2 + 0,64x_3$
<i>Пб</i>	$x_1$ – проекционная прибавка Б-1; $x_2$ – проекционная прибавка Б-2. $x_3$ – проекционная прибавка Б-3.	$Y = 0,56 + 1,45x_1 + 2,24x_2 - 1,53x_3$	$Y = -0,43 + 0,91x_1 + 5,96x_2 - 4,04x_3$	$Y = -0,07 + 4,49x_1 - 5,21x_2 + 2,87x_3$
<i>Поп</i>	$x_1$ – проекционная прибавка О-1; $x_2$ – проекционная прибавка О-2. $x_3$ – проекционная прибавка О-3.	$Y = 3,1 + 1,99x_1 + 0,99x_2 + 2,36x_3$	$Y = 5,46 + 1,32x_1 + 0,44x_2 + 0,59x_3$	$Y = 4,25 + 1,69x_1 - 0,14x_2 + 0,84x_3$

## Разработка алгоритма распознавания исходных конструктивных параметров изделия по художественному эскизу

Распознавание исходных конструктивных параметров по художественному эскизу проектируемой модели происходит в несколько этапов. Для редактирования эскиза реализованы следующие функции:

- ❖ загрузить эскиз (Рисунок 3.14, а);
- ❖ определение разномасштабных зон эскиза;
- ❖ приведение эскиза к общему масштабу (см. Рисунок 3.14, б);
- ❖ синтез технического эскиза (см. Рисунок 3.14, в).



**Рисунок 3.14 – Алгоритм распознавания параметров: а) загрузка эскиза;**

**б) приведение эскиза к заданному масштабу; в) построение технического эскиза**

На этапах определения разномасштабных зон эскиза и приведения эскиза к общему масштабу используется эталонная масштабная сетка, построение которой осуществляется на основе размерных признаков фигуры. На этапе синтеза технического эскиза конструктору предоставляется набор базовых графических элементов из ранее разработанной базы знаний, выступающей в качестве интеллектуальной поддержки создания проектных решений и включающей знания о структуре и параметрах изделий и их элементов.

При редактировании технического эскиза изделия осуществляется перемещение узловых точек и отображение конкретной параметрической информации о величине пространственного зазора. В результате перерасчета величин пространственных зазоров на разных уровнях получают значения соответствующих конструктивных прибавок проектируемого изделия (Рисунок 3.15). Разработанный алгоритм распознавания исходных конструктивных параметров проектируемого изделия по эскизу реализован в программном модуле «Распознавание художественного эскиза модели одежды» (Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2011612237) [437].

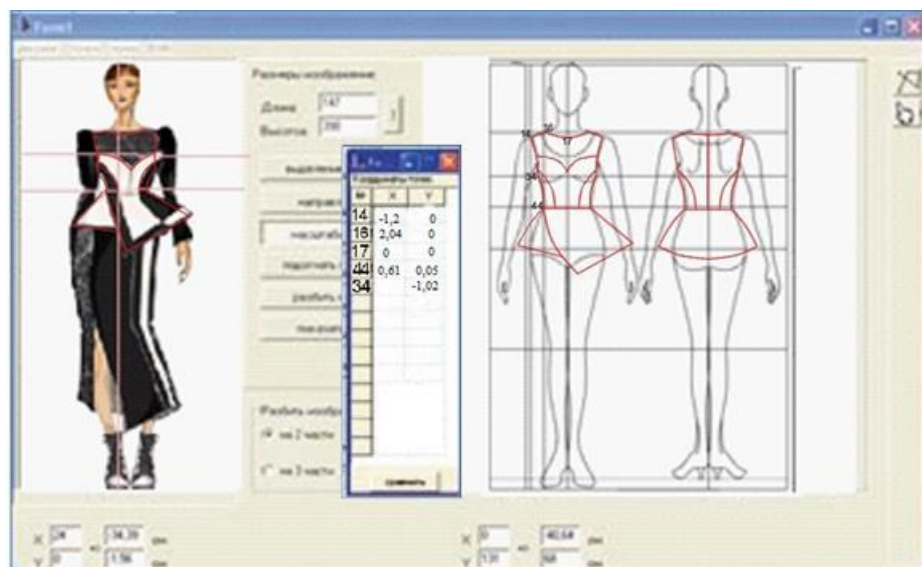


Рисунок 3.15 – Диалог для определения параметров технического эскиза

### 3.3 ИССЛЕДОВАНИЕ ИСХОДНОЙ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, ПОЛУЧЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ И СПОСОБОВ

Для создания трехмерной модели манекена как совокупности параметрической и семантической информации требуются данные о размерах и особенностях формы фигуры человека, о «портрете потребителя». В процессе решения вопроса *«определения способа получения информации для формирования портрета потребителя»* установлено, что эти данные могут быть получены как в процессе непосредственного диалога с потребителем, так и по результатам анализа актуального размерно-ростовочного ассортимента для предполагаемой группы потребителей. Параметрическая информация о фигуре человека может быть получена:

- контактными способами измерения тела человека;
- бесконтактными способами измерения тела человека;
- использованием базы данных размерных признаков.

Для *определения способа преобразования информации о портрете потребителя в параметрическую информацию о фигуре в виде необходимого набора признаков* установлено, что виртуальный манекен:

- представляет собой однозначную информацию о форме и размерах тела человека, структурированную по определенным правилам;
- соответствует натурной модели с определенной степенью точности и адекватности;
- записывается установленным набором параметров;
- создается на основании размерной и топографической информации о форме и размерах тела человека.

Так как фигура человека представляет собой сложный пространственный объект, геометрические свойства которого могут быть описаны математически, то виртуальная модель фигуры человека может быть визуально представлена в виде графических элементов, приемами геометрического моделирования и описана математически. Математическая модель, описывающая виртуальную модель манекена, должна:

- ✓ соответствовать математическому описанию поверхности тела человека;
- ✓ быть рационально организована и адаптирована для работы в автоматизированной системе;
- ✓ быть адаптирована для параметрического моделирования пространственной формы одежды.

### **Параметры описания трехмерной (3D) формы фигуры человека**

Представление параметрической информации, описывающей внешнюю форму фигуры человека, включает в себя:

- ❖ определение способов параметрического описания поверхности;
- ❖ определение участков поверхностей, описывающих форму фигуры человека;
- ❖ разработку способов параметрического описания участков поверхностей.

За информативные точки поверхности фигуры выбраны антропометрические точки, несущие информацию об особенностях геометрии фигуры человека, как сложного пространственного объекта. Для получения сглаженной поверхности цифровой модели фигуры человека выделены точки её поверхности, играющие важную роль при проектировании одежды прилегающего силуэта, отличающегося минимальной свободой облегания. Для проектирования плотнооблегающей одежды, а также изделий компрессионного назначения проектируемая модель фигуры должна быть более конкретизирована. Изначальная конкретизация и приближение манекена к реальному рельефу поверхности фигуры человека создаёт избыточное «зашумление» процесса

проектирования. Выявлены 54 информативные точки, параметрические значения которых используются для построения внешней формы мужских и женских фигур. Из них 27 точек используются для построения торсовой части фигуры, 12 точек - для построения внешней формы рук, 15 точек - для построения внешней формы ног. С целью большего удобства пользования информацией информативные точки сгруппированы в зависимости от места их расположения на поверхности фигуры человека (Приложение Д, Таблица Д.1) и выделены следующие совокупности точек:

- точки, описывающие боковой абрис фигуры на виде спереди/ сзади;
- точки, описывающие передний абрис фигуры на виде сбоку;
- точки, описывающие абрис спины фигуры на виде сбоку;
- точки, описывающие верхний контур руки на виде спереди/ сзади;
- точки, описывающие нижний контур руки на виде спереди/ сзади;
- точки, описывающие передний контур руки на виде сбоку;
- точки, описывающие задний контур руки на виде сбоку;
- точки, описывающие боковой абрис ноги на виде спереди/ сзади;
- точки, описывающие внутренний абрис ноги на виде спереди/ сзади;
- точки, описывающие передний абрис ноги на виде сбоку;
- точки, описывающие задний абрис ноги на виде сбоку.

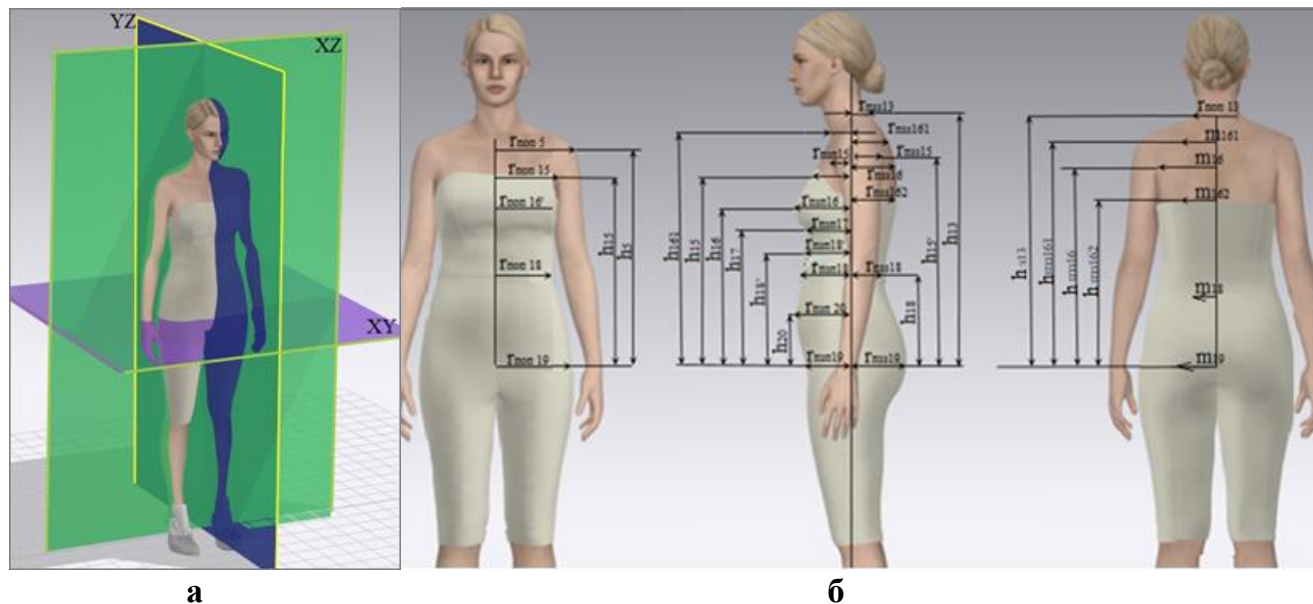
Способ обозначения точек не является ключевым аспектом, так как обозначения точек применяются только для разработки алгоритмов и программного обеспечения, а в диалогах с пользователем САПР обозначения точек не используются.

Для параметрического описания трехмерной модели манекена использованы три вида объектов: информативные точки, линии горизонтальных сечений и линии абриса фигуры. Положение информационных точек в пространстве определяется тремя декартовыми координатами (Рисунок 3.16, а). Нулевой горизонтальный уровень соответствует плоскости, проходящей на уровне линии бедер, параллельно полу. Параметрические характеристики информативных точек заданы проекционными размерными признаками частей фигуры человека для торса (см. Рисунок 3.16, б), рук и ног (Приложение Д, Рисунок Д.1). Для описания фигуры использованы измерения (Приложение Д, Таблица Д.2):

- высота/ расстояние от нулевой горизонтали до информативной точки ( $h$ , см);
- расстояние от фронтальной плоскости до точки ( $r_{пз}$ , см);

- расстояние от сагиттальной плоскости до точки ( $r_{\text{поп}}$ , см);
- расстояние от сагиттальной плоскости до информативной точки на поверхности спины, не лежащей на контуре спины на виде сбоку ( $m$ , см).

Для обозначения параметров 3D формы фигуры использованы: обозначение измерения ( $h$ ,  $r_{\text{пз}}$ ,  $r_{\text{поп}}$ ,  $m$ ); обозначение контура, которому принадлежит информационная точка (передний – п, задний – з); цифровое обозначение точки.



**Рисунок 3.16 – Параметрическое описание информативных точек торса фигуры:**

**а) расположение плоскостей; б) проекционные параметры**

Выделено 62 параметра для описания торса, 13 параметров для описания формы рук и 15 параметров для описания формы ног. Для целей автоматизированного проектирования выделенная совокупность параметров может быть получена контактным или бесконтактным способом. Совокупность разработанных параметров названа параметрами 3D внешней формы фигуры человека (3Dф). Для женской и мужской фигуры совокупность параметров 3D формы идентична. Параметры 3D формы фигуры (Таблица 3.9) являются исходной информацией для разработки математической модели поверхности женских и мужских фигур. Выстроенная на основе данной последовательности информационная модель описания однозначно обозначает позиции, необходимые для параметризации изделия и дальнейшего наполнения цифровой модели изделия.

Таблица 3.9 – Параметры описания 3D формы торсовой части фигуры

Информативные точки	Параметры 3D формы фигуры		
	Координаты по		
	по оси X	по оси Y	по оси Z
<i>P1б</i>	$\Gamma_{пз1б}$	$\Gamma_{поп1б}$	$h_{1б}$
<i>P13б</i>	0	$\Gamma_{поп13}$	$h_{б13}$
<i>P5</i>	0	$\Gamma_{поп5}$	$h_5$
<i>P15п</i>	$\Gamma_{пв15п}$	$\Gamma_{поп15п}$	$h_{пв15п}$
<i>P15з</i>	$\Gamma_{пв15з}$	$\Gamma_{поп15з}$	$h_{пв15з}$
<i>P18б</i>	0	$\Gamma_{поп18}$	$h_{б18}$
<i>P7б</i>	$\Gamma_{пзп7б}$	$\Gamma_{поп7б}$	$h_{п7б}$
<i>P19'</i>	0	$\Gamma_{поп19}'$	$h_{б19}'$
<i>P1п</i>	$\Gamma_{пзп1п}$	0	$h_{1п}$
<i>P13п</i>	$\Gamma_{пзп13}$	0	$h_{п13}$
<i>P14</i>	$\Gamma_{пзп14}$	0	$h_{п14}$
<i>P16</i>	$\Gamma_{пзп16}$	$\Gamma_{поп16}'$	$h_{п16}$
<i>P17</i>	$\Gamma_{пзп17}$	0	$h_{п17}$
<i>P18'</i>	$\Gamma_{пзп18}'$	0	$h_{п18}'$
<i>P18п</i>	$\Gamma_{пзп18}$	0	$h_{п18}$
<i>P20</i>	$\Gamma_{пзп20}$	0	$h_{п20}$
<i>P19п</i>	$\Gamma_{пзп19}$	0	$h_{з19} = 0$
<i>P9п</i>	$\Gamma_{пзп9п}$	0	$h_{п9п}$
<i>P1з</i>	$\Gamma_{пзп1зз}$	0	$h_{1з}$
<i>P13з</i>	$\Gamma_{пзз13}$	0	$h_{з13}$
<i>P161</i>	$\Gamma_{пзз161}$	$m_{161}$	$h_{пзз161}$
<i>P16з</i>	$\Gamma_{пзз16}$	$m_{16}$	$h_{з16}$
<i>P162</i>	$\Gamma_{пзз162}$	$m_{162}$	$h_{пзз162}$
<i>P18з</i>	$\Gamma_{пзз18}$	$m_{18}$	$h_{з18}$
<i>P19з</i>	$\Gamma_{пзз19}$	$m_{19}$	$h_{з19} = 0$
<i>P8с</i>	$\Gamma_{пз8с}$	$m_{8с}$	$h_{з8с}$

### Исследование геометрических характеристик внешней формы женских и мужских фигур

Для разработки способа построения трехмерного манекена по заданному набору размерных признаков проведено экспериментальное исследование геометрических характеристик внешней формы женских и мужских фигур, при изучении которых были использованы два подхода:

- 1) исследование фотографических изображений фигур (на примере исследования особенностей геометрии женской фигуры);
- 2) исследование изображений фигур, полученных методом 3D сканирования (на примере мужских фигур).

В результате исследования геометрии фигур по фотоизображениям получены графические изображения 35 женских фигур (Приложение Д, Таблицы Д.3-Д.4), на основе которых определены необходимые проекционные измерения фигур (Приложение Д, Рисунок Д.2, Таблицы Д.5 –Д.8). Методом 3D сканирования исследованы 40 мужских фигур, полученный набор точек, описывающих их поверхность, фрагментирован и аппроксимирован (Приложение Д, Рисунок Д.3, Таблица Д.9).

Оцифрованные абрисы мужских и женских фигур использованы для разработки математического описания фигуры. На основании анализа геометрических и параметрических характеристик внешней формы женских и мужских фигур выделены основные топографические зоны для математического описания фигуры человека. Топографические зоны сверху и снизу ограничены линиями поперечных сечений, справа и слева линиями абриса фигуры и вертикальными рельефными линиями. Для разработки математического аппарата описания топографических зон исследованы и математически описаны линии, их ограничивающие. Поперечные сечения (ПС) торса построены на основе данных, полученных с изображений мужских и женских фигур (Таблица 3.10, Приложение Е, Таблица Е.1).

По результатам исследования геометрических характеристик поперечных сечений фигуры:

- ❖ установлена однородность геометрии линий, описывающих фрагменты поперечных сечений для фигур различного телосложения и пола (за исключением сечения, проходящего на уровне сосковой точки  $P_{16}$ );
- ❖ выявлено, что геометрия поперечных сечений в общем виде может быть описана с помощью кривых 3-го порядка (Таблица 3.11);
- ❖ определены средства математического описания для 36 фрагментов поперечных сечений фигуры человека (Приложение Е, Таблица Е.2).



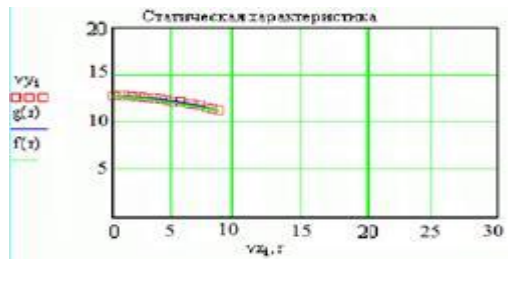
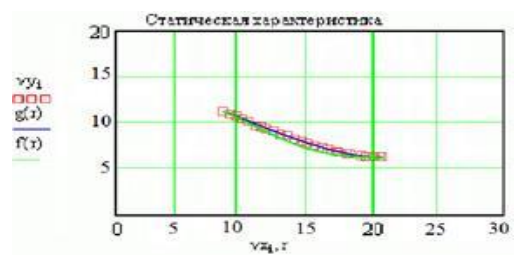
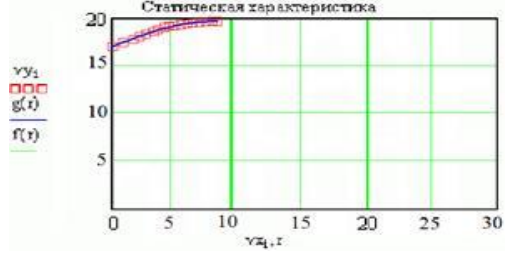
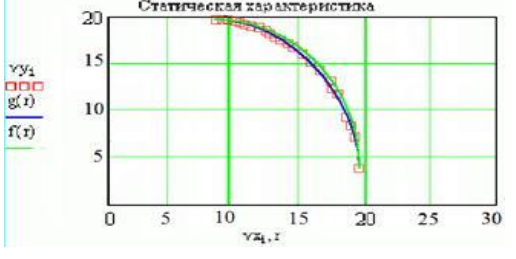
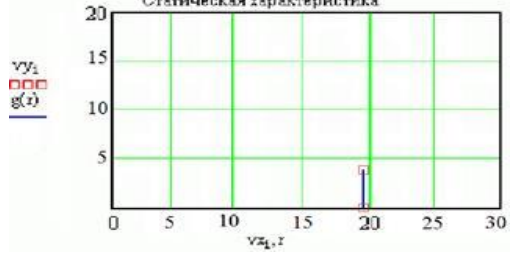
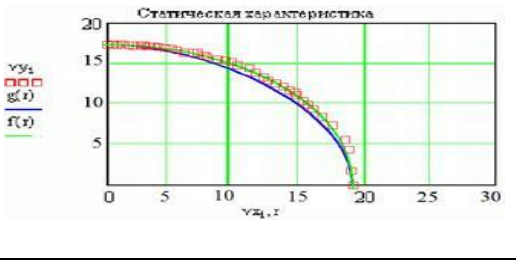
Таблица 3.10 – Параметры исследуемых поперечных сечений торса фигуры

Обозначение	Уровень расположения сечения	Информативная точка	Параметр
ПС 1	Точка основания шеи спереди	$P13n$	$h_{п13}$
ПС 2	Точка верхнего основания груди	$P14$	$h_{п14}$
ПС 3	Сосковая точка	$P16n$	$h_{п16}$
ПС 4	Точка нижнего основания груди	$P17$	$h_{п17}$
ПС 5	Точка нижнего выступания грудной клетки	$P18'$	$h_{п18}'$
ПС 6	Передняя точка талии	$P18n$	$h_{п18}$
ПС 7	Выступающая точка живота	$P20$	$h_{п20}$
ПС 8	Точка основания шеи сбоку	$P13б$	$h_{б13}$
ПС 9	Плечевая точка	$P5$	$h_5$
ПС 10	Передний угол подмышечной впадины	$P15n$	$h_{п15}$
ПС 11	Задний угол подмышечной впадины	$P15з$	$h_{з15}$
ПС 12	Точка на уровне талии	$P18б$	$h_{б18}$
ПС 13	Точка фактического выступания бёдер	$P19'$	$h_{б19}'$
ПС 14	Точка основания шеи	$P13з$	$h_{з13}$
ПС 15	Точка верхнего выступания лопаток	$P161$	$h_{з161}$
ПС 16	Лопаточная точка	$P16з$	$h_{з16}$
ПС 17	Точка нижнего основания лопаток	$P162$	$h_{з162}$
ПС 18	Задняя точка талии	$P18з$	$h_{з18}$
ПС 19	Ягодичная точка	$P19$	$h_{з19}$

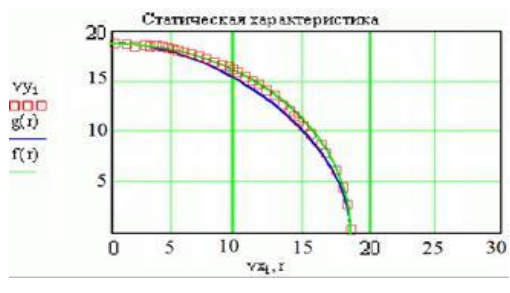
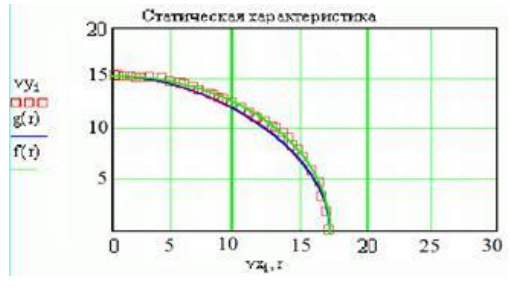
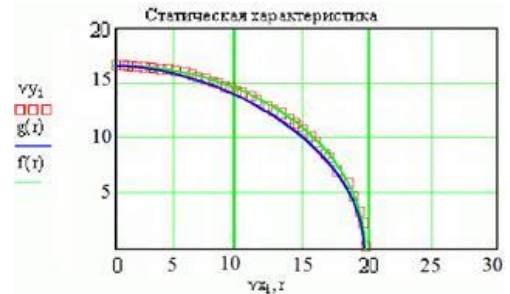
Таблица 3.11 – Аппроксимация фрагментов поперечных сечений фигуры человека (фрагмент)

Фрагмент сечения	Аппроксимирующий полином	График аппроксимирующей функции	max отклонение
1	2	3	4
ПС 1.1	$F(x, b) = b_0 + \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{b_2^2 + (x - b_3)^2}$		0,231
ПС 1.2	$F(x, b) = b_0 \cdot x^3 + b_1 \cdot x^2 + b_2 \cdot x + b_3$		0,134

## Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4
ПС 2.1	$F(x, b) = b_0 + \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{b_2^2 + (x - b_3)^2}$		0,221
ПС 2.2	$F(x, b) = b_0 \cdot x^3 + b_1 \cdot x^2 + b_2 \cdot x + b_3$		0,032
ПС 3.1	$F(x, b) = b_0 \cdot x^3 + b_1 \cdot x^2 + b_2 \cdot x + b_3$		0,002
ПС 3.2	$F(x, b) = b_0 + \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{b_2^2 + (x - b_3)^2}$		0,006
ПС 3.3	$F(y, b) = b_0 \cdot y + b_1$		0,008
ПС 4	$F(x, b) = b_0 + \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{b_2^2 + (x - b_3)^2}$		0,032

Продолжение таблицы 3.11

1	2	3	4
ПС5	$F(x, b) = b_0 + \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{b_2^2 + (x - b_3)^2}$		0,023
ПС 6	$F(x, b) = b_0 + \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{b_2^2 + (x - b_3)^2}$		0,043
ПС 7	$F(x, b) = b_0 + \frac{b_1}{b_2} \cdot \sqrt{b_2^2 + (x - b_3)^2}$		0,042

По результатам исследования геометрических характеристик конфигурации вертикальных рельефных линий женских и мужских фигур (Приложение Е, Рисунок Е.1) установлены:

- однородность геометрии вертикальных рельефных линий фигур различного телосложения и пола;
- возможность обобщенного описания геометрии вертикальных рельефных линий фигуры с помощью кривых третьего порядка (Таблица 3.12);
- средства математического описания для 25 фрагментов вертикальных рельефных линий фигуры человека (17 фрагментов переднего, заднего и бокового абрисов (ФА) и 8 фрагментов дополнительных рельефных линий (ДР) передней и задней поверхности фигуры) (Приложение Е, Таблица Е.3).

Таблица 3.12 – Аппроксимация фрагментов вертикальных рельефов фигуры  
(фрагмент)

Фрагмент линии	Аппроксимирующий полином	График аппроксимирующей функции	Мах отклонение
1	2	3	4
ФА1	$F(z, b) = b_0 \cdot z + b_1$		0,0012
ФА2	$F(z, b) = b_0 \cdot z^3 + b_1 \cdot z^2 + b_2 \cdot z + b_3$		0,0021
ФА3	$F(z, b) = b_0 \cdot z^3 + b_1 \cdot z^2 + b_2 \cdot z + b_3$		0,0026
ФА4	$F(z, b) = b_0 \cdot z^4 + b_1 \cdot z^3 + b_2 \cdot z^2 + b_3 \cdot z + b_4$		0,0215
ФА5	$F(z, b) = b_0 \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{b_1} + b_2$		0,0031
ФА6	$F(z, b) = b_0 \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{b_1} + b_2$		0,0025

Продолжение таблицы 3.12

1	2	3	4
ФА7	$F(z, b) = b_0 \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{b_1} + b_2$	<p>Статическая характеристика</p>	0,0003
ФА8	$F(z, b) = b_0 \cdot z^3 + b_1 \cdot z^2 + b_2 \cdot z + b_3$	<p>Статическая характеристика</p>	0,0001
ФА9	$F(z, b) = b_0 \cdot \cos \frac{\pi \cdot z}{b_1} + b_2$	<p>Статическая характеристика</p>	0,0121
ФА10	$F(z, b) = b_0 \cdot z^3 + b_1 \cdot z^2 + b_2 \cdot z + b_3$	<p>Статическая характеристика</p>	0,0325

Полученные результаты аналитической аппроксимации графических фрагментов исследуемых поверхностей использованы для проектирования трёхмерных виртуальных манекенов, параметры которых могут варьироваться для отображения женских и мужских фигур разных размеров и телосложения.

### 3.4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ФИГУРЫ ЧЕЛОВЕКА

По результатам исследования геометрии внешней формы фигур выделено 45 топографических фрагментов поверхности (ТФ), являющихся составными элементами основных топографических зон (ТЗ) поверхности фигуры. Топографические фрагменты представляют собой кинематическую поверхность с образующими - линиями поперечного сечения и с направляющими – вертикальными рельефными линиями (Рисунок 3.17, Таблица 3.13).

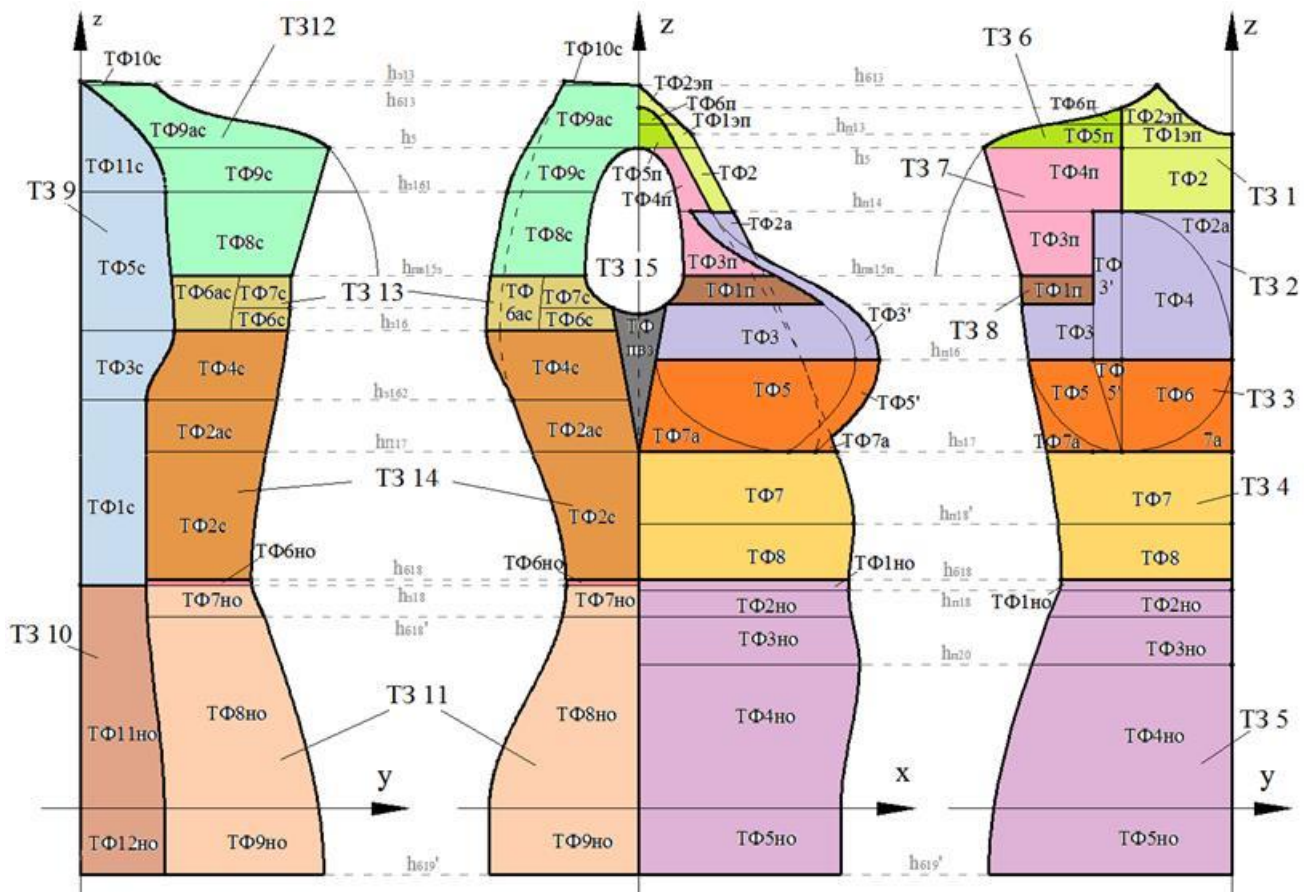


Рисунок 3.17 – Фрагментация поверхности фигуры [65]

Параметризация описания поверхности фигуры осуществлена путем описания линий поперечных сечений (Таблица 3.14) и вертикальных рельефных линий поверхности, включая дополнительные рельефные линии передней и задней поверхности фигуры (Таблица 3.15) параметрическими функциями, включающими параметры информативных точек на 3D поверхности фигуры. Параметрическое вид линий позволяет

описывать поверхность как интерактивный объект, изменить форму которого возможно путем изменения значений параметров размерных признаков фигуры.

**Таблица 3.13 – Сводная информация о топографии фигуры человека**

№ ТЗ	Горизонтальные границы					
	снизу			сверху		
	Уровень сечения	Функция	Уровень Z	Уровень сечения	Функция	Уровень Z
ТЗ 1	ПС 2	Эллипс	$h_{п14}$	ПС 8	Эллипс	$h_{б13}$
ТЗ 2.1	ПС 3	Кривая 3-го порядка	$h_{п16}$	ПС 2	Кривая 3-го порядка	$h_{п14}$
ТЗ 2.2	ПС 3	Кривая 3-го порядка	$h_{п16}$	ПС 2	Кривая 3-го порядка	$h_{п14}$
ТЗ 3.1	ПС 4	Кривая 3-го порядка	$h_{п17}$	ПС 3	Кривая 3-го порядка	$h_{п16}$
ТЗ 3.2	ПС 4	Кривая 3-го порядка	$h_{п17}$	ПС 3	Кривая 3-го порядка	$h_{п16}$
ТЗ 4	ПС 12	Эллипс	$h_{б18}$	ПС 4	Эллипс	$h_{п17}$
ТЗ 5	ПС 13	Эллипс	$h_{б19'}$	ПС 12	Эллипс	$h_{б18}$
ТЗ 6	ПС 9	Кривая Безье	$h_5$	построение	Кривая Безье	-
ТЗ 7	ПС 10	Кривая 3-го порядка	$h_{п15}$	ПС 9	Кривая 3-го порядка	$h_5$
ТЗ 8	ПС 10'	Кривая 3-го порядка	$h_{п15} - \Delta_{п15}$	ПС 10	Кривая 3-го порядка	$h_{п15}$
ТЗ 9	ПС 12	Кривая 3-го порядка	$h_{б18}$	ПС 14	Кривая 3-го порядка	$h_{з13}$
ТЗ 10	ПС 13	Прямая	$h_{б19'}$	ПС 12	Прямая	$h_{б18}$
ТЗ 11	ПС 13	Эллипс	$h_{б19'}$	ПС 12	Эллипс	$h_{б18}$
ТЗ 12	ПС 11	Кривая 3-го порядка	$h_{з15}$	ПС 14	Кривая 3-го порядка	$h_{з13}$
ТЗ 13	ПС 11'	Кривая 3-го порядка	$h_{з15} - \Delta_{з15}$	ПС 11	Кривая 3-го порядка	$h_{з15}$
ТЗ 14	ПС 12	Эллипс	$h_{б18}$	ПС 11'	Эллипс	$h_{з15} - \Delta_{з15}$
ТЗ 15	ПС 4	-	$h_{п17}$	ПС 10	Прямая	$h_{п15}$

**Таблица 3.14 – Параметрический вид уравнений, описывающих поперечные сечения торса человека**

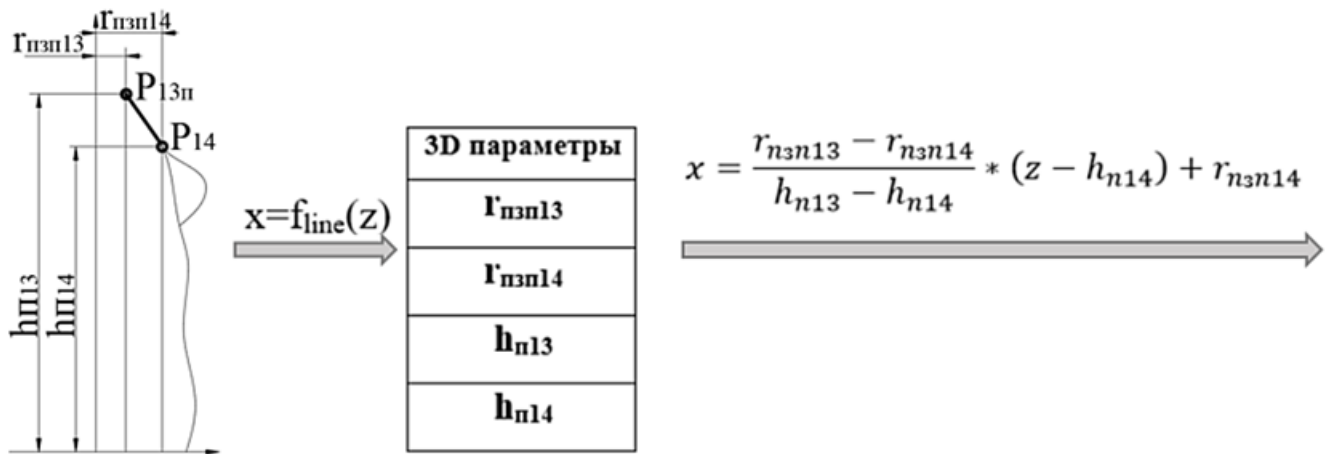
Наименование	Схема	Условное обозначение	Функция
Кривая 3-го порядка вида $y = f(x)$		$f_{\text{parabola}}(x)$	$y = f(x, x_0, x_1, y_0, y_1, \tan_0, \tan_1) = -(x - x_0)^3 \times (2 \times (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)^3 - (\tan_1 + \tan_0) / (x_1 - x_0)^2) + (x - x_0)^2 \times (3 \times (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)^2 - (\tan_1 + 2 \times \tan_0) / (x_1 - x_0)) + \tan_0 \times (x - x_0) + y_0$
Кривая 3-го порядка вида $x = f(y)$		$f_{\text{parabola}}(y)$	$x = f(y, x_0, x_1, y_0, y_1, \tan_0, \tan_1) = -(y - y_0)^3 \cdot (2 \cdot (x_1 - x_0) / (y_1 - y_0)^3 - (\tan_1 + \tan_0) / (y_1 - y_0)^2) + (y - y_0)^2 \cdot (3 \cdot (x_1 - x_0) / (y_1 - y_0)^2 - (\tan_1 + 2 \cdot \tan_0) / (y_1 - y_0)) + \tan_0 \cdot (y - y_0) + x_0$
Эллипс вида $y = f(x)$		$y = f_{\text{ellipse}}(x)$	$f(x, a, b) = \frac{b}{a} \cdot \sqrt{a^2 - (x - \Delta x)^2} + \Delta y$
Эллипс вида $x = f(y)$		$f_{\text{ellipse}}(y)$	$f(y, a, b) = \frac{a}{b} \cdot \sqrt{b^2 - (y - \Delta y)^2} + \Delta x$
Прямая вида $y = f(x)$		$f_{\text{line}}(x)$	$y = f(x, x_0, x_1, y_0, y_1) = (x - x_0) \cdot (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0) + y_0$
Прямая вида $x = f(y)$		$f_{\text{line}}(y)$	$x = f(y, x_0, x_1, y_0, y_1) = (y - y_0) \cdot (x_1 - x_0) / (y_1 - y_0) + x_0$



**Таблица 3.15 - Параметрическое описание вертикальных рельефных линий женской фигуры**

Наименование	Условное обозначение	Функция
Кривая 3-го порядка вида $y = f(z)$	$y = f_{\text{parabola}}(z)$	$y = f(z, z_0, z_1, y_0, y_1, \tan_0, \tan_1) = - (z - z_0)^3 \cdot (2 \cdot (y_1 - y_0) / (z_1 - z_0)^3 - (\tan_1 + \tan_0) / (z_1 - z_0)^2) + (z - z_0)^2 \cdot (3 \cdot (y_1 - y_0) / (z_1 - z_0)^2 - (\tan_1 + 2 \cdot \tan_0) / (z_1 - z_0)) + \tan_0 \cdot (z - z_0) + y_0$
Кривая 3-го порядка вида $x = f(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$	$x = f(z, x_0, x_1, z_0, z_1, \tan_0, \tan_1) = - (z - z_0)^3 \cdot (2 \cdot (x_1 - x_0) / (z_1 - z_0)^3 - (\tan_1 + \tan_0) / (z_1 - z_0)^2) + (z - z_0)^2 \cdot (3 \cdot (x_1 - x_0) / (z_1 - z_0)^2 - (\tan_1 + 2 \cdot \tan_0) / (z_1 - z_0)) + \tan_0 \cdot (z - z_0) + x_0$
Кривая 4-го порядка вида $x = f(z)$	$x = f_{\text{parabola3}}(z)$	$x = f(z, x_0, x_1, x_2, z_0, z_1, z_2, \tan_0, \tan_2) = - (z - z_0)^3 \cdot (2 \cdot (x_1 - x_0) / (z_1 - z_0)^3 - (\tan_1 + \tan_0) / (z_1 - z_0)^2) + (z - z_0)^2 \cdot (3 \cdot (x_1 - x_0) / (z_1 - z_0)^2 - (\tan_1 + 2 \cdot \tan_0) / (z_1 - z_0)) + \tan_0 \cdot (z - z_0) + x_0$
Эллипс вида $y = f(z)$	$y = f_{\text{ellipse}}(z)$	$f(x, a, b) = \frac{b}{c} \cdot \sqrt{c^2 - (z - \Delta z)^2} + \Delta y$
Эллипс вида $x = f(z)$	$x = f_{\text{ellipse}}(z)$	$f(y, a, b) = \frac{a}{c} \cdot \sqrt{c^2 - (z - \Delta z)^2} + \Delta x$
Прямая вида $y = f(z)$	$y = f_{\text{line}}(z)$	$y = f(z, z_0, z_1, y_0, y_1) = (z - z_0) \cdot (y_1 - y_0) / (z_1 - z_0) + y_0$
Прямая вида $x = f(z)$	$x = f_{\text{line}}(z)$	$x = f(z, x_0, x_1, z_0, z_1) = (z - z_0) \cdot (x_1 - x_0) / (z_1 - z_0) + x_0$
Косинусоида вида $y = f(z)$	$y = f_{\text{cos}}(z)$	$y = \frac{y_1 - y_0}{2} \cdot \left( \cos \frac{\pi \cdot (z - z_0)}{(z_1 - z_0)} - 1 \right) + y_0$
Косинусоида вида $x = f(z)$	$x = f_{\text{cos}}(z)$	$x = \frac{x_1 - x_0}{2} \cdot \left( \cos \frac{\pi \cdot (z - z_0)}{(z_1 - z_0)} - 1 \right) + x_0$
$x_0, x_1, y_0, y_1, z_0, z_1, a, b, c, \Delta a, \Delta b, \Delta c$ – параметры крайних точек фрагментов линий $tg_0, tg_1$ – параметры направляющих в крайних точках		

Этапы построения параметрических уравнений для описания рельефных линий фигуры человека проиллюстрированы на примере фрагмента ФА 1 – «Верхняя часть грудной клетки» (Рисунок 3.18), ограниченного точками: ключичной ( $P_{13n}$ ) и основания груди ( $P_{14}$ ).



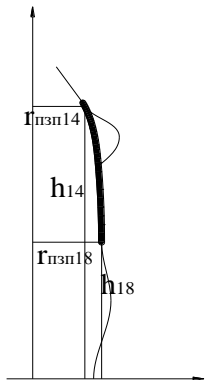
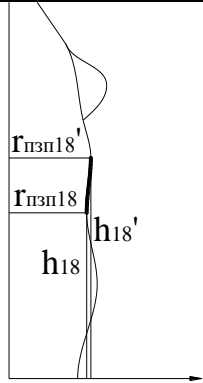
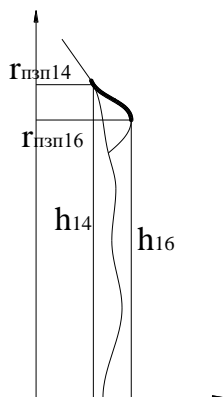
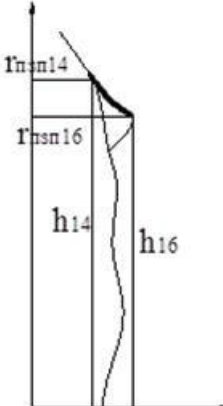
**Рисунок 3.18 – Последовательность разработки параметрического описания рельефных линий**

Разработанные уравнения вертикальных рельефных линий фигуры (Приложение Е.1) представлены в виде математической модели (Таблица 3.16).

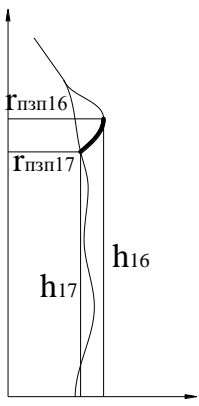
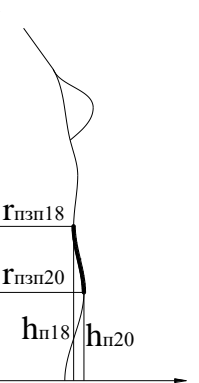
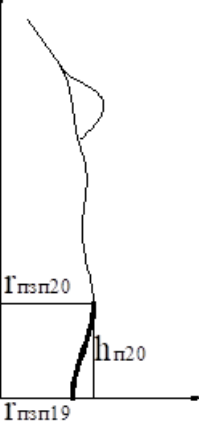
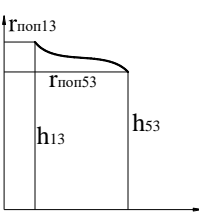
**Таблица 3.16 – Математическое описание вертикальных рельефных линий фигуры**

Наименование фрагмента вертикальных рельефных линий	Математическое описание	
	Функция/ параметры	Схема
1	2	3
<i>Передний контур фигуры</i>		
ФА1 Верхняя часть грудной клетки $f_1(z)$	$x = f_{line}(z)$ $X_0 = \Gamma_{пзп13}$ $Z_0 = h_{п13}$ $X_1 = \Gamma_{пзп14}$ $Z_1 = h_{п14}$	
ФА2 Нижняя часть грудной клетки (для фигур с нижним выступанием грудной клетки) $f_{2i}(z)$	$x = f_{parabola3}(z)$ $X_0 = \Gamma_{пзп14}$ $Z_0 = h_{п14}$ $tg \alpha_0 = \frac{r_{пзп13} - r_{пзп14}}{h_{п13} - h_{п14}}$ $X_1 = \Gamma_{пзп17}$ $Z_1 = h_{п17}$ $X_2 = \Gamma_{пзп18'}$ $Z_2 = h_{п18'}$ $tg \alpha_2 = 0$	

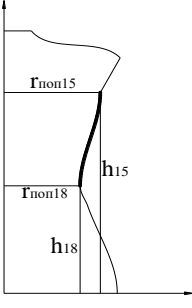
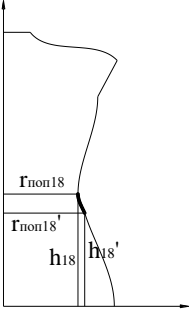
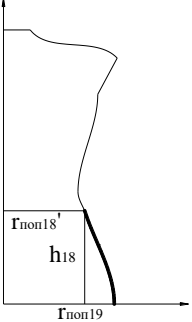
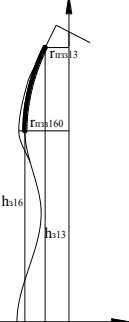
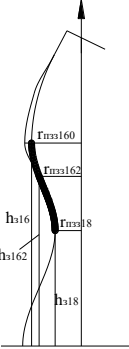
Продолжение таблицы 3.16

1	2	3
<p>ФА2 Нижняя часть грудной клетки (для фигур, не имеющих выступания грудной клетки) <math>f_{2t}(z)</math></p>	<p><math>x = f_{\text{parabola}3}(z)</math>  <math>x_0 = r_{\text{пзп}14}</math>  <math>z_0 = h_{\text{п}14}</math>  <math>\text{tg}\alpha_0 = \frac{r_{nzn13} - r_{nzn14}}{h_{n13} - h_{n14}}</math>  <math>x_1 = r_{\text{пзп}17}</math>  <math>z_1 = h_{\text{п}17}</math>  <math>x_2 = r_{\text{пзп}18}</math>  <math>z_2 = h_{\text{п}18}</math>  <math>\text{tg}\alpha_2 = 0</math></p>	
<p>ФА3 Верхняя часть живота (для фигур без выступа грудной клетки) <math>f_{3t}(z)</math></p>	<p><math>x = f_{\text{cos}}(z)</math>  <math>x_0 = r_{\text{пзп}18'}</math>  <math>z_0 = h_{\text{п}18}</math>  <math>x_1 = r_{\text{пзп}18}</math>  <math>z_1 = h_{\text{п}18}</math></p>	
<p>ФА4 Верхняя часть грудных желёз (для округлой формы грудных желёз) <math>f_{4(t)}(z)</math></p>	<p><math>x = f_{\text{parabola}}(z)</math>  <math>x_0 = r_{\text{пзп}16}</math>  <math>z_0 = h_{\text{п}16}</math>  <math>\text{tg}\alpha_0 = 0</math>  <math>x_1 = r_{\text{пзп}14'}</math>  <math>z_1 = h_{\text{п}14}</math>  <math>\text{tg}\alpha_1 = \frac{r_{nzn13} - r_{nzn14}}{h_{n13} - h_{n14}}</math></p>	
<p>ФА4 Верхняя часть грудных желёз (для конической формы грудных желёз) <math>f_{4(k)}(z)</math></p>	<p><math>x = f_{\text{parabola}}(z)</math>  <math>x_0 = r_{\text{пзп}16}</math>  <math>z_0 = h_{\text{п}16}</math>  <math>\text{tg}\alpha_0 = k \cdot \frac{r_{nzn16} - r_{nzn14}}{h_{n16} - h_{n14}}</math>  <math>x_1 = r_{\text{пзп}14'}</math>  <math>z_1 = h_{\text{п}14}</math>  <math>\text{tg}\alpha_1 = \frac{r_{nzn13} - r_{nzn14}}{h_{n13} - h_{n14}}</math></p>	

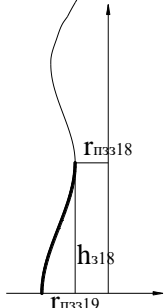
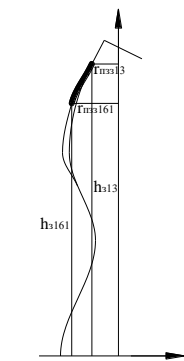
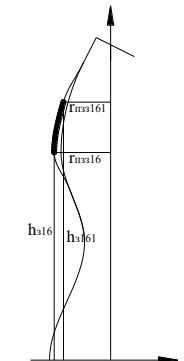
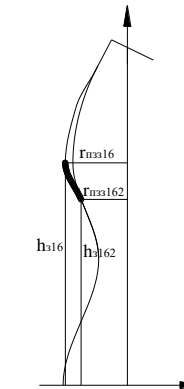
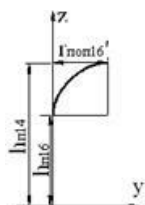
Продолжение таблицы 3.16

1	2	3
ФА5 Нижняя часть груди $f_5(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$ $x_0 = r_{\text{пзп16}}$ $z_0 = h_{\text{п16}}$ $\text{tg}\alpha_0 = 0$ $x_1 = r_{\text{пзп17}}$ $z_1 = h_{\text{п17}}$ $\text{tg}\alpha_1 = 2 \cdot \frac{r'_{\text{нзп17}} - r'_{\text{нзп16}}}{h_{\text{п17}} - h_{\text{п16}}}$	
ФА6 Средняя часть живота $f_6(z)$	$x = f_{\text{cos}}(z)$ $x_0 = r_{\text{пзп18}}$ $z_0 = h_{\text{п18}}$ $x_1 = r_{\text{пзп18}}$ $z_1 = h_{\text{п18}}$	
ФА7 Нижняя часть живота $f_7(z)$	$x = f_{\text{cos}}(z)$ $x_0 = r_{\text{пзп18}}$ $z_0 = h_{\text{п18}}$ $x_1 = r_{\text{пзп20}}$ $z_1 = h_{\text{п20}}$	
<i>Боковой контур фигуры</i>		
ФА8 Плечевой контур $f_8(z)$	$y = f_{\text{parabola}}(z)$ $y_0 = r_{\text{поп13}}$ $z_0 = h_{\text{б13}}$ $\text{tg}\alpha_0 = \text{tg}\alpha_{136}$ $y_1 = r_{\text{п0п5}}$ $z_1 = h_5$ $\text{tg}\alpha_1 = -1$	

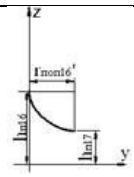
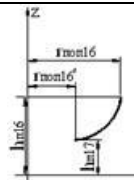
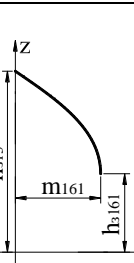
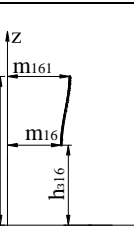
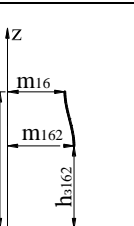
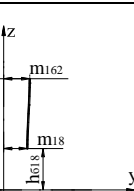
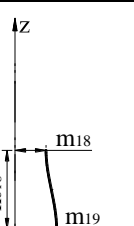
Продолжение таблицы 3.16

1	2	3
ФА9 Боковой контур верхней части торса $f_9(z)$	$y=f_{\cos}(z)$ $y_0 = r_{\text{поп15}}$ $z_0 = h_{\text{пв15}}$ $y_1 = r_{\text{поп18}}$ $z_1 = h_{\text{б18}}$	
ФА10 Соединительная кривая верхней и нижней частей торса $f_{10}(z)$	$y=f_{\text{parabola}}(z)$ $x_0 = r_{\text{поп18}}$ $z_0 = h_{\text{б18}}$ $\text{tg } \alpha_0 = 0$ $x_1 = r_{\text{поп18}} + \Delta r_{\text{поп18}}$ $z_1 = h_{\text{б18}} - \Delta h_{18}$ $\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \cdot \frac{r'_{\text{нзн17}} - r'_{\text{нзн16}}}{h_{\text{н17}} - h_{\text{н16}}}$	
ФА11 Боковой контур нижней части торса $f_{11}(z)$	$y=f_{\text{parabola}}(z)$ $x_0 = r_{\text{поп19}}$ $z_0 = h_{\text{б19}}$ $\text{tg } \alpha_0 = 0$ $x_1 = r_{\text{поп18}} + \Delta r_{\text{поп18}}$ $z_1 = h_{\text{б18}} - \Delta h_{18}$ $\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \cdot \frac{r_{\text{нон18}} + \Delta r_{\text{поп18}} - r_{\text{нон19}}}{h_{\text{б18}} - \Delta h_{\text{б18}} - h'_{\text{б19}}}$	
<i>Задний контур фигуры</i>		
ФА12 Верхняя часть позвоночного столба $f_{12}(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$ $x_0 = r_{\text{пзз160}}$ $z_0 = h_{\text{з16}}$ $\text{tg } \alpha_0 = 0$ $x_1 = r_{\text{пзз13}}$ $z_1 = h_{\text{з13}}$ $\text{tg } \alpha_1 = \text{tg } \alpha_{133}$	
ФА13 Нижняя часть позвоночного столба $f_{13}(z)$	$x=f_{\cos}(z)$ $x_0 = r_{\text{пзз160}}$ $z_0 = h_{\text{з16}}$ $x_1 = r_{\text{пзз18}}$ $z_1 = h_{\text{з18}}$	

Продолжение таблицы 3.16

1	2	3
ФА14 Задний контур нижней части торса $f_{14}(z)$	$x = f_{\cos}(z)$ $X_0 = r_{\text{ПЗ319}}$ $Z_0 = h_{319}$ $X_1 = r_{\text{ПЗ318}}$ $Z_1 = h_{318}$	
ФА15 Верхняя часть лопатки $f_{15}(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$ $X_0 = r_{\text{ПЗ313}}$ $Z_0 = h_{313}$ $\text{tg}\alpha_0 = \text{tg}\alpha_{133}$ $X_1 = r_{\text{ПЗ3161}}$ $Z_1 = h_{3161}$ $\text{tg}\alpha_1^{161} = 1,52 \cdot \frac{r_{\text{ПЗ3161}} - r_{\text{ПЗ316}}}{h_{3161} - h_{316}}$	
ФА16 Средняя часть лопатки $f_{16}(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$ $X_0 = r_{\text{ПЗ316}}$ $Z_0 = h_{316}$ $\text{tg}\alpha_0 = 0$ $X_1 = r_{\text{ПЗ3161}}$ $Z_1 = h_{3161}$ $\text{tg}\alpha_1^{161} = 1,52 \cdot \frac{r_{\text{ПЗ3161}} - r_{\text{ПЗ316}}}{h_{3161} - h_{316}}$	
ФА17 Нижняя часть лопатки $f_{17}(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$ $X_0 = r_{\text{ПЗ316}}$ $Z_0 = h_{316}$ $\text{tg}\alpha_0 = 0$ $X_1 = r_{\text{ПЗ3162}}$ $Z_1 = h_{3162}$ $\text{tg}\alpha_1^{17} = 2 \cdot \frac{r'_{\text{ПЗ317}} - r'_{\text{ПЗ316}}}{h_{\text{ПЗ317}} - h_{\text{ПЗ316}}}$	
<i>Дополнительные рельефные линии передней поверхности фигуры</i>		
ДР1 внутренняя верхняя часть грудной железы $f_{37}(z)$	$y = f_{\text{ellipse}}(z)$ $\Delta b = r_{\text{Пон16}'}$ $c = h_{\text{ПЗ14}} - h_{\text{ПЗ16}}$ $b = r_{\text{Пон16}'}$ $\Delta c = h_{\text{ПЗ16}}$	

Продолжение таблицы 3.16

1	2	3
ДР2 внутренняя нижняя часть грудной железы $f_{33}(z)$	$y = f_{\text{ellipse}}(z)$ $b = r_{\text{пон}16}'$ $c = h_{\text{п}17} - h_{\text{п}16}$ $\Delta b = r_{\text{пон}16}'$ $\Delta c = h_{\text{п}16}$	
ДР3 внешняя нижняя часть грудной железы $f_{36}(z)$	$y = f_{\text{ellipse}}(z)$ $b = r_{\text{пон}16}$ $c = h_{\text{п}17} - h_{\text{п}16}$ $\Delta b = r_{\text{пон}16} - r_{\text{пон}16}'$ $\Delta c = h_{\text{п}16}$	
<i>Дополнительные рельефные линии задней поверхности фигуры</i>		
ДР4 верхняя часть лопатки (вид сзади) $y_1^{11c}(z)$	$y = f_{\text{parabola}}(z)$ $y_1 = m_{161}$ $y_0 = 0$ $z_0 = h_{313}$ $z_1 = h_{3161}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 1,51 \frac{m_{161}}{h_{313} - h_{3161}}$	
ДР5 средняя часть лопатки (вид сзади) $y_1^{5c}(z)$	$y = f_{\text{parabola}}(z)$ $y_0 = m_{16}$ $y_1 = m_{161}$ $z_0 = h_{316}$ $z_1 = h_{3161}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	
ДР6 нижняя часть лопатки (вид сзади) $y_1^{3c}(z)$	$y = f_{\text{parabola}}(z)$ $y_0 = m_{16}$ $y_1 = m_{162}$ $z_0 = h_{316}$ $z_1 = h_{3162}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	
ДР7 продольная мышца спины $f_{m162-18}$	$x = f_{\text{line}}(z)$ $y_0 = m_{18}$ $y_1 = m_{162}$ $z_0 = h_{618}$ $z_1 = h_{3162}$	
ДР8 дополнительная рельефная линия нижней опорной поверхности $f_{m18-19}$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$ $y_0 = m_{18}$ $y_1 = m_{19}$ $z_0 = h_{618}$ $z_1 = 0$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	

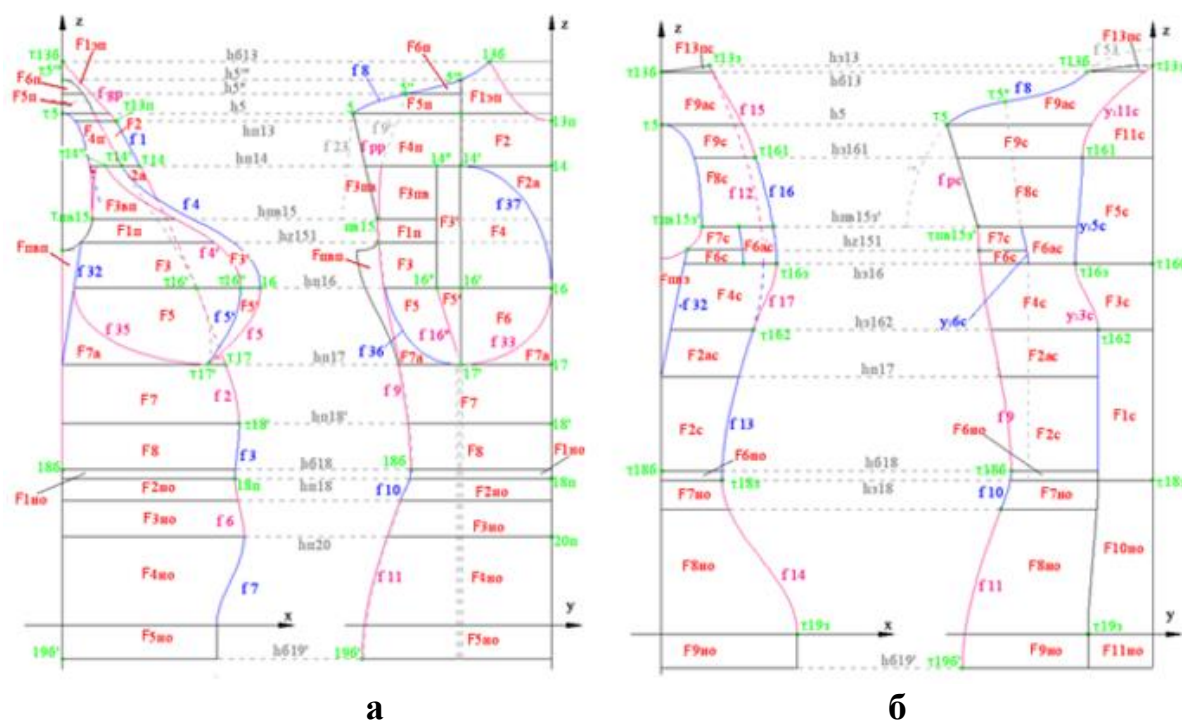
Для топографических фрагментов вертикальных рельефных линий ФА5, ФА11, ФА16 их конфигурация зависит от типа фигуры человека. Математические зависимости для направляющих этих фрагментов определены экспериментально (Приложение Е.2). Уравнения описания вертикальных рельефных линий являются параметрической моделью пространственной формы фигуры человека в виртуальной среде, основанной на установлении взаимосвязи между функциями поперечных сечений и функциями вертикальных рельефных линий фигуры человека в соответствии с выделенными топографическими зонами (Рисунок 3.19), где:

$T_i$  - основные и дополнительные информативные точки фигуры;

$h_i$  - высотные 3D параметры;

$f_i$  - основные и дополнительные функции вертикальных линий фигуры;

$F_i$  - функции фрагментов поверхности женской фигуры.



**Рисунок 3.19 – Визуализация поверхности женской фигуры по топографическим фрагментам: а) передняя поверхность; б) задняя поверхность**

В процессе разработки математической модели поверхности фигуры человека введены дополнительные параметры, в том числе дополнительные точки фигуры (Таблица 3.17), уравнения касательных (Таблица 3.18), функции математической модели (Таблица 3.19). Разработанная математическая модель пространственной формы фигуры человека представлена в табличной форме (Таблица 3.20).



**Таблица 3.17 – Дополнительные параметры математической модели поверхности фигуры человека**

Точки	Параметры (координаты)		
	По оси X	По оси Y	По оси Z
<i>Дополнительные параметры фигуры</i>			
5'''	0	$r_{\text{поп}5'''} = r_{\text{поп}16}'$	$h_{5'''} = f_8(r_{\text{поп}16}')$
5''	0	$r_{\text{поп}5''} = (r_{\text{поп}5'''} + r_{\text{поп}5})/2$	$h_{5''} = f_8((r_{\text{поп}16}' + r_{\text{поп}5})/2)$
14'	$r_{\text{пзп}14}' = F_2(r_{\text{поп}16}', h_{\text{п}14})$	$r_{\text{поп}16}'$	$h_{\text{п}14}$
14''	$r_{\text{пзп}14}'' = F_3(r_{\text{поп}16}'', h_{\text{п}14})$	$r_{\text{поп}16}''$	$h_{\text{п}14}$
16''	$r_{\text{пзп}16}'' = f_{\text{ellipse}}(r_{\text{пзп}16}, r_{\text{поп}16}, r_{\text{пзп}16} \cdot k_{\text{гр}}^*, r_{\text{поп}16}', r_{\text{поп}16}'')$	$r_{\text{поп}16}'' = (r_{\text{поп}16} + r_{\text{поп}16}')/2$	$h_{\text{п}16}$
16 <sub>доп</sub>	$r_{\text{пзп}14\text{доп}} = f_{32}(h_{\text{п}16})$	$f_9(h_{\text{п}16})$	$h_{\text{п}16}$
17'	$r_{\text{пзп}17}' = F_7(r_{\text{поп}16}')$	$r_{\text{поп}16}'$	$h_{\text{п}17}$
151			$f_{30}(r_{\text{пзп}15}/2)$
152			$f_{30}(r_{\text{пзп}15}/2)$
13		$r_{\text{поп}13}' = f_9(h_{\text{п}13})$	
14		$r_{\text{поп}14} = f_9(h_{\text{п}14})$	
16		$r_{\text{поп}16} = f_9(h_{\text{п}16})$	
16з		$r_{\text{поп}16з} = f_9(h_{з16})$	
17		$r_{\text{поп}17} = f_9(h_{\text{п}17})$	
28	$r_{\text{пзп}28}^{**}$	$r_{\text{поп}28} = r_{\text{поп}28}^{***} + f_{23}(h_{\text{пв}15\text{п}})$	$h_{\text{пв}15\text{п}}$
141	$x_{141} = F_{8c}'(y_{141}, h_{\text{пв}15з}')$	$y_{141} = (y_1^{5c}(h_{з16}) + r_{\text{поп}15з}')/2$	$h_{\text{пв}15з}' = h_{\text{пв}15з} + 0,6 \cdot r_{\text{пзп}15}$
142	$x_{142} = F_{4c}(y_{142}(h_{з16}) h_{з16})$	$y_{142} = m_{16} + r_{\text{поп}16з}/2$	$h_{з16}$
15з'	$r_{\text{пзп}15}$	$r_{\text{поп}15з}' = f_9(h_{\text{пв}15з}')$	$h_{\text{пв}15з}' = h_{\text{пв}15з} + 0,6 \cdot r_{\text{пзп}15}$

\* $k_{\text{гр}}$  – коэффициент полноты груди; для малых размеров  $k_{\text{гр}} = 1$ , для средних размеров  $k_{\text{гр}} = (1,5 \div 2,0)$

\*\* $r_{\text{пзп}28}$  – поперечный радиус руки

\*\*\* $r_{\text{поп}28}'$  – поперечный радиус руки

**Таблица 3.18 Дополнительные параметры касательных к поверхности фигуры**

Обозначение	Математическое описание	
	Функция в общем виде	Параметры
1	2	3
$\text{tga}_{11}^{13}$	$\text{tg } \alpha_{13}$	$-\frac{r_{\text{пзп}13} \cdot r_{\text{поп}16}'}{r_{\text{поп}13}' \cdot \sqrt{r_{\text{поп}13}^2 - r_{\text{поп}16}'^2}}$
$\text{tga}_{10}^{13}$	$\text{tg } \alpha_{13}$	$-\frac{r_{\text{пзп}13} \cdot r_{\text{поп}16}'}{r_{\text{поп}13}' \cdot \sqrt{r_{\text{поп}13}^2 - r_{\text{поп}16}'^2}}$
$\text{tg}_{141}$	$F_{8c}'(x, z)$	$(x_{141}, h_{\text{пв}15з}')$

Продолжение таблицы 3.18

1	2	3
$tg_{142}$	$F_{4c}'(x, z)$	$(x_{142}, h_{316})$
$tg_{15}^{3p}$	$x=f_{ellipse}'(y)$	$y_0=f_{23}(h_{п615})$ $y_1=r_{поп16}'$ $x_0=f_{24}(h_{п615})$ $x_1=f_4'(h_{п615})$ $tg_0=0$ $tg_1=f_{13}(f_4'(h_{п615}))$ $y=r_{поп15}$

**Таблица 3.19 – Дополнительные функции математической модели поверхности фигуры**

Функция	Математическое описание	
	Функция в общем виде	Параметры
1	2	3
<i>Дополнительные функции описания поверхности верхней части грудной клетки</i>		
1 $f_9'(z)$	$y=f_{line}(z)$	$y_0 = r_{поп14} = f_9(h_{п14})$ $z_0 = h_{п14}$ $y_1 = r_{поп5}'$ $z_1 = h_5'$
<i>Дополнительные функции описания поверхности верхней части грудной железы</i>		
$f_4'(z)$	$x = f_{parabola}(z)$	$x_0 = r_{пзп16}'$ $z_0 = h_{п16}$ $x_1 = r_{пзп14}'$ $z_1 = h_{п14}$ $tg\alpha_1 = \frac{r_{нзн13} - r_{нзн14}}{h_{п13} - h_{п14}}$ $tg\alpha_0 = 0$ – для округлой формы грудных желёз $tg\alpha_0 = k \cdot \frac{r_{нзн16} - r_{нзн14}}{h_{п16} - h_{п14}}$ – для конической формы грудных желёз
$f_{37}'(y)$	$z=f_{ellipse}(y)$	$\Delta y = r_{поп16}'$ $c = h_{п14} - h_{п16}$ $b = 0$ $\Delta z = h_{п16}$
$f_{38}(z)$	$x = F_i(y, z)$	$F_{7a}(f_{37}, z)$
<i>Дополнительные функции описания поверхности нижней части грудной железы</i>		
$f_5'(z)$	$x=f_{line}(z)$	$x_0 = r_{пзп14}'$ $z_0 = h_{п14}$ $x_1 = r_{пзп13}'$ $z_1 = h_{п13}$

Продолжение таблицы 3.19

1	2	3
$f_{\text{пoп16}}''(z)$	$y=f_{\text{line}}(z)$	$y_0 = r_{\text{пoп16}}''$ $y_1 = r_{\text{пoп16}}'$ $z_0 = h_{\text{п16}}$ $z_1 = h_{\text{п17}}$
$f_{33}'(y)$	$z=f_{\text{ellipse}}(y)$	$b = r_{\text{пoп16}}'$ $c = h_{\text{п17}} - h_{\text{п16}}$ $\Delta b = r_{\text{пoп16}}'$ $\Delta c = h_{\text{п16}}$
$f_{34}(z)$	$x = F_i(y, z)$	$F_{7a}(f_{33}, z)$
$f_{35}(z)$	$x=f_{\text{ellipse}}(z)$	$a = r_{\text{пзп16доп}} - r_{\text{пзп17}}'$ $\Delta a = r_{\text{пзп17}}'$ $c = h_{\text{п16}} - h_{\text{п17}}$ $\Delta c = h_{\text{п16}}$
$f_{35}'(x)$	$z=f_{\text{ellipse}}(x)$	$a = r_{\text{пзп16доп}} - r_{\text{пзп17}}'$ $\Delta a = r_{\text{пзп17}}'$ $c = h_{\text{п16}} - h_{\text{п17}}$ $\Delta c = h_{\text{п16}}$
$f_{36}'(z)$	$y = F_i(x, z)$	$F_{7a}(f_{35}, z)$
<i>Дополнительные функции описания поверхности руки</i>		
$f_{23}(z)$	$y = f_{\text{line}}(z)$	$y = r_{\text{non5}} - \text{tg } \varphi \cdot (z - h_5)$
$f_{24}(z)$	$x = f_{\text{line}}(z)$	$x = r_{\text{нзп28}}^* + \text{tg } \beta \cdot (z - h_5)$
$f_{24}'(z)$		
$f_{26}(z)$	$x=f_{\text{ellipse}}(z)$	$x = \text{tg } \beta \cdot (z - h_5) + \frac{r_{\text{нзп28}}^*}{r_{\text{non28}}^*} \cdot \sqrt{r_{\text{non28}}^*{}^2 - (z - h_5 + r_{\text{non28}}^*)^2}$
$f_{28}(z)$	$y = f_{\text{parabola}}(z)$	абрис руки
<i>Дополнительные функции описания поверхности спины</i>		
$y_1^{\text{бac}}(z)$	$y = f_{\text{parabola}}(z)$	$y_1 = y_{141}$ $y_0 = y_{142}$ $z_1 = h_{\text{пв153}}'$ $z_0 = h_{316}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$
$f_{4c}''(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$	$x_1 = x_{141}$ $x_0 = x_{142}$ $z_1 = h_{\text{пв153}}'$ $z_0 = h_{316}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = f'_{16}(h_{\text{пв153}}')$
$f_{53}(z)$		$y_1 = r_{\text{пoп13}}'$ $y_0 = -1/\text{tg}\alpha_{\text{ш.б}} \cdot (z - h_{613}) + r_{\text{пoп13}}'$ $z_1 = h_{613}$ $z_0 = h_{613}$

Продолжение таблицы 3.19

1	2	3
<i>Дополнительные функции описания боковой поверхности и подмышечной впадины</i>		
$f_{30}(z)$	$x=f_{\text{ellipse}}(z)$	$a = r_{\text{пзп15}}$ $c = h_{\text{пв15з}}$ $\Delta a = 0$ $\Delta c = h_{\text{пв15}}$
$f_{30}'(z)$	$z=f_{\text{ellipse}}(x)$	$a = r_{\text{пзп15}}$ $c = h_{\text{пв15з}}$ $\Delta a = 0$ $\Delta c = h_{\text{пв15}}$
$f_{31}'(z)$	$x=f_{\text{parabola}}(z)$	$x_0 = -r_{\text{пзз15}}$ $x_1 = -r_{\text{пзп15}}/2$ $z_0 = h_{\text{пв15з}}$ $z_1 = z_{151}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_0 = f'_{30}(z_{151})$
$f_{32}(z)$	$x=f_{\text{line}}(z)$	$x_0 = 0$ $x_1 = r_{\text{пзп15}}/2$ $z_0 = h_{\text{п17}}$ $z_1 = f_{30}(r_{\text{пзп15}}/2)$
<i>Дополнительные функции касательных</i>		
$f_{\text{tg13}}$	$\text{tg}_1 = f_{\text{tg}}(x_1)$	$\text{tg}_{10} = \text{tga}_{10}^{13}$ $\text{tg}_{11} = \text{tga}_{11}^{13}$ $x_{10} = r_{\text{пзп16}}$ $x_{11} = r_{\text{пзп14}}$
$f_{\text{tg13}}'$	$1/ f_{\text{tg13}}$	$\text{tg}_{10} = \text{tga}_{10}^{13}$ $\text{tg}_{11} = \text{tga}_{11}^{13}$ $x_{10} = r_{\text{пзп16}}$ $x_{11} = r_{\text{пзп14}}$
$\text{tg}_1^{6c}$	$\text{tg}_1 = f_{\text{tg}}(z)$	$z_{10} = h_{\text{пв15з}}$ $z_{11} = h_{316}$ $\text{tg}_{10} = \text{tg}_{141}$ $\text{tg}_{11} = \text{tg}_{142}$

Таблица 3.20 – Математическая модель поверхности фигуры человека

Обозначение функции описания фрагмента	Функция образующей	Переменные направляющие	Условия
1	2	3	4
F1эп (верхняя часть)	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_1$ $b = f_8$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [F_{1\text{эп}}(r_{\text{пвп16}}); f_{\text{gp}}]$ $y \in [-f_8; -F_{1\text{эп}}(f_{\text{gp}})] \cup [F_{1\text{эп}}(f_{\text{gp}}); f_8]$ $z \in [h_5'''; h_{613}]$
F1эп (нижняя часть)	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_1$ $b = f_8$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; f_{\text{gp}}]$ $y \in [-r_{\text{пвп16}}; -F_{1\text{эп}}(f_{\text{gp}})] \cup [F_{1\text{эп}}(f_{\text{gp}}); r_{\text{пвп16}}]$ $z \in [h_5'''; h_5''']$

Продолжение таблицы 3.20

1	2	3	4
F2 (верхняя часть)	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_1$ $b = f_9'$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [F_2(r_{\text{non16}}'); f_{\text{gp}}]$ $y \in [-r_{\text{non16}}'; -F_2(f_{\text{gp}})] \cup [F_2(f_{\text{gp}}); r_{\text{non16}}']$ $z \in [h_{\text{n13}}; h_5']$
F2 (нижняя часть)	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_1$ $b = f_9'$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [F_2(r_{\text{non16}}'); f_1]$ $y \in [-r_{\text{non16}}'; r_{\text{non16}}']$ $z \in [h_{\text{n14}}; h_{\text{n13}}]$
F2a	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_2$ $b = f_9$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [f_{38}; f_2]$ $y \in [-f_{37}; f_{37}]$ $z \in [\pm f_{37}'; h_{\text{n14}}]$
F3	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$y_1 = r_{\text{non16}}''$ $y_0 = f_9$ $x_0 = f_{32}$ $x_1 = f_4'$ $tg_0 = 0$ $tg_1 = f_{\text{tg13}}$	$x \in [f_{32}; f_4]$ $y \in [-f_9; -r_{\text{non16}}''] \cup [r_{\text{non16}}''; f_9]$ $z \in [h_{\text{n16}}; z_{151}]$
F3'	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$x_0 = f_4; x_1 = f_4'$ $y_0 = r_{\text{non16}}'$ $y_1 = r_{\text{non16}}''$ $tg_0 = f_{\text{tg12}}'$ $tg_1 = f_{\text{tg13}}'$	$x \in [f_4'; f_4]$ $y \in [-r_{\text{non16}}''; -r_{\text{non16}}'] \cup [r_{\text{non16}}'; r_{\text{non16}}'']$ $z \in [h_{\text{n16}}; h_{\text{n14}}]$
F4	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$x_0 = f_{38}; x_1 = f_4$ $y_0 = f_{37}$ $y_1 = r_{\text{non16}}$ $tg \alpha_1 = f_{\text{tg12}}$ $tg \alpha_0 = tg_0(y_0)$ $y_{00} = r_{\text{non16}}'', y_{01} = 0$ $tg \alpha_{00} = F_2'(r_{\text{non16}}'; h_{\text{n14}})$ $tg \alpha_{01} = \frac{r_{\text{non16}} - r_{\text{non16}}'}{r_{\text{non16}}'} \cdot 1,52$	$x \in [f_{38}; f_4]$ $y \in [-r_{\text{non16}}'; -f_{37}] \cup [f_{37}; r_{\text{non16}}']$ $z \in [h_{\text{n16}}; f_{37}']$
<b>ТЗ 3 – Нижняя часть грудной железы</b>			
F5	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$x_0 = f_{35}$ $x_1 = f_5'$ $y_1 = f_{\text{non16}}''$ $y_0 = f_{36}$ $tg_0 = 0$ $tg_1 = f_{\text{tan13}}$	$x \in [f_{35}; f_5']$ $y \in [-f_{36}; -f_{\text{non16}}''] \cup [f_{\text{non16}}''; f_{36}]$ $z \in [f_{35}'; h_{\text{n16}}]$
F5'	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$y_1 = f_{\text{non16}}''$ $y_0 = r_{\text{non16}}$ $x_1 = f_5$ $x_0 = f_5$ $tg \alpha_1 = f_{\text{tan13}}$ $tg \alpha_0 = f_{\text{tan12}}$	$x \in [f_5'; f_5]$ $y \in [-f_{\text{non16}}''; -r_{\text{non16}}'] \cup [r_{\text{non16}}'; f_{\text{non16}}'']$ $z \in [h_{\text{n17}}; h_{\text{n16}}]$

Продолжение таблицы 3.20

1	2	3	4
F6	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$y_0 = f_{33}$ $y_1 = r'_{non16}$ $x_0 = f_{34}$ $x_1 = f_5$ $tg \alpha_1 = f_{tg15}$ $tg \alpha_0 =$ $\frac{r_{n3n16} - r'_{n3n16}}{r_{non16}} * 1.52$	$x \in [f_{34}; f_5]$ $y \in [-r'_{non16}; -f_{33}]$ $\cup [f_{33}; r'_{non16}]$ $z \in [f_{33}'; h_{n16}]$
F7a (центральная часть)	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_2$ $b = f_9$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [f_{34}; f_2]$ $y \in [-f_{33}; f_{33}]$ $z \in [h_{n17}; \pm f_{33}]$
F7a (боковая часть)	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_2$ $b = f_9$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [f_{32}; f_{36}]$ $y \in [-f_9; -f_{35}] \cup [f_{35}; f_9]$ $z \in [h_{n17}; \pm f_{35}]$
F7	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_2$ $b = f_9'$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; f_2]$ $y \in [-f_9; f_9]$ $z \in [h_{n18}'; h_{n17}]$
F8	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_3$ $b = f_9$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; f_3]$ $y \in [-f_9; f_9]$ $z \in [h_{\delta 18}; h_{n18}']$
<i>ТЗ 5 – Передняя часть нижней опорной поверхности</i>			
F1НО	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_3$ $b = f_{10}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; f_3]$ $y \in [-f_{10}; f_{10}]$ $z \in [h_{n18}; h_{\delta 18}]$
F2НО	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_6$ $b = f_{10}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; f_6]$ $y \in [-f_{10}; f_{10}]$ $z \in [(h_{\delta 18} - k_e); h_{n18}]$
F3НО	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_6$ $b = f_{11}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; f_6]$ $y \in [-f_{11}; f_{11}]$ $z \in [h_{n20}; (h_{\delta 18} - k_e)]$
F4НО	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_7$ $b = f_{11}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; f_7]$ $y \in [-f_{11}; f_{11}]$ $z \in [0; h_{n20}]$
F5НО	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = r_{n3n19}$ $b = f_{11}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; r_{n3n19}]$ $y \in [-f_{11}; f_{11}]$ $z \in [-h_{\delta 19}'; 0]$

Продолжение таблицы 3.20

1	2	3	4
F5п	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = 0$ $x_1 = F_{1\text{эн}}(r_{\text{пон}16'}, z)$ $y_0 = f_8$ $y_1 = r_{\text{пон}16}'$ $\text{tg } \alpha_0 = \text{tg}0(y_0)$ $y_{00} = r_{\text{пон}5}', y_{01} = r_{\text{пон}5}'$ , $\text{tg}_{00} = 0, \text{tg}_{01} = -1$ $\text{tg } \alpha_1 = \text{tg}1(z)$ $z_{10} = h_5', z_{11} = h_5''$ $\text{tg}_{10} = \text{tg}_{10}^{5\text{п}} =$ $F'_{1\text{эн}}(r_{\text{пон}16}', h_5')$ $\text{tg}_{11} = F'_{1\text{эн}}(r_{\text{пон}16}', h_5'')$	$x \in [0; f_{62}]$ $y \in [-f_8; -r_{\text{пон}16}'] \cup$ $[r_{\text{пон}16}'; f_8]$ $z \in [h_5; h_5'']$
F6п	$y = F_{\text{parabola}}(x, z)$	$x_1 = 0$ $x_0 = F_{2\text{эн}}(r_{\text{пон}16'}, z)$ $y_1 = f_8$ $y_0 = r_{\text{пон}16}'$ $\text{tg } \alpha_0 = \text{tg}0(x_0)$ $x_{00} = 0, x_{01} = F_{1\text{эн}}$ $(r_{\text{пон}16}'; h_5'')$ $\text{tg}_{00} = 0, \text{tg}_{01} = 1/\text{tg}_{10}^{5\text{п}}$ $\text{tg } \alpha_1 = \text{tg}1(y_1)$ $y_{10} = r_{\text{пон}16}', y_{11} =$ $r_{\text{пон}5}''$ $\text{tg}_{10} = 0, \text{tg}_{11} = -1$	$x \in [0; f_{60}]$ $y \in [-f_8; -r_{\text{пон}16}'] \cup$ $[r_{\text{пон}16}'; f_8]$ $z \in [h_5''; h_5''']$
<i>T3 7 – Передняя область сопряжения тела с рукой</i>			
F4п	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = f_{26}$ $x_1 = F_2(r_{\text{пон}16}')$ $y_0 = f_{23}$ $y_1 = r_{\text{пон}16}'$ $\text{tg } \alpha_0 = 0$ $\text{tg } \alpha_1 = \text{tg } \alpha_1^{3-4\text{п}}$	$x \in [f_{26}; F_2(r_{\text{пон}16}')] ]$ $y \in [-f_{23}; -r_{\text{пон}16}'] \cup [r_{\text{пон}16}'; f_{23}]$ $z \in [h_{\text{п}14}; h_5]$
F3па	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = f_{24}$ $x_1 = f_4'$ $y_0 = f_{23}$ $y_1 = r_{\text{пон}16}'$ , $\text{tg}0=0$ $\text{tg}1 = f_{\text{tg}13}$	$x \in [f_{24}; f_4']$ $y \in [-f_{23}; -f_9] \cup [f_9; f_{23}]$ $z \in [h_{\text{пв}15\text{п}}; h_{\text{п}14}]$
F3пб	$y = F_{\text{parabola}}(x, z)$	$x_0 = f_{24}'$ $x_1 = f_4'$ $y_0 = f_9$ $y_1 = r_{\text{пон}16}''$ $\text{tg}1 = 1/f_{\text{tg}13}$ $\text{tg}0 = 1/\text{tg}0(x_0)$ $x_{00} = r_{\text{пзп}15}, x_{01} =$ $r_{\text{пзп}14}''''$ $\text{tg}_{00} = \text{tg}_{15}^{3\text{п}}, \text{tg}_{01} = \text{tg}_{14}''''$	$x \in [f_{24}; f_4']$ $y \in [-f_9; -r_{\text{пон}16}'''] \cup [r_{\text{пон}16}''; f_9]$ $z \in [h_{\text{пв}15\text{п}}; h_{\text{п}14}]$

Продолжение таблицы 3.20

1	2	3	4
F1π	$y = F_{\text{parabola}}(x, z)$	$x_0 = f_{30}'$ $x_1 = f_4'$ $y_0 = f_9$ $y_1 = r_{\text{non}16}''$ $\text{tg}_1 = 1/f_{13}$ $\text{tg}_0 = \text{tg}_0(z)$ $z_{00} = z_{151}, z_{01} = h_{\text{нв}15\pi}$ $\text{tg}_{00} = 0, \text{tg}_{01} = 1/\text{tg}_{15}^{3p}$	$x \in [f_{30}'; f_4']$ $y \in [-f_9; -r_{\text{non}16}'''] \cup [r_{\text{non}16}'''; f_9]$ $z \in [z_{151}; h_{\text{нв}15\pi}]$
F11c	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = f_{12}$ $x_1 = f_{15}$ $y_0 = 0$ $y_1 = y_1^{11c}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	$x \in [f_{12}; f_{15}]$ $y \in [-y_1^{11c}; y_1^{11c}]$ $z \in [h_{3161}; h_{313}]$
F5c	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = f_{12}$ $x_1 = f_{16}$ $y_0 = 0$ $y_1 = y_1^{5c}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	$x \in [f_{12}; f_{16}]$ $y \in [-y_1^{5c}; y_1^{5c}]$ $z \in [h_{316}; h_{3161}]$
F3c	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = f_{13}$ $x_1 = f_{17}$ $y_0 = 0$ $y_1 = y_1^{3c}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	$x \in [f_{12}; f_{17}]$ $y \in [-y_1^{3c}; y_1^{3c}]$ $z \in [h_{3162}; h_{316}]$
F1c	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = f_{13}$ $x_1 = f_{13}$ $y_0 = 0$ $y_1 = m_{18}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	$x \in [f_{13}]$ $y \in [-m_{18}; m_{18}]$ $z \in [h_{318}; h_{3162}]$
F10но	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = f_{14}$ $x_1 = f_{14}$ $y_0 = 0$ $y_1 = f_{m18-19}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	$x \in [f_{14}]$ $y \in [-f_{m18-19}; f_{m18-19}]$ $z \in [0; h_{318}]$
F11но	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$x_0 = -r_{\text{пз}319}$ $x_1 = -r_{\text{пз}319}$ $y_0 = 0$ $y_1 = m_{19}$ $\text{tg}_0 = 0$ $\text{tg}_1 = 0$	$x \in [-r_{\text{пз}319}]$ $y \in [-m_{19}; m_{19}]$ $z \in [h_{0u}; 0]$



Продолжение таблицы 3.20

1	2	3	4
<i>ТЗ 11 – Боковая часть нижней опорной поверхности сзади</i>			
F6но	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{13}$ $b = f_{10}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = f_{m18-19}$	$x \in [f_{13}; 0]$ $y \in [-f_{10}; -f_{m18-19}] \cup [f_{m18-19}; f_{10}]$ $z \in [h_{318}; h_{\delta 18}]$
F7но	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{14}$ $b = f_{10}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = f_{m18-19}$	$x \in [f_{14}; 0]$ $y \in [-f_{10}; -f_{m18-19}] \cup [f_{m18-19}; f_{10}]$ $z \in [(h_{\delta 18} - k_6); h_{318}]$
F8но	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{14}$ $b = f_{11}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = f_{m18-19}$	$x \in [f_{14}; 0]$ $y \in [-f_{11}; -f_{m18-19}] \cup [f_{m18-19}; f_{11}]$ $z \in [0; (h_{\delta 18} - k_6)]$
F9но	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = r_{пзз19}$ $b = f_{11}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = m_{19}$	$x \in [-r_{пзз19}; 0]$ $y \in [-f_{11}; -m_{19}] \cup [m_{19}; f_{11}]$ $z \in [-h_{\delta 19}'; 0]$
F13пс	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{15}$ $b = f_{53}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = y_1^{11c}$	$x \in [f_{gs}; 0]$ $y \in [-F_{13nc}(f_{gs}); -y_1^{11c}] \cup [y_1^{11c}; F_{13nc}(f_{gs})]$ $z \in [h_{\delta 13}; h_{313}]$
F9ac	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{15}$ $b = f_8$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = y_1^{11c}$	$x \in [f_{15}; 0]$ $y \in [-f_8; -y_1^{11c}] \cup [y_1^{11c}; f_8]$ $z \in [h_5; h_{\delta 13}]$
F9с	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{15}$ $b = f_{28}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = y_1^{11c}$	$x \in [f_{15}; F_{9c}(f_{pc})]$ $y \in [-f_{pc}; -y_1^{11c}] \cup [y_1^{11c}; f_{pc}]$ $z \in [h_{3161}; h_5]$
F8с	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{16}$ $b = f_{28}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = y_1^{5c}$	$x \in [f_{16}; F_{8c}(f_{pc})]$ $y \in [-f_{pc}; -y_1^{5c}] \cup [y_1^{5c}; f_{pc}]$ $z \in [h_{n\delta 153}'; h_{3161}]$
F7с	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$x_0=f_{31}'$ $x_1=f_{4c}''$ $y_0=f_9$ $y_1=y_1^{6ac}$ $tg_1=tg_1^{6c}$ $tg_0=tg_0(z)$ $z_{00}=z_{151}, z_{01}=h_{pb15z}'$ $tg_{00}=0, tg_{01}=tg_{8bcb}$	$x \in [f_{4c}''; f_{31}']$ $y \in [-f_9; -y_1^{6ac}] \cup [y_1^{6ac}; f_9]$ $z \in [z_{151}; h_{n\delta 153}']$
F6с	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$x_0=-f_{32}$ $x_1=f_{4c}''$ $y_0=f_9$ $y_1=y_1^{6ac}$ $tg_0=0$ $tg_1=tg_1^{6c}$	$x \in [f_{4c}''; -f_{32}]$ $y \in [-f_9; -y_1^{6ac}] \cup [y_1^{6ac}; f_9]$ $z \in [h_{316}; z_{151}]$

Продолжение таблицы 3.20

1	2	3	4
F6ac	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$x_0=f_{4c}$ $x_1=f_{4c}''$ $y_0=y_1^{5c}$ $y_1=y_1^{6ac}$ $tg_0=0$ $tg_1=1/tg_1^{6c}$	$x \in [f_{4c}; f_{4c}'' ]$ $y \in [-y_1^{6ac}; -y_1^{5c}] \cup [y_1^{5c}; y_1^{6ac}]$ $z \in [h_{316}; h_{n6153}]$
<i>ТЗ 14 – Боковая часть спины</i>			
F4c	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{17}$ $b = f_9$ $\Delta a = -f_{32}$ $\Delta b = y_1^{3c}$	$x \in [f_{17}; -f_{32}]$ $y \in [-f_9; -y_1^{3c}] \cup [y_1^{3c}; f_9]$ $z \in [h_{3162}; h_{316}]$
F2ac	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{13}$ $b = f_9$ $\Delta a = -f_{32}$ $\Delta b = m_{18}$	$x \in [f_{13}; -f_{32}]$ $y \in [-f_9; -m_{18}] \cup [m_{18}; f_9]$ $z \in [h_{n17}; h_{3162}]$
F2c	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = f_{13}$ $b = f_9$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = m_{18}$	$x \in [f_{13}; -f_{32}]$ $y \in [-f_9; -m_{18}] \cup [m_{18}; f_9]$ $z \in [h_{318}; h_{n17}]$
<i>ТЗ 15 – Боковая часть торса</i>			
FПВЗ	$y=F_{\text{parabola}}(z)$	$y=f_9$	$x \in [-f_{32}; f_{32}]$ $y \in [-f_9] \cup [f_9]$ $z \in [h_{n17}; z_{151}]$

Совокупность полученной информации представляет собой параметрическую модель поверхности фигуры человека любого телосложения. Использование разработанной параметрической модели внешней формы фигуры человека в процессе виртуального проектирования позволяет в интерактивном режиме задавать характеристики и размеры внешней формы фигуры и визуализировать её трехмерный цифровой образ, обеспечивая интеграцию информации между объектом проектирования и потребителем проектируемого изделия.

### ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Разработана иерархическая структура информационных потоков, обеспечивающих цифровое описание проектируемого изделия в процессе его преобразования от формирования технического задания до создания технического решения и изготовления, обеспечивая формализацию процесса виртуального проектирования одежды с этапа

ввода исходной информации до этапа формирования полного цифрового пакета документов для изготовления изделия.

2. Предложена пятиуровневая система описания внешнего вида модели одежды, позволяющая формализовать процесс визуального восприятия изделия и получать формализованную параметрическую информацию для построения конструкции изделия с помощью интеллектуальных инструментов.

3. Разработан инструментарий для распознавания структурных характеристик изделия в виде набора базовых графических элементов, отображающих структурную характеристику изделия, особенности геометрической формы и способ формообразования и позволяющих получать практически неограниченное количество вариантов графического решения проектируемых моделей одежды без увеличения времени проектирования конструкции.

4. Разработан инструмент распознавания параметрических характеристик художественного и технического эскизов одежды, включающий эталонную масштабную сетку и систему коэффициентов преобразования значений проекционных зазоров между поверхностями фигуры человека и изделия в конструктивные параметры и обеспечивающий возможность определения рекомендуемых значений конструктивных прибавок на свободу облегания одежды для построения её конструкции.

5. Разработан алгоритм распознавания технического эскиза, направленный на преобразование информации, заданной в творческом виде, в формализованную параметрическую информацию для построения конструкции и реализованный в программном модуле «Распознавание художественного эскиза модели одежды».

6. Систематизирована исходная антропометрическая информация для 3D параметризации данных о пространственном расположении информативных точек фигуры, рассчитываемых на основе значений размерных признаков.

7. Установлена однородность геометрии поперечных и вертикальных сечений для фигур различного телосложения и пола, за исключением сечения на уровне сосковой точки, определены способ и средства их математического описания.

8. Разработана интерактивная параметрическая модель описания поверхности женских и мужских фигур, позволяющая редактировать размерные признаки в широком диапазоне, задавать характеристики фигуры потребителя и визуализировать её внешнюю форму.

## 4 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ТРЕХМЕРНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ И ЕЁ ДВУХМЕРНОЙ РАЗВЁРТКИ

Средством визуализации проектируемой одежды является её трехмерная виртуальная модель, использование которой в процессе проектирования позволяет наглядно отобразить дизайн изделия и его элементов, оценить пропорции образца и соотношения размеров его деталей между собой и в общей массе изделия. Интеллектуализация виртуального проектирования подразумевает возможность не только визуального восприятия внешней формы изделия, но и получения объективной параметрической информации об объекте. Процесс разработки метода трехмерного параметрического проектирования внешней формы одежды (Рисунок 4.1) включал следующие этапы:

- разработку математической модели пространственной формы изделия;
- разработку способа проектирования формообразующих элементов;
- разработку способа проектирования разверток.



**Рисунок 4.1 – Схема метода трёхмерного проектирования швейных изделий**

#### 4.1 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ЖЕНСКОЙ ПЛЕЧЕВОЙ ОДЕЖДЫ

Параметрическое проектирование внешней формы одежды основано на исходной информации о форме поверхности тела человека и информации о расположении изделия в пространстве относительно его фигуры с учетом свойств материалов. В соответствии с теорией конструирования выделяют базовые и модельные конструкции. Базовые конструкции используют для проектирования внешней формы изделия, подобной форме фигуры человека и варьируемой в зависимости от значений заданных конструктивных прибавок. Изделие, приближенное по форме к фигуре человека, с типовым положением элементов формообразования названо базовой формой (БФ). Модельная форма одежды (МФ) может как существенно отличаться от фигуры человека, так и быть ей подобной. В качестве *основного принципа параметрического проектирования внешней формы одежды* определено обеспечение возможности создавать и регулировать параметры поверхности изделия с помощью параметров размерных признаков фигуры и величин пространственных зазоров между поверхностями тела человека и проектируемой одежды.

##### **Параметрическая информация о пространственной форме плечевого изделия**

Аналогично параметрической модели фигуры человека параметрическая модель пространственной формы одежды включает информацию о параметрах 3D поверхности изделия и особенностях ее геометрической формы. В системе параметров 3D внешней формы изделия каждой информативной точке фигуры поставлена в соответствие информативная точка-след базовой формы изделия (Рисунок 4.2, Приложение Ж, Таблица Ж.1).

Расстояние между соответствующими информативными точками фигуры и изделия составляет *величину проекционного зазора* ( $p_i$ ). Информативная точка изделия может иметь смещение относительно информативной точки фигуры по любой координатной оси (Таблица 4.1). В зависимости от вида изделия, силуэта, формы, модельных особенностей информативные точки изделия несут определенную информационную нагрузку.

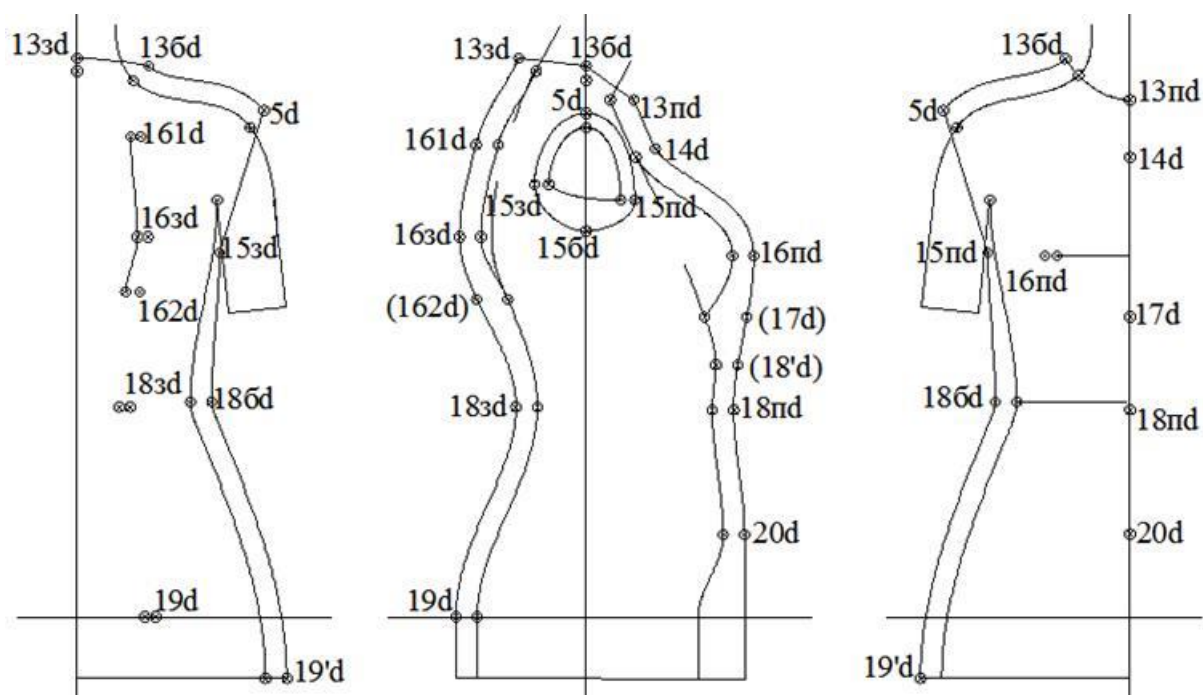


Рисунок 4.2 – Информативные точки женского плечевого изделия

Таблица 4.1 – Расчет параметров 3D базовой формы плечевого изделия

Обозначение параметров	Описание параметров 3D поверхностей изделия и фигуры
$R_{пzi} = r_{пzi} + p_{пzi}$	
$R_{пzi}$	параметр поверхности изделия по оси X
$r_{пzi}$	параметр поверхности фигуры по оси X
$p_{пzi}$	проекционный зазор между информативными точками изделия и фигуры по оси X
$R_{пoi} = r_{пoi} + p_{пoi}$	
$R_{пoi}$	параметр поверхности изделия по оси Y
$r_{пoi}$	параметр поверхности фигуры по оси Y
$p_{пoi}$	проекционный зазор между информативными точками изделия и фигуры по оси Y
$M_i = m_i + p_{mi}$	
$M_i$	дополнительный параметр поверхности изделия по оси Y
$m_i$	дополнительный параметр поверхности фигуры по оси Y
$p_{mi}$	проекционный зазор между информативными точками изделия и фигуры по оси Y
$H_i = h_i + p_{hi}$	
$H_i$	высота информативной точки поверхности изделия (по оси Z)
$h_i$	высота информативной точки поверхности фигуры по оси Z
$p_{hi}$	отклонение высоты информативной точки изделия от соответствующей высоты точки фигуры

## Методика преобразования конструктивных прибавок в проекционные зазоры

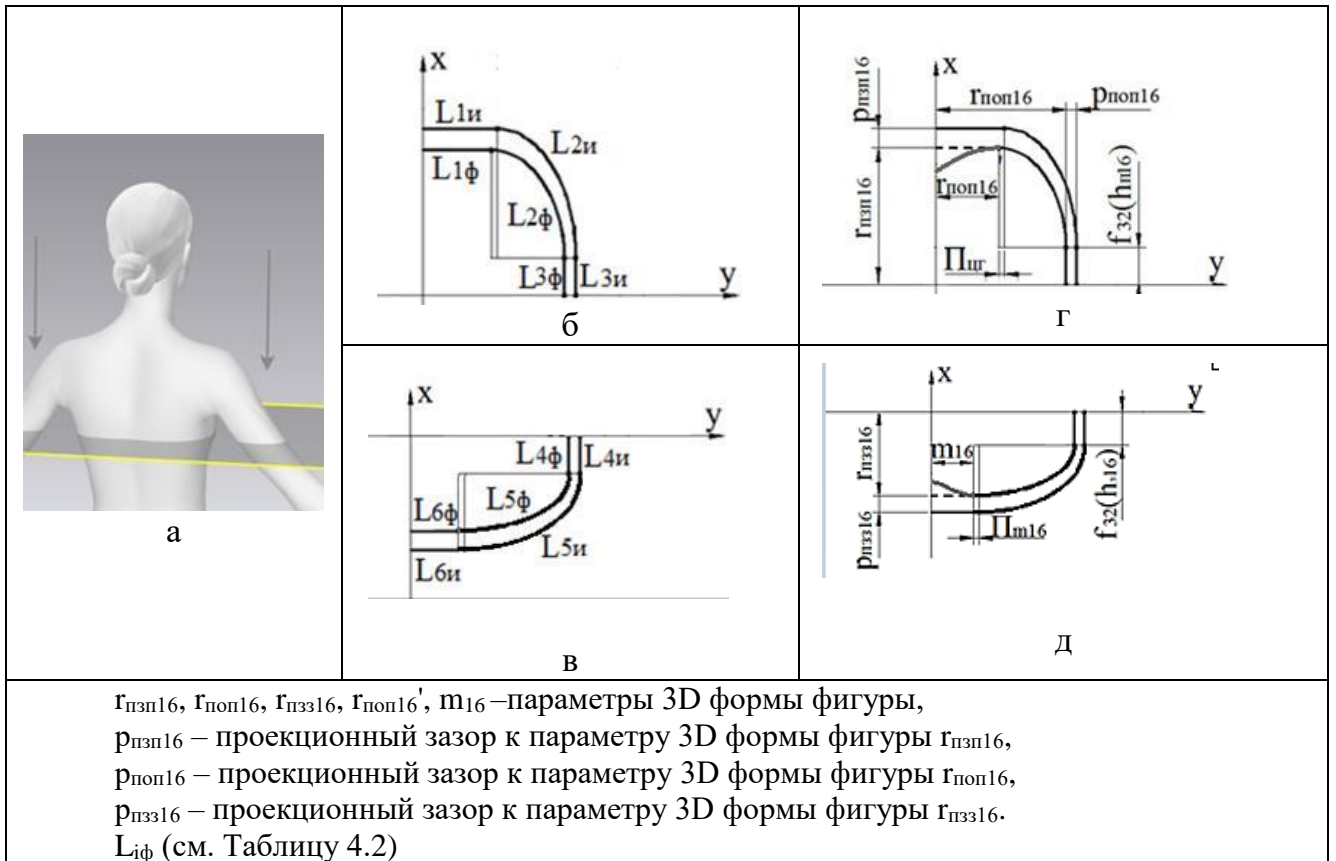
Для преобразования конструктивных прибавок на свободу облегания в проекционные зазоры между поверхностями фигуры человека и одежды использована теория аналитической геометрии, проведено изучение информации о распределении прибавок по конструктивным участкам основных горизонтальных уровней фигуры человека и разработана математическая модель преобразования конструктивных прибавок в проекционные зазоры. Для разработки методики преобразования конструктивных прибавок в проекционные зазоры выполнены следующие этапы исследования:

- изучение конструктивных решений плечевых изделий, в расчете конструктивных параметров которых используются значения конструктивных прибавок;
- анализ параметров, определяющих значения конструктивных прибавок;
- исследование геометрии абриса сечений, для расчёта параметров которых используются значения конструктивных прибавок;
- разработка математической модели преобразования конструктивных прибавок на свободу облегания в проекционные зазоры.

В качестве примера далее приведен расчёт параметров изделия по линии обхвата груди третьего (ОГЗ) с учетом последовательного преобразования конструктивных прибавок на заданном уровне в проекционные зазоры. Величина *конструктивной прибавки к обхвату груди третьему (ПгЗ)* включает в себя отдельные прибавки к конструктивным участкам по линии обхвата груди, в том числе прибавок к ширинам спинки (*Пшс*), проймы (*Пшпр*) и переда (*Пшп*), а также к расстояниям между центрами груди (*Пцг*) и центрами лопаток (*Пт1б*).

При исследовании геометрии поперечных сечений изделия установлено, что:

- Линия сечения фигуры на уровне ОГЗ включает прямые участки L1ф, L3ф, L4ф, L6ф и фрагменты эллипсов L2ф, L5ф (Рисунок 4.3, а, Таблица 4.2).
- Линия сечения базовой формы изделия  $L_{1и} - L_{2и} - L_{3и} - L_{4и} - L_{5и} - L_{6и}$  на том же уровне имеет геометрию, подобную ОГЗ (см. Рисунок 4.3, б, Таблица 4.2).



**Рисунок 4.3 - Сечения фигуры и надетого изделия: а) уровень сечения; б) абрисы спереди; в) абрисы сзади; г) параметры сечений спереди; г) параметры сечений сзади**

Для разработки математической модели преобразования конструктивных прибавок в проекционные зазоры установлена математическая взаимосвязь параметров поперечных сечений как для передней, так и для задней части поверхности фигуры и надетого на неё изделия согласно традиционному подразделению конструкций плечевых изделий на перед и спинку.

При исследовании сечений передней части фигуры и одежды учитывалось, что:

- длина линии сечения передней части фигуры равна сумме  $L_{1ф}$ ,  $L_{2ф}$ ,  $L_{3ф}$ ;
- прибавка к длине абриса передней части фигуры равна  $\text{Пшп} + 0,4 \cdot \text{Пшпр}$ , где  $\text{Пшп}$  - прибавка к ширине переда, а  $\text{Пшпр}$  - прибавка к ширине проймы;
- длина линии сечения передней части изделия равна сумме  $L_{1и}$ ,  $L_{2и}$ ,  $L_{3и}$ , при этом  $L_{1ф} + L_{2ф} + L_{3ф} + \text{Пшп} + 0,4 \cdot \text{Пшпр} = L_{1и} + L_{2и} + L_{3и}$

Взаимосвязь параметров передней части фигуры человека и надетого на неё изделия на уровне обхвата груди третьего (ОГЗ) описана ниже:

$$\begin{aligned}
 & f_{el}((r_{пзп16} - f_{32}(h_{п16})); (r_{поп16} - \Gamma_{поп16}')) + \text{Пшп} + 0,4 \cdot \text{Пшпр} = \\
 & = f_{el}((r_{пзп16} - f_{32}(h_{п16}) + r_{пзп16}); (r_{поп16} - \Gamma_{поп16}' + r_{поп16}))
 \end{aligned} \quad (4.1)$$



**Таблица 4.2 – Параметрическая взаимосвязь между соответствующими фрагментами поперечных сечений изделия и фигуры человека**

Фрагмент сечения фигуры $L_{iф}$			Обозначение фрагмента сечения изделия $L_{ii}$	Параметрическая взаимосвязь между $L_{ii}$ и $L_{iф}$
Описание	Обозначение	Способ расчета		
от оси симметрии фигуры до сосковой точки	$L_{1ф}$	$L_{1ф} = r_{поп16}'$	$L_{1и}$	$L_{1и} = r_{поп16}' + П_{цг}$
от сосковой точки до точки, соответствующей переднему углу подмышечной впадины	$L_{2ф}$	$L_{2ф} = *f_{el} ((r_{пзп16} - f_{32}(h_{п16})); (r_{поп16} - r_{поп16}'))$	$L_{2и}$	$L_{2и} = f_{el} ((r_{пзп16} - f_{32}(h_{п16}) + p_{пзп16}); (r_{поп16} - r_{поп16}' + p_{поп16} - П_{цг}))$
от точки, соответствующей переднему углу подмышечной впадины, до условной линии членения фигуры на переднюю и заднюю части	$L_{3ф}$	$L_{3ф} = f_{32}(h_{п16})$	$L_{3и}$	$L_{3и} = L_{3ф} = f_{32}(h_{п16})$
от условной линии членения фигуры на переднюю и заднюю части до точки, соответствующей заднему углу подмышечной впадины	$L_{4ф}$	$L_{4ф} = f_{32}(h_{з16})$	$L_{4и}$	$L_{4и} = L_{4ф} = f_{32}(h_{з16})$
от точки, соответствующей точке заднему углу подмышечной впадины, до точки, соответствующей лопаточной точке	$L_{5ф}$	$L_{5ф} = f_{el} ((r_{пзз16} - f_{32}(h_{з16})); (r_{поп16} - m_{16}))$	$L_{5и}$	$L_{5и} = f_{el} ((r_{пзз16} - f_{32}(h_{з16}) + p_{пзз16}); (r_{поп16} - m_{16} + p_{поп16} - П_{м16}))$
от точки, соответствующей лопаточной точке, до оси симметрии фигуры	$L_{6ф}$	$L_{6ф} = m_{16}$	$L_{6и}$	$L_{6и} = L_{6ф} + П_{м16}$

\* $f_{el}$  – функция эллиптического интеграла

При исследовании сечений задней части фигуры и соответствующей ей одежды учитывалось, что:

- длина линии сечения задней части фигуры равна сумме  $L_{4ф}$ ,  $L_{5ф}$ ,  $L_{6ф}$ ;
- при традиционном проектировании прибавка к этому участку равна  $П_{шс} + 0,6 * П_{шпр}$ , где  $П_{шс}$  - прибавка к ширине спины,  $П_{шпр}$  - прибавка к ширине проймы;
- длина линии сечения задней части изделия равна сумме  $L_{4и}$ ,  $L_{5и}$ ,  $L_{6и}$ , при этом  $L_{4ф} + L_{5ф} + L_{6ф} + П_{шс} + 0,6 * П_{шпр} = L_{4и} + L_{5и} + L_{6и}$

Взаимосвязь параметров задней части фигуры человека и соответствующего ей изделия на уровне обхвата груди третьего (ОГЗ) показана ниже:

$$f_{el} ((r_{пзз16} - f_{32}(h_{з16})); (r_{поп16} - m_{16})) + П_{шс} + 0,6 * П_{ш.пр} - П_{м16} = f_{el} ((r_{пзз16} - f_{32}(h_{з16}) + p_{пзз16}); (r_{поп16} - m_{16} + p_{поп16} - П_{м16})) \quad (4.2)$$

Таким образом, установленная параметрическая взаимосвязь между параметрами поверхности фигуры человека, поверхности надетой на неё одежды, проекционных зазоров между ними и конструктивными прибавками на свободу облегания позволяет, варьируя параметрами, составляющими эти зависимости (4.1) и (4.2), в интерактивном режиме проектирования редактировать:

- параметры размерных признаков и внешней формы фигуры человека;
- значения конструктивных прибавок на свободу облегания;
- конструктивные параметры проектируемого изделия.

## **4.2 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ЖЕНСКОГО ПЛЕЧЕВОГО ИЗДЕЛИЯ**

Параметрическое проектирование геометрических объектов сложной пространственной формы, как например, внешней формы одежды, представляет собой математическое моделирование, отображающее преобразование цифрового описания проектируемого изделия в виде функций от совокупности независимых параметров, в связи с чем разработка математической модели внешней формы одежды основана на:

- исследовании геометрии поверхности пространственной формы изделий;
- разработке параметрической модели, описывающей внешнюю форму изделий;
- математическом описании элементов формообразования одежды.

При исследовании геометрии поверхности внешней формы изделий проанализированы контуры поперечных сечений и вертикальных рельефных линий изделия и определено, что:

- 1) линии поперечных сечений изделий базовой формы подобны линиям поперечных сечений фигуры, положение информативных точек определяется величиной смещения информативных точек фигуры на величину проекционного зазора, зависящего от величины конструктивных прибавок;
- 2) геометрия большинства фрагментов вертикальных рельефных линий изделия ( $\Phi A_i$ ) подобна геометрии аналогичных вертикальных рельефных линий фигуры (Рисунок 4.4), положение информативных точек, определяющих параметры вертикальных рельефных

линий изделия, определяется величиной смещения информативных точек фигуры на величину проекционного зазора, зависящего от значения конструктивных прибавок.

Математическая модель внешней формы одежды построена на основе математического моделирования расположения вертикальных рельефных линий фигуры с учетом проекционных прибавок:

$$f_i(z, r_i, h_i) \rightarrow f_{id}(z, R_i, H_i),$$

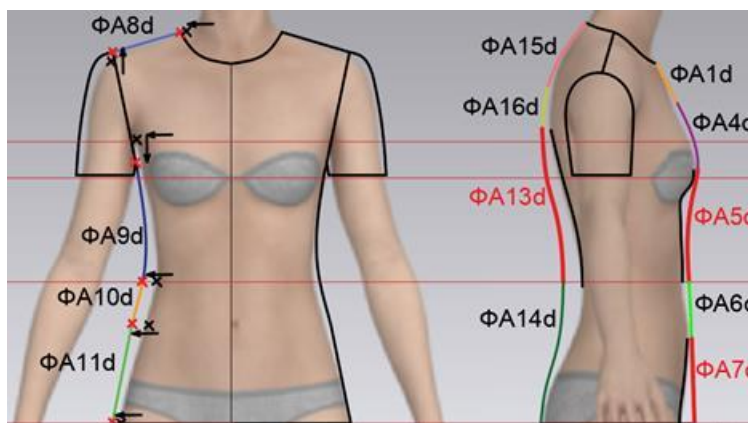
где  $f_i(z, r_i, h_i)$  - математическая модель фрагмента вертикальной рельефной линии фигуры,

$f_{id}(z, R_i, H_i)$  – математическая модель фрагмента вертикальной рельефной линии изделия,

$z, r_i, h_i$  – параметры 3D формы фигуры,

$z, R_i, H_i$  – параметры 3D формы изделия (см. Таблица 4.1).

К исключению из предлагаемой математической модели следует отнести фрагменты  $\Phi A5d$ ,  $\Phi A7d$ ,  $\Phi A13d$  (см. Рисунок 4.4, выделено *красным*), для которых математическая модель уточнена в соответствии с особенностями геометрии этих участков (Таблица 4.3, Приложение Ж, Таблица Ж.2).

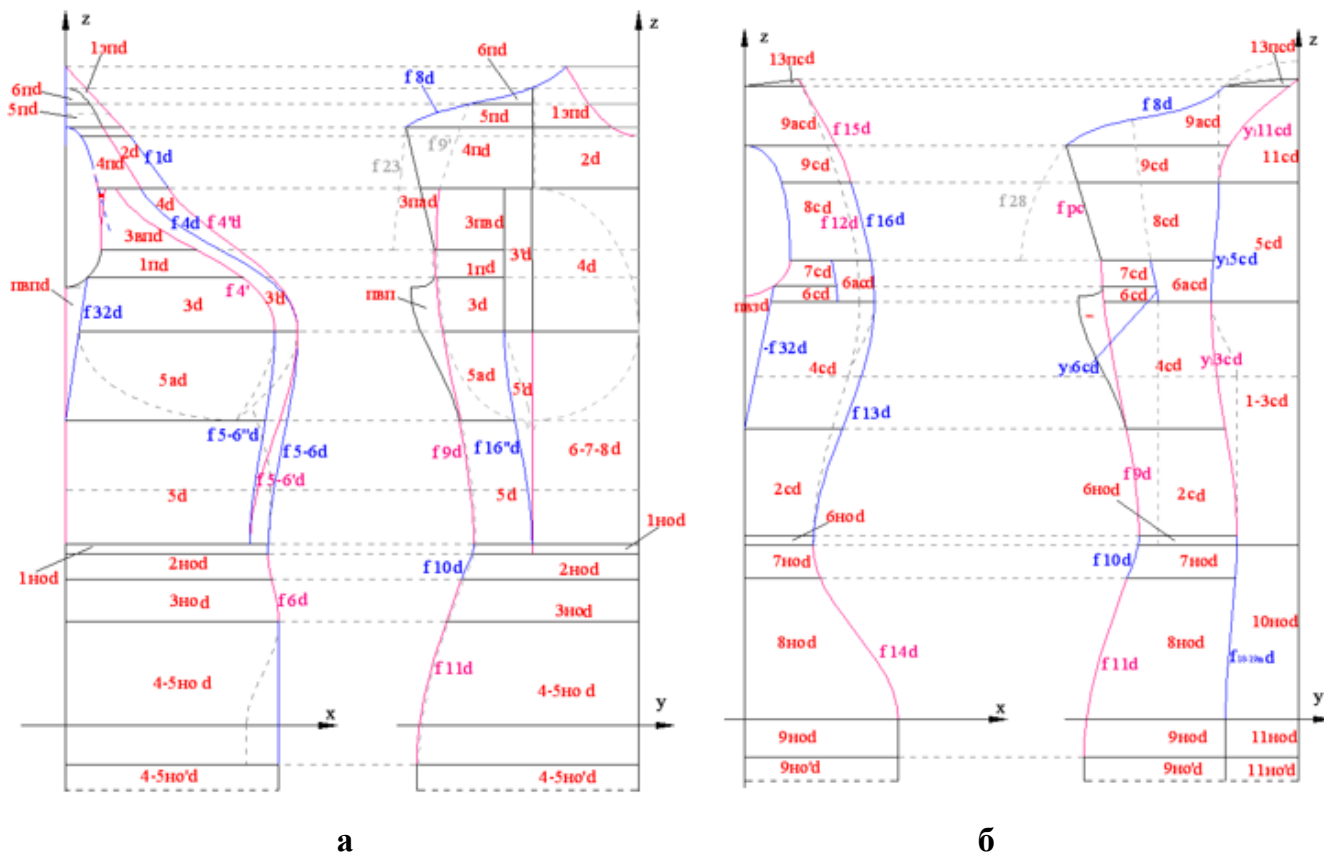


**Рисунок 4.4 – Геометрия фрагментов вертикальных рельефных линий изделия**

В результате проведенной фрагментации поверхности фигуры поверхность плечевого изделия разбита на топографические зоны и фрагменты. Выделенные фрагменты поверхности базовой формы изделия обозначены *красным цветом*, а *синим и сиреневым цветом* выделены и обозначены фрагменты вертикальных рельефных линий (Рисунок 4.5, Таблица 4.4).

**Таблица 4.3 – Математическая модель линии переднего абриса женского плечевого изделия**

Обозначение и наименование фрагмента	Обозначение фрагмента линии		Функция	Параметры
	изделия	фигуры		
ФА1d – Верхняя часть грудной клетки	$f_{1d}$	$f_1(z)$	$x=f_{line}(z)$	$X_0 = R_{пзп13}, Z_0 = H_{п13}$ $X_1 = R_{пзп14}, Z_1 = h_{п14}$
ФА4d – Верхняя часть грудных желёз	$f_{4d}$	$f_4(z)$	$x = f_{parabola}(z)$	$X_0 = R_{пзп16}, Z_0 = h_{п16}$ $\tan\alpha_0 = 0, X_1 = R_{пзп14}'$ $Z_1 = h_{п14}$ $tg\alpha_1 = \frac{R_{пзп13} - R_{пзп14}}{H_{п13} - H_{п14}}$
ФА5d – Нижняя часть груди	$f_{5d}$	-	$x = f_{parabola}(z)$	$X_0 = R_{пзп18}, Z_0 = h_{п18}$ $\tan\alpha_0 = 0, X_1 = R_{пзп16}$ $Z_1 = h_{п16}, \tan\alpha_1 = 0$
ФА6d – Средняя часть живота	$f_{6d}$	$f_6(z)$	$x=f_{cos}(z)$	$X_0 = R_{пзп18}', Z_0 = h_{п18}'$ $X_1 = R_{пзп18}, Z_1 = h_{п18}$
ФА7d – Нижняя часть живота	$f_{7d}$	$f_7(z)$	$x=f_{cos}(z)$	$X_0 = R_{пзп18}, Z_0 = h_{п18}$ $X_1 = R_{пзп20}, Z_1 = h_{п20}$



**Рисунок 4.5 – Топографические фрагменты поверхности плечевого изделия:**

**а) передняя часть: вид сбоку и спереди; б) задняя часть: вид сбоку и сзади**

Таблица 4.4 – Сопоставление фрагментации поверхности фигуры и изделия

Топографическая зона	Функции фрагментов подобия		Функции фрагментов преобразования	
	Фигура	Одежда	Женская фигура	Плечевое изделие
ТЗ 1	$F_{1эп}$	$F_{1эпd}$	-	-
	$F_2$	$F_{2d}$		
ТЗ 2	$F_{3'}$	$F_{3'd}$	$F_{2a} + F_4$	$F_{4d}$
	$F_3$	$F_{3d}$		
ТЗ 3, ТЗ 4	-	-	$F_6 + F_{7a} + F_7 + F_8$	$F_{6-7-8d}$
			$F_{5'} + F_7 + F_8$	$F_{5'd}$
			$F_5 + F_{7a}$	$F_{5ad}$
			$F_7 + F_8$	$F_{5d}$
ТЗ 5	$F_{1но}$	$F_{1ноd}$	$F_{4но} + F_{5но}$	$F_{4-5ноd}$
	$F_{2но}$	$F_{2ноd}$		
	$F_{3но}$	$F_{3ноd}$		
ТЗ 6	$F_{6п}$	$F_{6пd}$	-	-
	$F_{5п}$	$F_{5пd}$		
ТЗ 7	$F_{4п}$	$F_{4пd}$	-	-
	$F_{3па}$	$F_{3паd}$		
	$F_{3пб}$	$F_{3пбd}$		
ТЗ 8	$F_{1п}$	$F_{1пd}$		
ТЗ 9	$F_{11с}$	$F_{11сd}$	$F_{1с} + F_{3с}$	$F_{1-3сd}$
	$F_{5с}$	$F_{5сd}$		
ТЗ 10	$F_{10но}$	$F_{10ноd}$	-	-
	$F_{11но}$	$F_{11ноd}$		
ТЗ 11	$F_{6но}$	$F_{6ноd}$	-	-
	$F_{7но}$	$F_{7ноd}$		
	$F_{8но}$	$F_{8ноd}$		
	$F_{9но}$	$F_{9ноd}$		
ТЗ 12	$F_{9ac}$	$F_{9acd}$	-	-
	$F_{9с}$	$F_{9сd}$		
	$F_{8с}$	$F_{8сd}$		
ТЗ 13	$F_{6с}$	$F_{6сd}$	-	-
	$F_{7с}$	$F_{7сd}$		
	$F_{6ac}$	$F_{6acd}$		
ТЗ 14	-	-	$F_{4с} + F_{2ac}$	$F_{4сd}$
			$F_{2с}$	$F_{2сd}$
ТЗ 15	$F_{пв}$	$F_{пвd}$	-	-

Математическая модель пространственной формы изделий построена на основе математической модели фигуры человека с учетом значений параметров проекционных зазоров относительно поверхности фигуры человека (Таблица 4.5, Приложение Ж, Таблица Ж.3):

$$F_i(z, y, r_i, m_i, h_i) \rightarrow F_{id}(z, y, R_i, M_i, H_i),$$

$$F_i(z, x, r_i, h_i) \rightarrow F_{id}(z, x, R_i, H_i),$$

где  $f_i(z, r_i, h_i)$  - математическая модель топографического фрагмента поверхности фигуры,

$f_{id}(z, R_i, H_i)$  – математическая модель топографического фрагмента поверхности изделия,

$z, r_i, h_i$  – параметры 3D формы фигуры,

$z, R_i, H_i$  – параметры 3D формы изделия,

$m_i, M_i$  – дополнительные параметры фигуры и изделия (см. Таблица 4.1).

Элементы формообразования поверхности женского плечевого изделия расположены на границах топографических зон (Рисунок 4.6), то есть совпадают с линиями абрисов фигуры/ вертикальными рельефными линиями, вследствие этого линии описаны аналогичным математическим способом (Таблица 4.6).

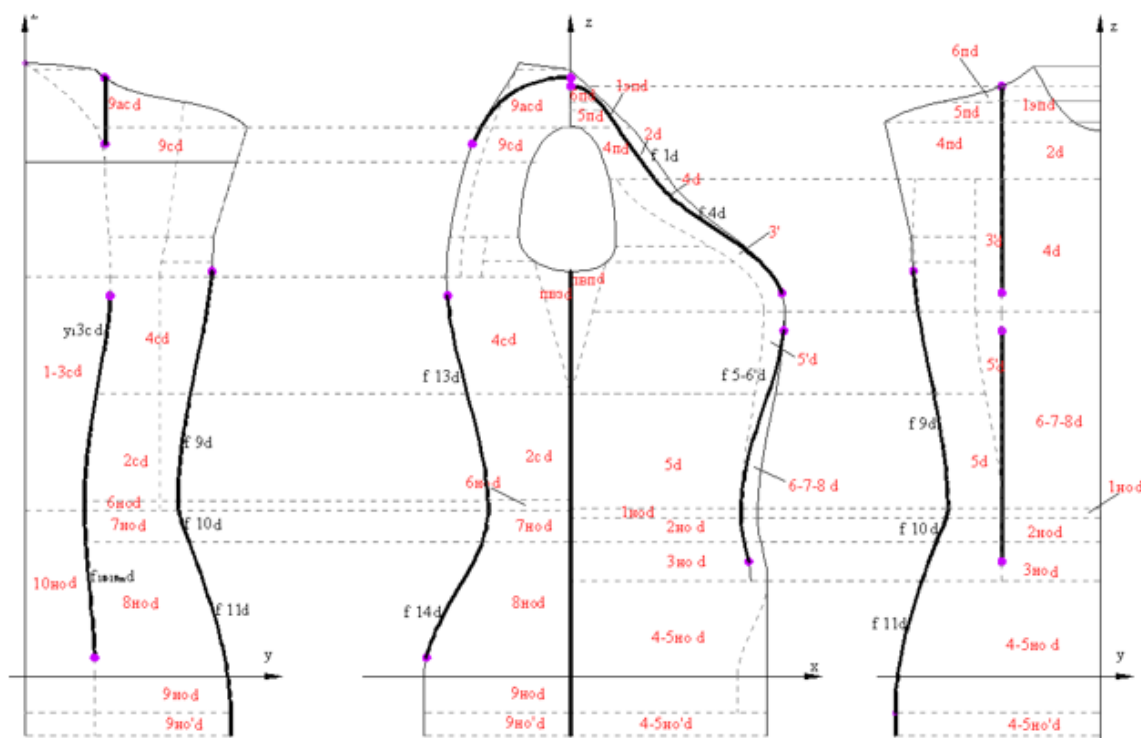


Рисунок 4.6 – Элементы формообразования поверхности плечевого изделия

Таблица 4.5 – Математическая модель фрагментов поверхности плечевой одежды

Фрагмент 3D формы изделия		Функция	Переменные	Условия
изделия	фигуры			
F <sub>4d</sub>	F <sub>2a</sub> + F <sub>4</sub>	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$y_0 = 0$ $x_0 = f_4d$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = R_{\text{пoп16}}$ $x_1 = f_4 \cdot d$ $\tan\alpha_1 = f_{\text{tan12}}$	$x \in [f_4d; f_4 \cdot d]$ $y \in [-R_{\text{пoп16}}; R_{\text{пoп16}}]$ $z \in [h_{\text{п16}}; h_{\text{п14}}]$
F <sub>6-7-8d</sub>	F <sub>6</sub> + F <sub>7a</sub> + F <sub>7</sub> + F <sub>8</sub>	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$y_0 = 0$ $x_0 = f_{5-6}d$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = R_{\text{пoп16}}$ $x_1 = f_{5-6} \cdot d^*$ $\tan\alpha_1 = \tan \alpha_1^{6-7-8d} = \tan 1(x)$ $x_{10}=r_{\text{пзп16}}, x_{11}=r_{\text{пзп186}}$ $\tan_{10}=0,$ $\tan_{11}= F_{1\text{но}d}(r_{\text{пoп16}}, h_{618})$	$x \in [f_{5-6} \cdot d; f_{5-6}d]$ $y \in [-R_{\text{пoп16}}; R_{\text{пoп16}}]$ $z \in [h_{618}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>5·d</sub>	F <sub>5</sub> + F <sub>7</sub> + F <sub>8</sub>	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$y_0 = R_{\text{пoп16}}$ $x_0 = f_{5-6} \cdot d$ $\tan\alpha_0 = \tan \alpha_1^{6-7-8d}$ $y_1 = f_{16} \cdot d^{**}$ $x_1 = f_{5-6} \cdot d^{***}$ $\tan\alpha_1 = \tan \alpha_1^{5 \cdot d} = \tan 1(x)$ $x_{10}=r_{\text{пзп16}}, x_{11}=r_{\text{пзп186}}$ $\tan_{10}=F_{3 \cdot d}(r_{\text{пoп16}}, h_{\text{п16}}),$ $\tan_{11}= F_{1\text{но}d}(r_{\text{пoп16}}, h_{618})$	$x \in [f_{5-6} \cdot d; f_{5-6} \cdot d]$ $y \in [-f_{16} \cdot d; -R_{\text{пoп16}}] \cup [R_{\text{пoп16}}; f_{16} \cdot d]$ $z \in [h_{618}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>5ad</sub>	F <sub>5</sub> + F <sub>7a</sub>	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$y_0 = f_9d$ $x_0 = f_{32}d$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = f_{16} \cdot d$ $x_1 = f_{5-6} \cdot d$ $\tan\alpha_1 = 1/\tan \alpha_1^{5 \cdot d}$	$x \in [f_{32}d; f_{5-6} \cdot d]$ $y \in [-f_9d; -f_{16} \cdot d] \cup [f_{16} \cdot d; f_9d]$ $z \in [h_{\text{п17}}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>5d</sub>	F <sub>7</sub> + F <sub>8</sub>	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$y_0 = f_9d$ $x_0 = 0$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = f_{16} \cdot d$ $x_1 = f_{5-6} \cdot d$ $\tan\alpha_1 = 1/\tan \alpha_1^{5 \cdot d}$	$x \in [0; f_{5-6} \cdot d]$ $y \in [-f_9d; -f_{16} \cdot d] \cup [f_{16} \cdot d; f_9d]$ $z \in [h_{\text{п17}}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>4-5ноd</sub>	-	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = R_{\text{пзп20}}$ $b = f_{11}d$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; R_{\text{пзп20}}]$ $y \in [-f_{11}d; f_{11}d]$ $z \in [h_{619}; h_{\text{п20}}]$
F <sub>4-5но·d</sub>	F <sub>4но</sub> + F <sub>5но</sub>	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = R_{\text{пзп20}}$ $b = R_{\text{пoп19}}$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [0; R_{\text{пзп20}}]$ $y \in [-R_{\text{пoп19}}; R_{\text{пoп19}}]$ $z \in [h_{\text{ди}}; h_{619}]$

Изменение положение формообразующего элемента базовой формы изделия осуществляется изменением значения проекционного зазора или величины смещения информативной точки изделия относительно аналогичной информативной точки фигуры.

**Таблица 4.6 – Математическая модель формообразования плечевой одежды**

Элемент формообразования	Граничащие фрагменты поверхности		Функция описания элемента	Дополнительные условия	Пределы по Z, см
	слева	справа			
Верхняя вытачка спинки	9cd	9c d	$x=F_{9cd}(m_{161}, z)$	$y = m_{161}$	$z \in [H_5; H_{5^{***}_3}]$
	9acd	9ac d	$x=F_{9acd}(m_{161}, z)$	$y = m_{161}$	$z \in [h_{3161}+2; H_5]$
Верхняя нагрудная вытачка	3'd	4 d	$x=f_{4d}$	$y = r_{\text{поп16}'}$	$z \in [h_{\text{п16}}+2; h_{\text{п14}}]$
	5п d	2 d	$x=F_{2d}(r_{\text{поп16}'}, z)$	$y = r_{\text{поп16}'}$	$z \in [h_{\text{п14}}; H_5]$
	6п d	1эп d	$x=F_{1эпd}(r_{\text{поп16}'}, z)$	$y = r_{\text{поп16}'}$	$z \in [H_5; H_{5^{***}*}]$
Боковой шов	9но' d	4-5но' d	$y=r_{\text{поп19}'d}$	$x = 0$	$z \in [h_{\text{ди}}; h_{619}']$
	9но d	4-5но d	$y=f_{11d}$	$x = 0$	$z \in [h_{619}'; h_{\text{п20}}]$
	8но d	3но d	$y=f_{11d}$	$x = 0$	$z \in [h_{\text{п20}}; h_{618-КВ}]$
	7но d	2но d	$y=f_{10d}$	$x = 0$	$z \in [h_{618-КВ}; h_{\text{п18}}]$
	6но d	1но d	$y=f_{10d}$	$x = 0$	$z \in [h_{\text{п18}}; h_{618}]$
	2c d	5 d	$y=f_{9d}$	$x = 0$	$z \in [h_{618}; h_{\text{п17}}]$
	пвз d	пвп d	$y=f_{9d}$	$x = 0$	$z \in [h_{\text{п17}}; h_{\text{пв15з}}]$
Задняя вытачка на талии	4c d 2c d	1-3c d	$x=f_{13d}$	$y = y^1_{3cd}$	$z \in [h_{318}; h_{316} - 2]$
	6но d 7но d 8но d	10но d	$x=f_{14d}$	$y = f_{\text{п18-19d}}$	$z \in [h_{319}+2; h_{318}]$
	5'	6-7-8	$x=f_{5-6} \cdot d$	$y = r_{\text{поп16}'}$	$z \in [h_{618}; h_{\text{п16}} - 2]$
Передняя вытачка на талии	1но	1но	$x=F_{1ноd}(r_{\text{поп16}'}, z)$	$y = r_{\text{поп16}'}$	$z \in [h_{\text{п18}}; h_{618}]$
	2но	2но	$x=F_{2ноd}(r_{\text{поп16}'}, z)$	$y = r_{\text{поп16}'}$	$z \in [h_{618-КВ}; h_{\text{п18}}]$
	3но	3но	$x=F_{3ноd}(r_{\text{поп16}'}, z)$	$y = r_{\text{поп16}'}$	$z \in [h_{\text{п20}}+2; h_{618-КВ}]$

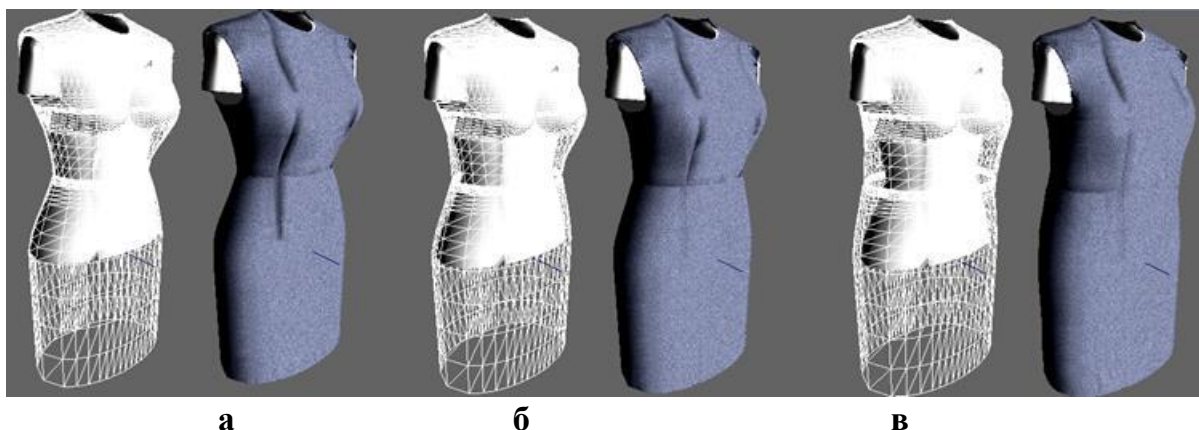
\*  $H_{5^{***}_3} = f_{8d}(m_{161})$

\*\*  $H_{5^{***}} = f_{8d}(r_{\text{поп16}'})$

Математическая модель изделия, построенная на основе математической модели фигуры человека, позволяет организовать автоматизированный процесс параметрического проектирования одежды, в котором изменения любого из параметров приводит к модификации всех остальных параметров проектируемого изделия (*Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012610088*) [438]. Пример построения пространственной формы одежды и ее параметрического редактирования



представлен на Рисунке 4.7 для базовой формы плечевого изделия с различной степенью прилегания к фигуре.



**Рисунок 4.7 – Параметрическое редактирование базовой формы плечевого изделия: а) прилегающего силуэта; б), в) полуприлегающего силуэта**

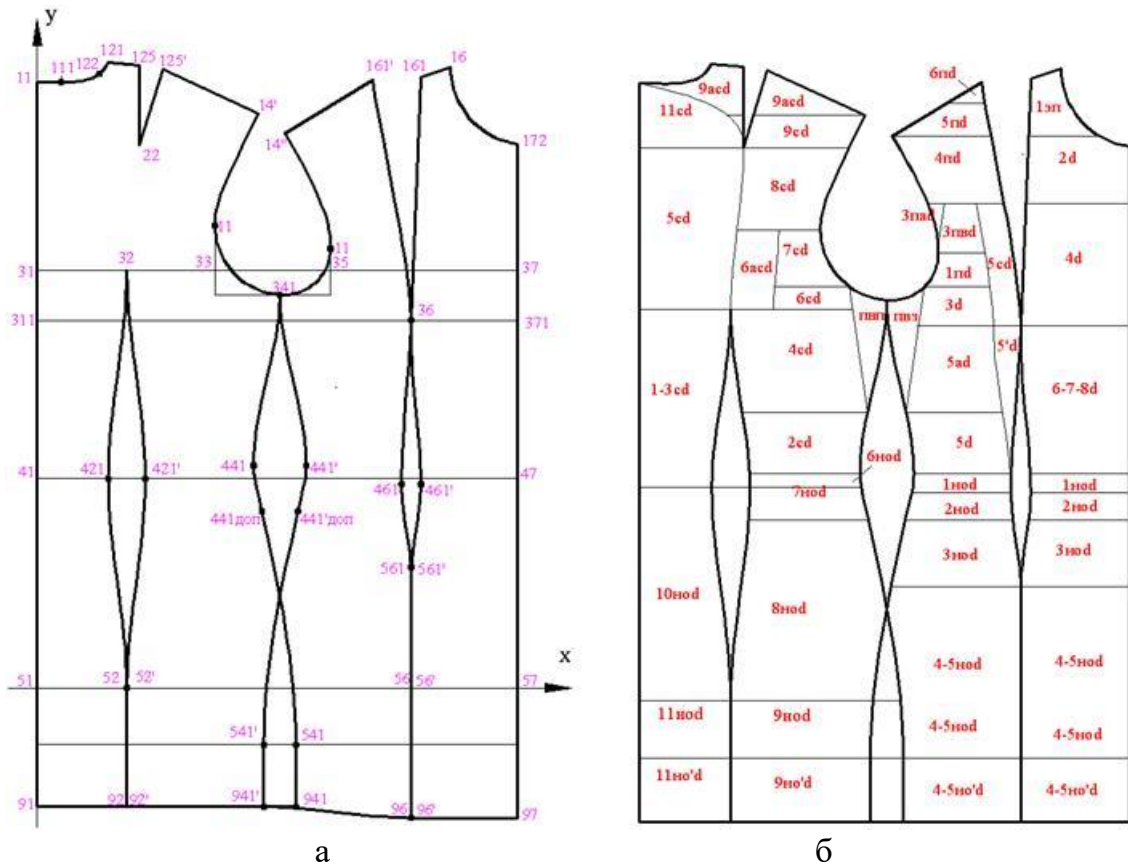
#### **4.3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ 2D КОНСТРУКЦИИ ОДЕЖДЫ С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМЫ ИЗДЕЛИЯ**

В процессе изготовления одежды соединяют плоские детали кроя, что обуславливает необходимость разработки конструкторской документации, содержащей двумерные лекала деталей конструкции, которые получают как путем расчетно-графического построения на основе размерных признаков фигуры человека, так и путем развертки трехмерной виртуальной модели внешней формы проектируемого изделия. Исходя из вышеизложенного, для алгоритмизации и последующей автоматизации построения двумерной конструкции одежды, параметрически взаимосвязанной с трёхмерной моделью внешней формы изделия:

- сформирована система параметров, необходимых для построения конструкции одежды,
- разработан математический аппарат для построения чертежей деталей изделия.

Система параметров, предназначенных для проектирования двумерной конструкции одежды, включает координаты точек конструкции X и Y, представляющие собой параметры 2D конструкции изделия. Для обозначения информативных (узловых)

точек конструкции выбрана система конструктивных точек, принятая в методике МГУДТ (Рисунок 4.8, а) [38]. Для формирования системы параметров конструкций заключена в двухмерную систему координат: ось ОХ проходит по линии бедер, ось ОУ по среднему срезу спинки. Разворачивание поверхности изделия осуществлялось по фрагментам, параметры длины и конфигурации линий, ограничивающих топографические фрагменты объемной формы изделия сохранены при разворачивании каждого фрагмента поверхности на плоскость (см. Рисунок 4.8, б).



**Рисунок 4.8 – Фрагментация конструкции плечевого изделия: а) система точек конструкции; б) фрагменты топографических зон внешней формы изделия**

В основе разработанного математического аппарата, предназначенного для построения чертежей деталей конструкции одежды, лежит методика расчета параметров 2D базовой конструкции проектируемого изделия (Таблица 4.7), методика расчета её вытачек (Таблица 4.8) и её математическая модель (Таблица 4.9).

**Таблица 4.7 – Методика расчёта параметров 2D базовой конструкции женской  
плечевой одежды**

№	Обозначение отрезка	Расчётная формула в соответствии с поверхностью изделия в 3D пространстве	Параметры 2D конструкции	
			По оси x	По оси y
1	2	3	4	5
<i>Положение конструктивных горизонталей</i>				
1	11-171	$M_{16} + \int_{M_{16}}^{f_9 d(h_{316})} \sqrt{1 + f_{ellipse}^{\prime 2}(y, a_1, b_1, \Delta a_1, \Delta b_1)} dy + f_{32} d(h_{316}) + f_{32} d(h_{п16}) + \int_{R'_{п16}}^{f_9 d(h_{п16})} \sqrt{1 + f_{ellipse}^{\prime 2}(y, a_2, b_2, \Delta a_2, \Delta b_2)} dy + R'_{п16}$ <p align="center">где <math>a_1=R_{н3316}</math> <math>b_1=f_9 d(h_{316})</math> <math>\Delta a_1=f_{32}(h_{316})</math> <math>\Delta b_1=M_{16}</math>  <math>a_2=R_{н3п16}</math> <math>b_2=f_9 d(h_{п16})</math> <math>\Delta a_2=f_{32} d(h_{п16})</math> <math>\Delta b_2=R_{п16}'</math></p>	$x_{11}=0$ $x_{171}=11-171/$	$y_{11}=11-41/+41-51/$ $y_{171}=y_{11}$
2	11-31	$\int_{h_{316}}^{h_{3161}} \sqrt{1 + f_{16} d^{\prime 2}(z)} dz + \int_{h_{3161}}^{h_{313}} \sqrt{1 + f_{15} d^{\prime 2}(z)} dz$	$x_{31}=0$	$y_{31}=y_{11} - /11-31/$
3	11-41	$\int_{h_{318}}^{h_{316}} \sqrt{1 + f_{13} d^{\prime 2}(z)} dz + \int_{h_{316}}^{h_{3161}} \sqrt{1 + f_{16} d^{\prime 2}(z)} dz + \int_{h_{3161}}^{h_{313}} \sqrt{1 + f_{15} d^{\prime 2}(z)} dz$	$x_{41}=0$	$y_{41}=y_{11} - /11-41/$
4	41-51	$\int_{h_{319}}^{h_{318}} \sqrt{1 + f_{14} d^{\prime 2}(z)} dz$	$x_{51}=0$	$y_{51}=0$
5	51-51'	$h_{\delta 19}'$	$x_{51}'=0$	$y_{51}'=-h_{\delta 19}'$
6	51-91	$h_{ди}-h_{\delta 19}'$	$x_{91}=0$	$y_{91}=-h_{ди}$
7	47-471	$h_{318} - h_{п18}$	$x_{47}=x_{171}$ $x_{471}=x_{171}$	$y_{47}=y_{41}$ $y_{471}=y_{41}-/47-471/$

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5
8	471-17	$\int_{h_{n18}}^{h_{n16}} \sqrt{1 + f_{5-6} d'^2(z)} dz +$ $\int_{h_{n16}}^{h_{n14}} \sqrt{1 + f_4 d'^2(z)} dz +$ $\int_{h_{n14}}^{h_{n13}} \sqrt{1 + f_1 d'^2(z)} dz +$ $\int_{h_{n13}}^{h_5} \sqrt{1 + F_2 d'^2(R_{\text{поп13}}, z)} dz +$ $\int_{h_5}^{h_{613}} \sqrt{1 + F_{1эп} d'^2(R_{\text{поп13}}, z)} dz$	X17 = X171	y17=471-17/-/47-471+/+41-51/
9	471-172	$\int_{h_{n18}}^{h_{n16}} \sqrt{1 + f_{5-6} d'^2(z)} dz +$ $\int_{h_{n16}}^{h_{n14}} \sqrt{1 + f_4 d'^2(z)} dz +$ $\int_{h_{n14}}^{h_{n13}} \sqrt{1 + f_1 d'^2(z)} dz$	X172 = X171	y172=y471+ /471-172/
10	172-371	$\int_{h_{n16}}^{h_{n14}} \sqrt{1 + f_4 d'^2(z)} dz +$ $\int_{h_{n14}}^{h_{n13}} \sqrt{1 + f_1 d'^2(z)} dz$	X371 = X171	y371=y172- /172-371/
11	471-971	$\int_{h_{n20}}^{h_{n18}} \sqrt{1 + f_6 d'^2(z)} dz + h'_{619} + h_{\text{ди}}$	X971 = X171	y971= y91-/97-971/
<i>Положение конструктивных вертикалей</i>				
12	31-33	$M_{16} +$ $\int_{M_{16}}^{R_{\text{non153}}} \sqrt{1 + f_{\text{ellipse}}'^2(y, a_1, b_1, \Delta a_1, \Delta b_1)} dy$ <p style="text-align: center;">где <math>a_1=R_{n3316}</math> <math>b_1=f_9 d(h_{316})</math> <math>\Delta a_1=f_{32} d(h_{316})</math> <math>\Delta b_1=M_{16}</math></p>	x33 = /31-33/	y33= y31
13	33-35	$\int_{R_{\text{non153}}}^{f_9 d(h_{316})} \sqrt{1 + f_{\text{ellipse}}'^2(y, a_1, b_1, \Delta a_1, \Delta b_1)} dy +$ $\int_{R_{\text{non15n}}}^{f_9 d(h_{n16})} \sqrt{1 + f_{\text{ellipse}}'^2(y, a_2, b_2, \Delta a_2, \Delta b_2)} dy$ <p style="text-align: center;">где <math>a_1=R_{n3316}</math> <math>b_1=f_9 d(h_{316})</math> <math>\Delta a_1=f_{32} d(h_{316})</math> <math>\Delta b_1=M_{16}</math>  <math>a_2=R_{n3n16}</math> <math>b_2=f_9 d(h_{n16})</math> <math>\Delta a_2=f_{32} d(h_{n16})</math> <math>\Delta b_2=R_{\text{поп16}}</math></p>	x35 = /31-33+/+33-35/	y35= y31
14	35-37	$\int_{R'_{\text{поп16}}}^{R_{\text{non15n}}} \sqrt{1 + f_{\text{ellipse}}'^2(y, a_2, b_2, \Delta a_2, \Delta b_2)} dy + R'_{\text{поп16}}$ <p style="text-align: center;">где <math>a_2=R_{n3n16}</math> <math>b_2=f_9 d(h_{n16})</math> <math>\Delta a_2=f_{32} d(h_{n16})</math> <math>\Delta b_2=R_{\text{поп16}}'</math></p>	x35 = /31-33+/+33-35+/+35-37/	y37= y31

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5
<i>Горловина спинки</i>				
15	11-12	$\int_{y_1^{11c}d(h_{613})}^{r_{\text{поп13}}} \sqrt{1 + F_{9ac}d'^2(h_{613}, y)} dy +$ $y_1^{11c}d(h_{613})$	$x_{12} = /11-12/$	$y_{12} = y_{11}$
16	12-121	$\int_{h_5}^{h_{613}} \sqrt{1 + F_{9ac}d'^2(R_{\text{поп13}}, z)} dz -$ $\int_{h_5}^{h_{313}} \sqrt{1 + f_{15}d'^2(z)} dz$	$x_{121} = x_{12}$	$y_{121} = y_{11} + /12-121/$
17	11-111	0,25·/11-12/	$x_{111} = /11-111/$	$y_{111} = y_{11} + /12-121/$
18	12-122	0,64·/12-121/	$x_{122} = /11-111/-$ $0,7071·/12-121/$	$y_{122} = y_{11} + 0,7071·$ $/12-121/$
<i>Плечевой срез и верхняя вытачка спинки</i>				
19	121-14	$f_{8d}$	$x_{14} = R_{\text{поп5}}$	$y_{14} = y_{121} - (H_{613} - H_5)$
20	121-124	$f_{8d}(M_{161})$	$x_{124} = M_{161}$	$y_{124} = y_{121} - (H_{613} - f_{8d}(M_{161}))$
21	124-22	$\int_{h_{3161}}^{h_5} \sqrt{1 + F_{9c}d'^2(M_{161}, z)} dz + 22$ $\int_{h_5}^{f_{8d}(M_{161})} \sqrt{1 + F_{9ac}d'^2(M_{161}, z)} dz$	$x_{22} = M_{161}$	$y_{22} = y_{124} - /124-22/$
22	$R_1$	$/121-14/ = \sqrt{(x_{121} - x_{14})^2 + (y_{121} - y_{14})^2}$		
23	$R_3$	$/33-14/ = \sqrt{(x_{33} - x_{14})^2 + (y_{33} - y_{14})^2}$		
24	14-14'	$H_5 - H_{\text{пв153}}$	$x_{14'} = x_{14} - /14-14'/$	$y_{14'} = R_3(x_{14'})$
25	$R_4$	$/22-14'/ = \sqrt{(x_{22} - x_{14'})^2 + (y_{22} - y_{14'})^2}$		
26	141		$x_{141} = R_3(R_4)$	$y_{141} = R_3(R_4)$
27	121-141	$y = f_{\text{line}}(x)$		
28	125			
29	$R_5$	$/22-125/ = \sqrt{(x_{22} - x_{125})^2 + (y_{22} - y_{125})^2}$		
30	$R_6$	$/14'-125'/ = \sqrt{(x_{14'} - x_{125}')^2 + (y_{14'} - y_{125}')^2}$		
31	125'		$x_{141} = R_5(R_6)$	$y_{141} = R_5(R_6)$
<i>Горловина переда</i>				
32	17-16	$\int_0^{r_{\text{поп13}}} \sqrt{1 + F_2d'^2(y, h_{n13})} dy$	$x_{16} = x_{17} - /17-16/$	$y_{16} = y_{17}$
33	17-172	$\int_{h_{n13}}^{h_5} \sqrt{1 + F_2d'^2(R_{\text{поп13}}, z)} dz +$ $\int_{h_5}^{h_{613}} \sqrt{1 + F_1d'^2(R_{\text{поп13}}, z)} dz$	$x_{172} = x_{17}$	$y_{172} = y_{171} - /17-172/$
<i>Плечевой срез и верхняя вытачка переда</i>				
34	16-(123)	$h_{613} - h_5$		

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5
35	(123)-(14)	$r_{non5} - r_{non13}$		
36	16-(14)	$f_8d$		
37	16-161	$f_8d(R_{non16}')$	$x_{36} = x_{16} - R_{non16}'$	$y_{36} = f_8d(R_{non16}')$
38	371-36	$R_{non16}'$	$x_{36} = x_{371} - /371 - 36/$	$y_{36} = y_{371}$
39	$R_8$	$\int_{h_{n16}}^{h_{n14}} \sqrt{1 + f_4 d'^2(z)} dz$	$x_{26}$	$y_{26}$
40	26-26'		$x_{26}'$	$y_{26}'$
41	$R_9$	$/36-161/ = \sqrt{(x_{36} - x_{161})^2 + (y_{36} - y_{161})^2}$		
42	161'			
43	$R_{10}$	$/36-(14)/ = \sqrt{(x_{36} - x_{(14)})^2 + (y_{36} - y_{(14)})^2}$		
44	$R_{11}$	$/161-(14)/ = \sqrt{(x_{161} - x_{(14)})^2 + (y_{161} - y_{(14)})^2}$		
45	14''		$x_{14}'' = R_{10}(R_{11})$	$y_{14}'' = R_{10}(R_{11})$
<i>Пройма</i>				
46	33-331	$\Pi_{cnp}$	$x_{331} = x_{33}$	$y_{331} = y_{33} - /33-331/$
47	331-341	$\int_{R_{non153}}^{f_9 d(h_{316})} \sqrt{1 + f_{ellipse}^2(y, a_1, b_1, \Delta a_1, \Delta b_1)} dy$ $f_{32}(h_{316})$ где $a_1 = R_{n3316}$ $b_1 = f_9 d(h_{316})$ $\Delta a_1 =$ $f_{32}(h_{316})$ $\Delta b_1 = M_{16}$	$x_{341} = x_{33} + /331 - 341/$	$y_{341} = y_{331}$
48	331-332	$/331-341/$	$x_{332} = x_{33}$	$y_{332} = y_{331} + /331-341/$
49	341-351	$\int_{R_{non15n}}^{f_9 d(h_{n16})} \sqrt{1 + f_{ellipse}^2(y, a_2, b_2, \Delta a_2, \Delta b_2)} dy$ $f_{32}(h_{n16}) +$ где $a_2 = R_{n3n16}$ $b_2 = f_9 d(h_{n16})$ $\Delta a_2 =$ $f_{32}(h_{n16})$ $\Delta b_2 = R_{non16}$	$x_{351} = x_{35}$	$y_{351} = y_{331}$
50	351-352	$/341-351/$	$x_{352} = x_{35}$	$y_{352} = y_{351} + /341-351/$
<i>Боковые срезы и выточки на талии</i>				
51	33-34	$/331-341/$	$x_{34} = x_{341}$	$y_{34} = y_{341}$
52	34-94	от точки 34	$x_{94} = x_{341}$ $x_{44} = x_{341}$ $x_{54} = x_{341}$ $x_{54}' = x_{341}$	$y_{94} = y_{91}$ $y_{44} = y_{41} + (h_{618} - h_{318})$ $y_{54} = y_{51}$ $y_{54}' = y_{51}'$
53	41-42	$M_{18} + 0,5 \cdot B_{т.сп}$	$x_{42} = /41-42/$	$y_{42} = y_{41}$
54	32-52	через точку 42	$x_{32} = x_{42}$ $x_{52} = x_{42}$	$y_{32} = y_{31}$ $y_{52} = y_{51}$

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5
55	36-56	от точки 36	$X_{56}=X_{36}$ $X_{561}=X_{36}$ $X_{46}=X_{36}$	$y_{56} = y_{51}$ $y_{561} = h_{п20}$ $y_{46} = y_{41} - (h_{318} - h_{п18})$
56	42-421	$0,5 \cdot B_{т.сп}$	$X_{421}=X_{42}/42-421/$	$y_{421}= y_{41}$
57	42-421'	$0,5 \cdot B_{т.сп}$	$X_{421}'=X_{42}+/42-421/$	$y_{421}'= y_{41}$
58	44-441	$0,5 \cdot B_{т.бок}$	$X_{441}=X_{44}/44-441/$	$y_{441}= y_{44}$
59	44-441'	$0,5 \cdot B_{т.бок}$	$X_{441}'=X_{44}+/44-441/$	$y_{441}'= y_{44}$
60	46-461	$0,5 \cdot B_{т.пер}$	$X_{461}=X_{46}/46-461/$	$y_{461}= y_{46}$
61	46-461'	$0,5 \cdot B_{т.пер}$	$X_{461}'=X_{46}+/46-461/$	$y_{461}'= y_{46}$
62	52-521	$0,5 \cdot 3(P)_{б.сп}$	$X_{521}=X_{52}+/52-521/$	$y_{521}= y_{51}$
63	52-521'	$0,5 \cdot 3(P)_{б.сп}$	$X_{521}'=X_{52}/52-521/$	$y_{521}'= y_{51}$
64	54'-541	$0,5 \cdot 3(P)_{б.бок}$	$X_{541}=X_{54}'+/54-541/$	$y_{541}= y_{54}'$
65	54'-541'	$0,5 \cdot 3(P)_{б.бок}$	$X_{541}'=X_{54}'-/54-541/$	$y_{54}' = y_{54}'$
66	56'-561	$0,5 \cdot 3(P)_{б.пер}$	$X_{561}=X_{56}'+/56-561/$	$y_{561}= y_{56}'$
67	56'-561'	$0,5 \cdot 3(P)_{б.пер}$	$X_{561}'=X_{56}'-/56-561/$	$y_{561}'= y_{56}'$

$h_{ди}$  – расстояние от уровня ягодичной точки до линии низа изделия

$B_{т}$  - раствор вытачки на талии

$3(P)_{б}$  – запах (раствор) конструкции на бёдрах

**Таблица 4.8 – Методика расчёта вытачек 2D базовой конструкции женской плечевой одежды**

Вытачки на спинке	Боковая вытачка	Вытачки на передё
1	2	3
Раствор вытачек по линии талии		
$B_{т.сп} = K_{т} \cdot (R_{пзз16} - R_{пзз18})$	$B_{т.пер} = K_{т} \cdot (R_{пзп16} - R_{пзп18})$	$B_{т.бок} = K_{т} \cdot (R_{поп16} - R_{поп18})$
<p><math>K_{т}</math> – коэффициент относительного распределения вытачек по талии: <math>K_{т} = \frac{\sum \text{выт.т}}{\sum \Delta R}</math>,  где <math>\sum \text{выт.т}</math> – суммарный раствор вытачек: <math>\sum \text{выт.т} = (0,5 * \text{ОГЗ} + P_{т}) - (0,5 * \text{ОТ} + P_{т})</math>  согласно 3D-модели изделия:</p> $\sum \text{выт.т} = /31 - 37/ - \left( \int_0^{r_{non18}} \sqrt{1 + f_{ellipse}^2(y, r_{пзп18}, r_{поп18}, 0, 0)} dy + \right.$ $\left. + \int_{m_{18}}^{r_{non18}} \sqrt{1 + f_{ellipse}^2(y, r_{пзз18}, r_{поп18}, 0, m_{18})} dy + m_{18} \right)$		

## Продолжение таблицы 4.8

1	2	3
$\sum \Delta R$ – суммарная глубина талии относительно груди: $\sum \Delta R = (R_{пзз16} - R_{пзз18}) + (R_{пзп16} - R_{пзп18}) + (R_{поп16} - R_{поп18})$		
<i>Раствор/заход вытачек по линии талии</i>		
$З(Р)_{б.сп} = K_б \cdot (R_{пзз19} - R_{пзз16})$	$З(Р)_{б.пер} = K_б \cdot (R_{пзз20} - R_{пзз16})$	$З(Р)_{б.бок} = K_б \cdot (R_{поп19}' - R_{поп16})$
$K_б$ – коэффициент относительного распределения дефицита ширины изделия на уровне бёдер: $K_б = \frac{\sum З(Р)}{\sum \text{деф.б}}$		
$\sum З(Р)$ – суммарная глубина талии относительно бёдер: $\sum З(Р) = (R_{пзз19} - R_{пзз16}) + (R_{пзп20} - R_{пзп16}) + (R_{поп19}' - R_{поп16}),$		
$\sum \text{деф. б}$ – суммарный дефицит ширины изделия на уровне бёдер: $\sum \text{деф. б} = (0,5 * ОГЗ + П_г) - (0,5 * ОБ + П_б)$		
согласно 3D-модели изделия:		
$\sum \text{ВЫТ. Т} = /31 - 37/- \left( \int_0^{r_{non19}'} \sqrt{1 + f_{ellipse}^2(y, r_{пзп20}, r_{поп19}', 0, 0)} dy + \int_{m_{19}}^{r_{non19}'} \sqrt{1 + f_{ellipse}^2(y, r_{пзз19}, r_{поп19}', 0, m_{19})} dy + m_{19} \right)$		

**Таблица 4.9 – Математическая модель 2D базовой конструкции женской плечевой одежды**

Наименование среза	Конструктивное обозначение	Функция	Параметры	Примечания
1	2	3	4	5
Середина спинки	11-91	$y = f_{line}(x)$	$x_0 = x_{11}$ $x_1 = x_{91}$ $y_0 = y_{11}$ $y_1 = y_{91}$	$x \in 0$ $y \in [y_{91}; y_{11}]$
Нижний срез спинки	91-94	$y = f_{line}(x)$	$x_0 = x_{91}$ $x_1 = x_{94}$ $y_0 = y_{91}$ $y_1 = y_{94}$	$x \in [0; x_{94}]$ $y \in [y_{91}]$
Боковой срез спинки от линии бёдер до линии низа	541-941	$y = f_{line}(x)$	$x_0 = x_{541}$ $x_1 = x_{941}$ $y_0 = y_{541}$ $y_1 = y_{941}$	$x \in x_{94}$ $y \in [y_{941}; y_{541}]$



Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Боковой срез спинки от линии талии до линии бёдер	441доп-541	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{541}$ $x_1 = x_{441\text{доп}}$ $y_0 = y_{541}$ $y_1 = y_{441\text{доп}}$ $\tan_0 = 0$ $\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \times \frac{x_{441\text{доп}} - x_{541}}{y_{441\text{доп}} - y_{541}}$	$x_{441\text{доп}} = x_{441} + k_{\Gamma}$ $y_{441\text{доп}} = x_{441} - k_{\text{В}}$ $x \in [x_{441\text{доп}}; x_{541}]$ $y \in [y_{541}; y_{441\text{доп}}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий конструкции, исходная функция 3D формы изделия: $f_{11d}$
	441-441доп	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{441}$ $x_1 = x_{441\text{доп}}$ $y_0 = y_{441}$ $y_1 = y_{441\text{доп}}$ $\tan_0 = 0$ $\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \times \frac{x_{441\text{доп}} - x_{541}}{y_{441\text{доп}} - y_{541}}$	$x \in [x_{441}; x_{441\text{доп}}]$ $y \in [y_{441\text{доп}}; y_{441}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий конструкции, исходная функция 3D формы изделия: $f_{10d}$
Верхняя часть бокового среза спинки	441-341	$x = f_{\text{cos}}(y)$	$x_0 = x_{441}$ $x_1 = x_{341}$ $y_0 = y_{441}$ $y_1 = y_{341}$	$x \in [x_{441}; x_{341}]$ $y \in [y_{441}; y_{341}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий конструкции, исходная функция 3D формы изделия: $f_{9d}$
Нижняя часть проймы спинки	332-341	$x = f_{\text{ellipse}}(y)$	$a = x_{341} - x_{332}$ $\Delta a = x_{341}$ $b = y_{332}$ $\Delta b = y_{332} - y_{341}$	$x \in [x_{332}; x_{341}]$ $y \in [y_{341}; y_{332}]$
Верхняя часть проймы спинки	332-14'	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{332}$ $x_1 = x_{14'}$ $y_0 = y_{332}$ $y_1 = y_{14'}$ $\tan_0 = 0$ $\text{tg } \alpha_1 = -1,52 \times \frac{y_{125'} - y_{14'}}{x_{14'} - x_{125'}}$	$x \in [x_{332}; x_{14'}]$ $y \in [y_{332}; y_{14'}]$
Внешняя часть плечевого среза спинки	125'-14'	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{125'}$ $x_1 = x_{14'}$ $y_0 = y_{125'}$ $y_1 = y_{14'}$	$x \in [x_{125'}; x_{14'}]$ $y \in [y_{14'}; y_{125'}]$
Внутренняя часть плечевого среза спинки	121-125	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{125}$ $x_1 = x_{121}$ $y_0 = y_{125}$ $y_1 = y_{121}$	$x \in [x_{121}; x_{125}]$ $y \in [y_{125}; y_{121}]$

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Левая сторона верхней вытачки спинки	22-125	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{22}$ $x_1 = x_{125}$ $y_0 = y_{22}$ $y_1 = y_{125}$	$x \in [x_{22}; x_{125}]$ $y \in [y_{12}; y_{125}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий верхней вытачки спинки, исходные функции: $x = F_{9cd}(m_{161}, z)$ $x = F_{9acd}(m_{161}, z)$
Правая сторона верхней вытачки спинки	22-125'	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{22}$ $x_1 = x_{125}'$ $y_0 = y_{22}$ $y_1 = y_{125}'$	$x \in [x_{22}; x_{125}']$ $y \in [y_{12}; y_{125}']$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий верхней вытачки спинки, исходные функции: $x = F_{9cd}(m_{161}, z)$ $x = F_{9acd}(m_{161}, z)$
Центральная часть горловины спинки	11-111	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{11}$ $x_1 = x_{111}$ $y_0 = y_{11}$ $y_1 = y_{111}$	$x \in [x_{11}; x_{111}]$ $y \in y_{11}$
Боковая часть горловины спинки	111-122-121	$y = f_{\text{parabola3}}(x)$	$x_0 = x_{111}$ $x_1 = x_{122}$ $x_2 = x_{121}$ $y_0 = y_{111}$ $y_1 = y_{122}$ $y_2 = y_{121}$ $\tan \theta = 0$	$x \in [x_{111}; x_{121}]$ $y \in [y_{111}; y_{121}]$
Левая сторона задней вытачки на талии, верхняя часть	421-32	$x = f_{\cos}(y)$	$x_0 = x_{421}$ $x_1 = x_{32}$ $y_0 = y_{421}$ $y_1 = y_{32}$	$x \in [x_{421}; x_{32}]$ $y \in [y_{421}; y_{32}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{13d}$
Левая сторона задней вытачки на талии, нижняя часть	421-52	$x = f_{\cos}(y)$	$x_0 = x_{421}$ $x_1 = x_{52}$ $y_0 = y_{421}$ $y_1 = y_{52}$	$x \in [x_{421}; x_{52}]$ $y \in [y_{52}; y_{421}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{14d}$
Правая сторона задней вытачки на талии, верхняя часть	421'-32	$x = f_{\cos}(y)$	$x_0 = x_{421}'$ $x_1 = x_{32}$ $y_0 = y_{421}'$ $y_1 = y_{32}$	$x \in [x_{32}; x_{421}']$ $y \in [y_{421}'; y_{32}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{13d}$
Правая сторона задней вытачки на талии, нижняя часть	421'-52'	$x = f_{\cos}(y)$	$x_0 = x_{421}$ $x_1 = x_{52}'$ $y_0 = y_{421}$ $y_1 = y_{52}'$	$x \in [x_{52}; x_{421}']$ $y \in [y_{52}; y_{421}']$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{14d}$

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Нижняя часть рельефного среза центральной части спинки для нетиповых фигур	52-92	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{52}$ $x_1 = x_{92}$ $y_0 = y_{52}$ $y_1 = y_{92}$	$x \in x_{52}$ $y \in [y_{92}; y_{52}]$
Нижняя часть рельефного среза боковой части спинки для нетиповых фигур	52'-92'	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{52}'$ $x_1 = x_{92}'$ $y_0 = y_{52}'$ $y_1 = y_{92}'$	$x \in x_{52}'$ $y \in [y_{92}'; y_{52}']$
Середина переда	172-97	$y = f_{\text{line}}(x)$	$x_0 = x_{172}$ $x_1 = x_{97}$ $y_0 = y_{172}$ $y_1 = y_{97}$	$x \in x_{172}$ $y \in [y_{97}; y_{172}]$
Нижний срез переда	97-941'	$y = f_{\text{line}}(x)$	$x_0 = x_{97}$ $x_1 = x_{941}'$ $y_0 = y_{97}$ $y_1 = y_{941}'$	$x \in [x_{941}'; x_{97}]$ $y \in [y_{97}]$
Нижняя часть бокового среза переда от линии бёдер до линии низа	541'-941'	$y = f_{\text{line}}(x)$	$x_0 = x_{541}'$ $x_1 = x_{941}'$ $y_0 = y_{541}'$ $y_1 = y_{941}'$	$x \in x_{941}'$ $y \in [y_{941}'; y_{541}']$
Нижняя часть бокового среза переда от линии талии до линии бёдер	441'доп-541'	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{541}'$ $x_1 = x_{441}'\text{доп}$ $y_0 = y_{541}'$ $y_1 = y_{441}'\text{доп}$ $\tan_0 = 0$ $tg \alpha_1 = -1,52 \times \frac{x_{441\text{доп}} - x_{541}}{y_{441\text{доп}} - y_{541}}$	$x_{441}'\text{доп} = x_{441}' - k_{\Gamma}$ $y_{441}'\text{доп} = x_{441}' - k_{\text{В}}$ $x \in [x_{441}'\text{доп}; x_{541}']$ $y \in [y_{541}'; y_{441}'\text{доп}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{11d}$
	441'-441'доп	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{441}'$ $x_1 = x_{441}'\text{доп}$ $y_0 = y_{441}'$ $y_1 = y_{441}'\text{доп}$ $\tan_0 = 0$ $tg \alpha_1 = 1,52 \times \frac{x_{441\text{доп}} - x_{541}}{y_{441\text{доп}} - y_{541}}$	$x \in [x_{441}'; x_{441}'\text{доп}]$ $y \in [y_{441}'\text{доп}; y_{441}']$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{10d}$
Верхняя часть бокового среза переда	441'-341	$x = f_{\text{cos}}(y)$	$x_0 = x_{441}'$ $x_1 = x_{341}$ $y_0 = y_{441}'$ $y_1 = y_{341}$	$x \in [x_{441}'; x_{341}]$ $y \in [y_{441}'; y_{341}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{9d}$
Нижняя часть проймы переда	352-341	$x = f_{\text{ellipse}}(y)$	$a = x_{341} - x_{352}$ $\Delta a = x_{341}$ $b = y_{352}$ $\Delta b = y_{352} - y_{341}$	$x \in [x_{341}; x_{352}]$ $y \in [y_{341}; y_{352}]$

Продолжение таблицы 4.9

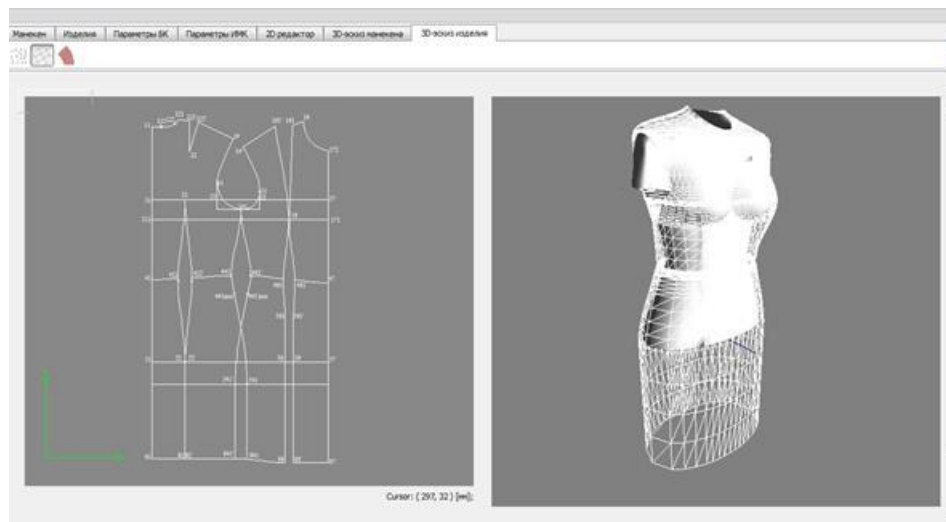
1	2	3	4	5
Верхняя часть проймы переда	352-14''	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{352}$ $x_1 = x_{14''}$ $y_0 = y_{352}$ $y_1 = y_{14''}$ $\tan \alpha_0 = 0$ $\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \times \frac{y_{161'} - y_{14''}}{x_{161'} - x_{14''}}$	$x \in [x_{14''}; x_{352}]$ $y \in [y_{352}; y_{14''}]$
Внешняя часть плечевого среза переда	161'-14''	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{161'}$ $x_1 = x_{14''}$ $y_0 = y_{161'}$ $y_1 = y_{14''}$	$x \in [x_{14''}; x_{161'}]$ $y \in [y_{14''}; y_{161'}]$
Внутренняя часть плечевого среза переда	16-161	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{16}$ $x_1 = x_{161}$ $y_0 = y_{16}$ $y_1 = y_{161}$	$x \in [x_{161}; x_{16}]$ $y \in [y_{161}; y_{16}]$
Правая сторона верхней вытачки переда	36-161	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{36}$ $x_1 = x_{161}$ $y_0 = y_{36}$ $y_1 = y_{161}$	$x \in [x_{36}; x_{161}]$ $y \in [y_{36}; y_{161}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий верхней вытачки спинки, исходные функции: $x = f_4 d$ $x = F_2 d(r_{\text{поп}16'}, z)$ $x = F_{1\text{эп}} d(r_{\text{поп}16'}, z)$
Левая сторона верхней вытачки переда	36-161'	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{36}$ $x_1 = x_{161'}$ $y_0 = y_{36}$ $y_1 = y_{161'}$	$x \in [x_{161'}; x_{36}]$ $y \in [y_{36}; y_{161'}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий верхней вытачки спинки, исходные функции: $x = f_4 d$ $x = F_2 d(r_{\text{поп}16'}, z)$ $x = F_{1\text{эп}} d(r_{\text{поп}16'}, z)$
Горловина переда	16-172	$y = f_{\text{ellipse}}(x)$	$a = y_{17} - y_{172}$ $\Delta a = x_{16} + (y_{17} - y_{172})$ $b = y_{17} - y_{172}$ $\Delta b = y_{172} + (y_{17} - y_{172})$	$x \in [x_{16}; x_{172}]$ $y \in [y_{172}; y_{16}]$
Левая сторона передней вытачки на талии, верхняя часть	461-36	$x = f_{\text{cos}}(y)$	$x_0 = x_{461}$ $x_1 = x_{36}$ $y_0 = y_{461}$ $y_1 = y_{36}$	$x \in [x_{461}; x_{36}]$ $y \in [y_{461}; y_{36}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{5-6} \cdot d$
Левая сторона передней вытачки на талии, нижняя часть	461-56	$x = f_{\text{cos}}(y)$	$x_0 = x_{461}$ $x_1 = x_{56}$ $y_0 = y_{461}$ $y_1 = y_{56}$	$x \in [x_{461}; x_{56}]$ $y \in [y_{56}; y_{461}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_6 d$

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4	5
Правая сторона передней вытачки на талии, верхняя часть	461'-36	$x = f_{\cos}(y)$	$x_0 = x_{461'}$ $x_1 = x_{36}$ $y_0 = y_{461'}$ $y_1 = y_{36}$	$x \in [x_{36}; x_{461'}]$ $y \in [y_{461'}; y_{36}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{5-6'd}$
Правая сторона передней вытачки на талии, нижняя часть	461'-56'	$x = f_{\cos}(y)$	$x_0 = x_{461'}$ $x_1 = x_{56'}$ $y_0 = y_{461'}$ $y_1 = y_{56'}$	$x \in [x_{56'}; x_{461'}]$ $y \in [y_{56'}; y_{461'}]$ Соответствие кривизны 2D и 3D линий, исходная функция 3D формы изделия: $f_{6'd}$
Нижняя часть рельефного среза центральной части переда для нетиповых фигур	56-96	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{56}$ $x_1 = x_{96}$ $y_0 = y_{56}$ $y_1 = y_{96}$	$x \in x_{56}$ $y \in [y_{96}; y_{56}]$
Нижняя часть рельефного среза боковой части спинки для нетиповых фигур	56'-96'	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{56'}$ $x_1 = x_{96'}$ $y_0 = y_{56'}$ $y_1 = y_{96'}$	$x \in x_{56'}$ $y \in [y_{96'}; y_{56'}]$

Разработанные математические модели пространственной формы фигуры человека, проектируемого изделия и развёртки его поверхности на плоскость представляют собой единую параметрическую систему взаимосвязанных параметров, включающих размерные признаки фигуры, конструктивные прибавки, проекционные зазоры, конструктивные параметры. При изменении любого из этих параметров происходит автоматизированный перерасчет значений соответствующих взаимосвязанных параметров и редактирование результата 3D визуализации проектируемого изделия, что отражается на внешнем образе графического решения одежды (Рисунок 4.9).

Такое решение процесса проектирования конструкций позволяет организовать информационную взаимосвязь между объектом и субъектом проектирования как на этапах проектирования, так и на этапах изготовления изделия.



**Рисунок 4.9 – Проектирование манекена и конструкции женской одежды в интерактивной виртуальной системе**

#### **4.4 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ВИРТУАЛЬНОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ОДЕЖДЫ В УНИВЕРСАЛЬНОЙ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ САПР**

Информация, заданная в трехмерной виртуальной модели одежды, является основой визуального образа проектируемого изделия и источником параметрических данных для его цифрового описания. Для формирования рабочей проектной документации, исходя из цифрового описания изделия, разработан способ виртуального проектирования, который технически реализован на платформе интегрированной САПР, включающей модули эскизного проектирования *Eleandr Sketch* (Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2011612237), конструирования *Eleandr CAD* (Свидетельства о госрегистрации программы для ЭВМ № 2007613734, № 2007615071, № 2007615072) и разработки технологии изготовления изделий *Eleandr CAPP* (Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2008611846), которые могут обеспечить автоматизацию как полного цикла процесса проектирования одежды, так и его отдельных этапов [433, 434, 435, 436, 437]. В зависимости от технической оснащенности швейного производства вышеуказанные модули САПР могут интегрироваться как между собой, так и с отдельными модулями других САПР одежды,

ранее внедренных в производственный процесс. В универсальной и специализированной среде разработанной системы *Eleandr CAD* реализованы возможности:

- ✓ решения прямой задачи конструирования, а именно разработки конструкции изделия на основе исходной информации, заданной эскизом;
- ✓ свободного моделирования;
- ✓ импорта и редактирования конструкций из сторонних программных модулей.

На рисунке 4.10 показаны варианты включения внешних модулей в процесс проектирования одежды на разработанной программной платформе *Eleandr CAD*. Так, получение информации, заданной художественным эскизом, может быть организовано разными способами (Рисунок 4.10, *голубые стрелки*):

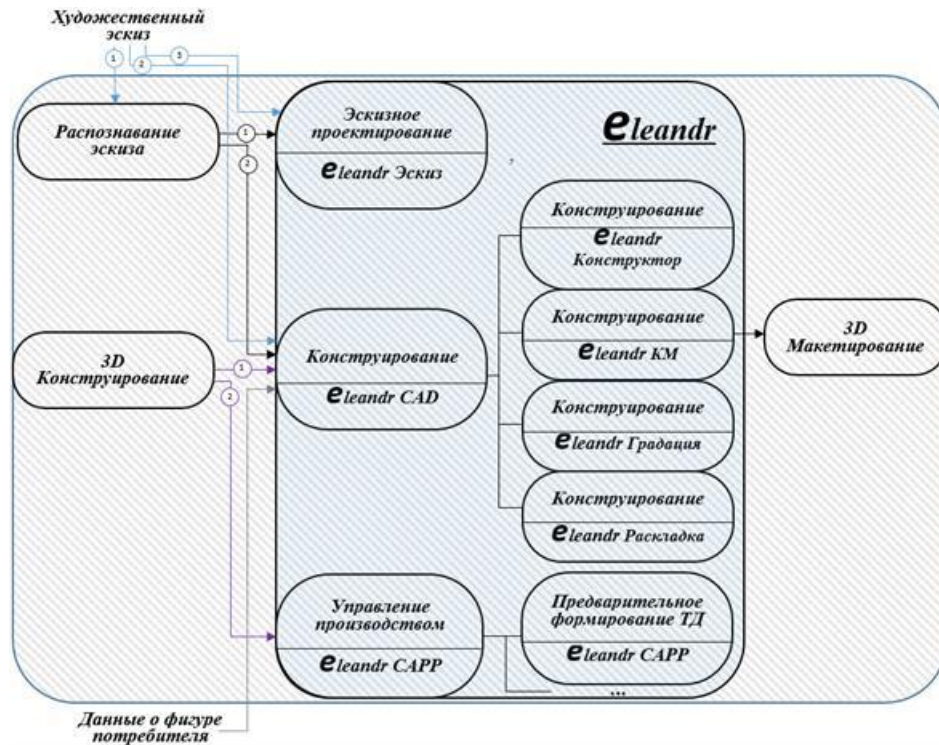
- 1) путём автоматизированного или полуавтоматизированного считывания информации с использованием программного модуля «Распознавание эскиза», преобразования полученных данных в цифровое описание объекта для последующей передачи на этапы конструирования;
- 2) путём субъективного вербального описания объекта специалистом, систематизации полученных данных в таблице и их внесения в программные модули САПР для построения конструкции;
- 3) путём внесения данных субъективного описания эскиза специалистом в программный модуль эскизного проектирования для последующего редактирования 3D эскиза и передачи цифрового описания объекта на другие этапы проектирования.

Передача цифровой информации, аккумулированной в программном модуле распознавания художественного эскиза, может быть осуществлена путем (см. Рисунок 4.10, *черные стрелки*):

- 1) формирования цифрового описания технического эскиза проектируемого изделия в автоматизированном или полуавтоматизированном режиме;
- 2) непосредственного перехода цифрового описания проектируемого объекта в программные модули конструирования.

Программный модуль трехмерного конструирования может использоваться как в комбинации с плоскостным конструированием (см. Рисунок 4.10, вариант 1 *фиолетовые стрелки*), так и в качестве самостоятельного модуля проектирования конструкций, из которого информация о параметрах конструкции может сразу передаваться для

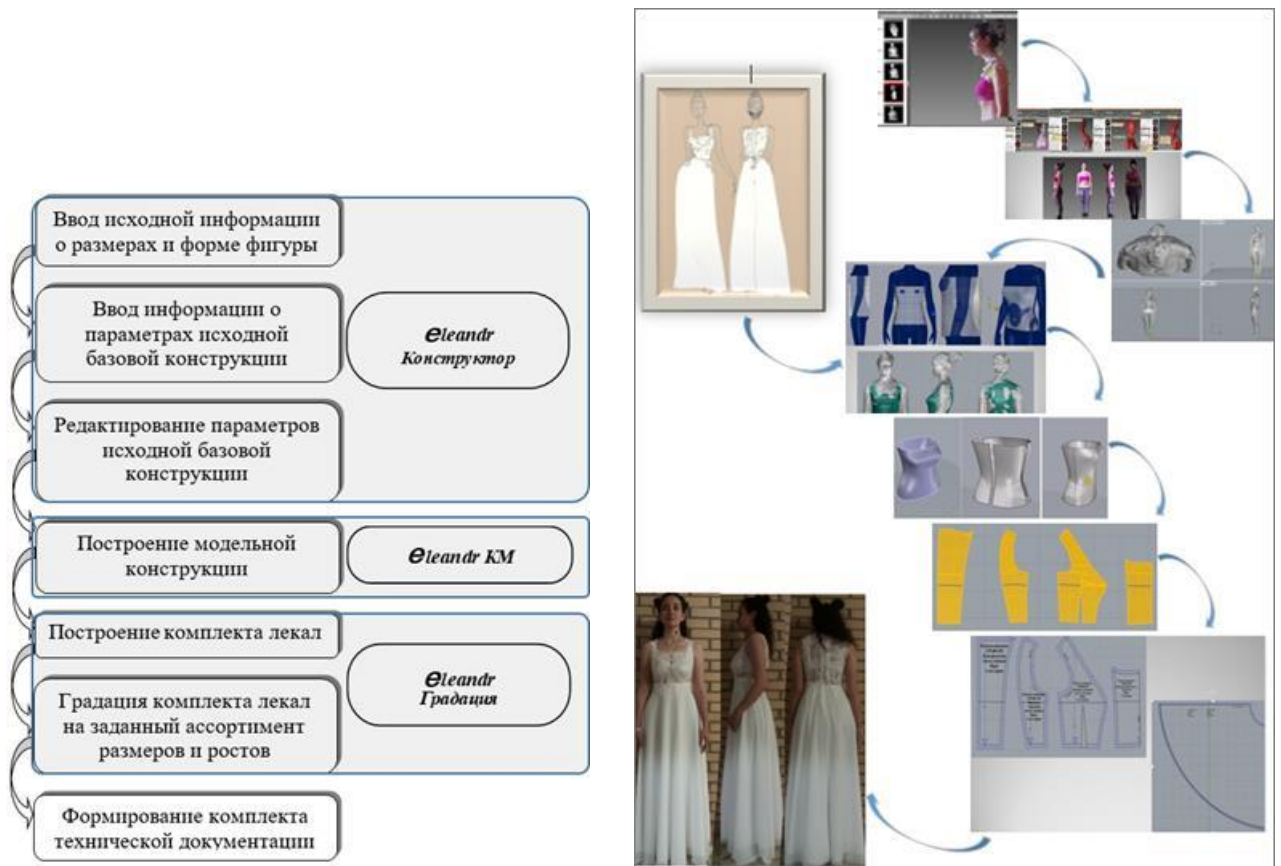
разработки технологии изготовления изделия в программный модуль *Eleandr CAPP* (см. Рисунок 4.10, вариант 2 фиолетовые стрелки).



**Рисунок 4.10 - Структура этапов виртуального проектирования в САПР *Eleandr***

В программном модуле конструирования цифровое описание проектируемого изделия наполняется данными, достаточными для формирования технологической последовательности изготовления изделия и визуализации трехмерной виртуальной модели одежды. Разработанные методы виртуального проектирования, реализованные в системе *Eleandr CAD* интуитивно понятны конструктору, отражают традиционный процесс проектирования одежды, обеспечивая конструктора необходимой информационной поддержкой в процессе работы [111]. Последовательность этапов виртуального проектирования одежды в *Eleandr CAD* представлена на рисунке 4.11. Реализация этапов виртуального проектирования одежды проиллюстрирована на примере женского свадебного платья, предназначенного для индивидуальной фигуры. Для информационного обеспечения процесса проектирования установлены алгоритмы получения информации, позволяющие вносить изменения в параметры конструкции в автоматизированном режиме, и определены рекомендуемые параметры информационного массива. Интеллектуализация интерактивных диалогов в САПР осуществлена путем выделения оптимальных значений конструктивных параметров, используемые в системе в качестве «параметров по умолчанию».



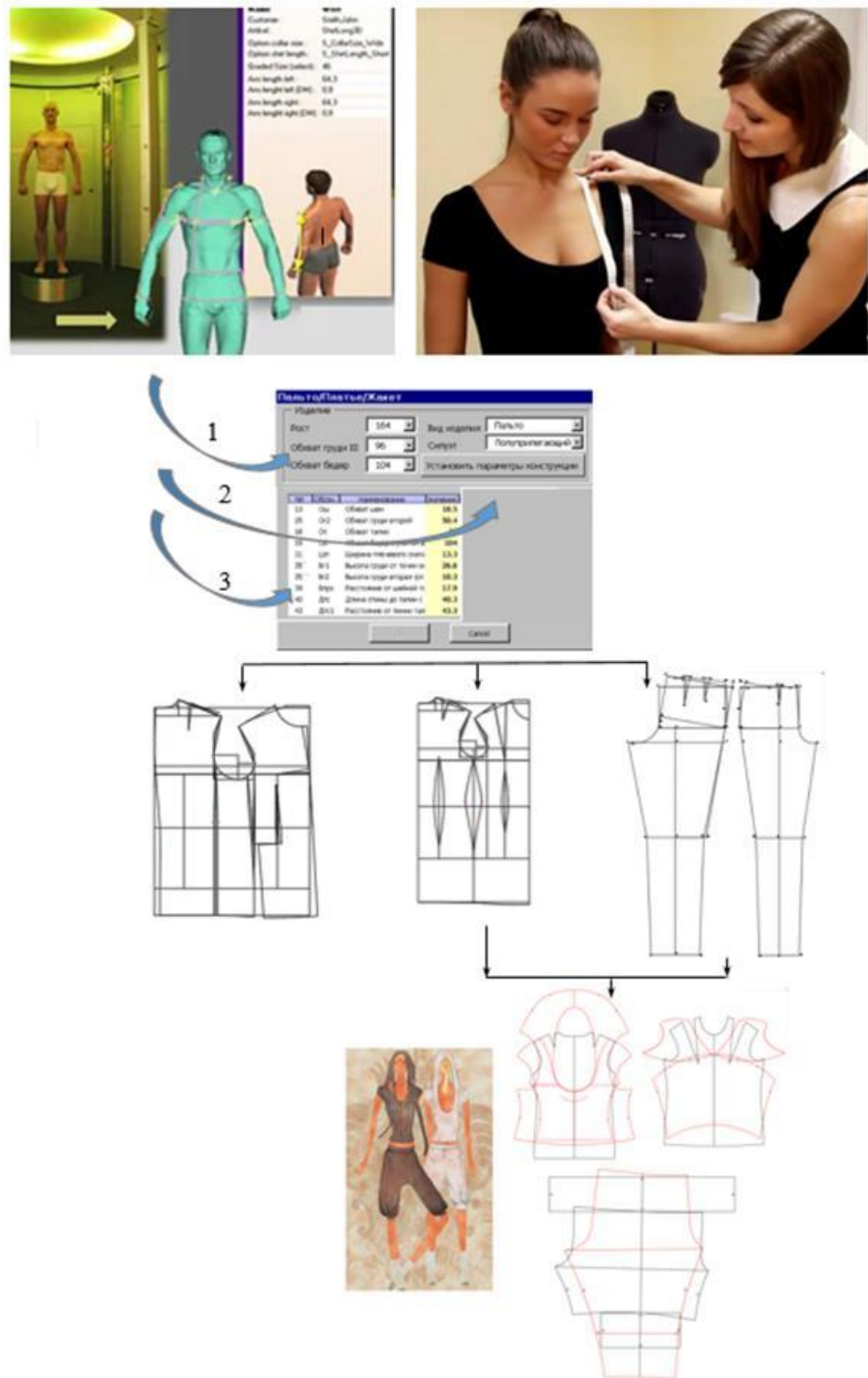


**Рисунок 4.11 – Схема этапов виртуального проектирования одежды в *Eleandr CAD* и их визуализация**

### **Разработка метода виртуального проектирования базовых конструкций одежды (программный модуль *Eleandr конструктор*)**

Возможность проектирования конструкций на разные типы фигур реализована на этапе ввода исходной информации о размерах и форме фигуры человека, полученной контактным, бесконтактным или другими способами, в следующих сценариях «пользователь-система» (Рисунок 4.12):

- ✓ ввод трех ведущих размерных признаков (РП), обозначающих типовую фигуру (*пользователь*) - генерация таблицы с используемыми при построении базовой конструкции (БК) размерными признаками по данным Отраслевого стандарта ОСТ 17-326-81 в соответствии с выбранным размером изделия (*система*);
- ✓ задание нетипового размера (*пользователь*) - генерация таблицы размерных признаков, рассчитанных относительно размерных признаков типовых фигур (*система*);
- ✓ ввод значений размерных признаков в соответствии с индивидуальными параметрами фигуры.



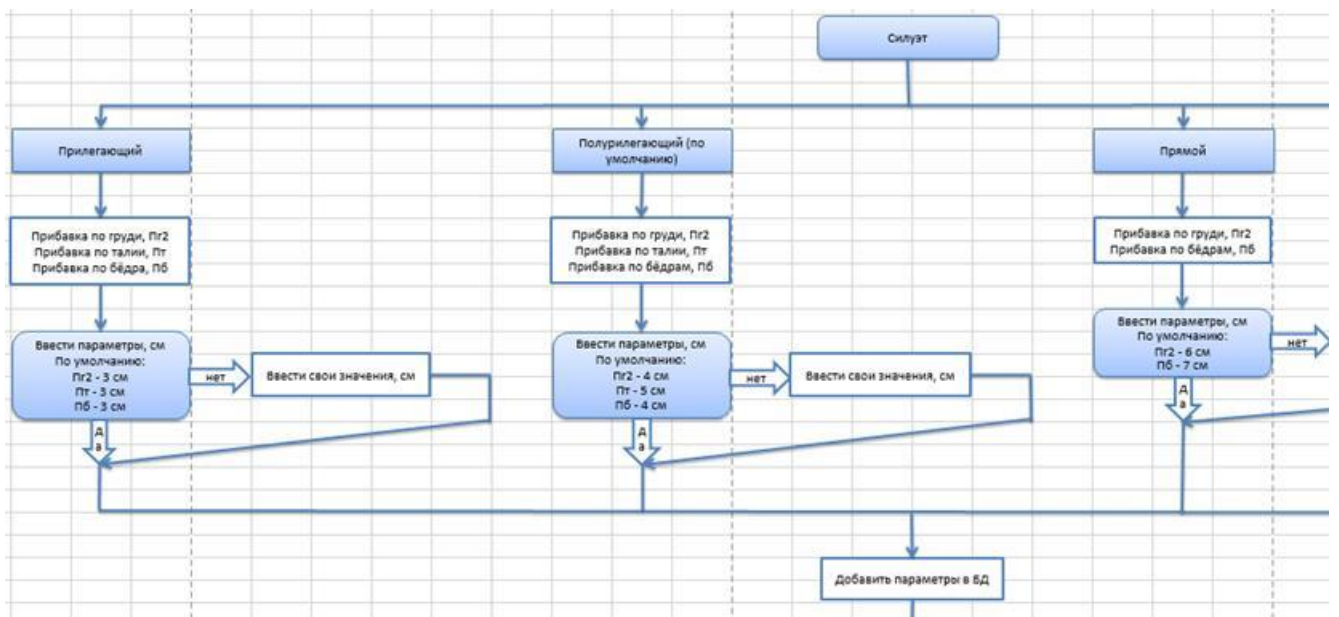
**Рисунок 4.12 – Способы ввода размерных признаков в САПР**

Наименование и количество выбранных размерных признаков зависят от ассортимента и назначения изделия. В системе предложено три варианта обозначения размерных признаков: номер, условное обозначение и наименование. Для расчета параметров исходной базовой конструкции и определения параметров силуэтной формы в нашей системе используются:

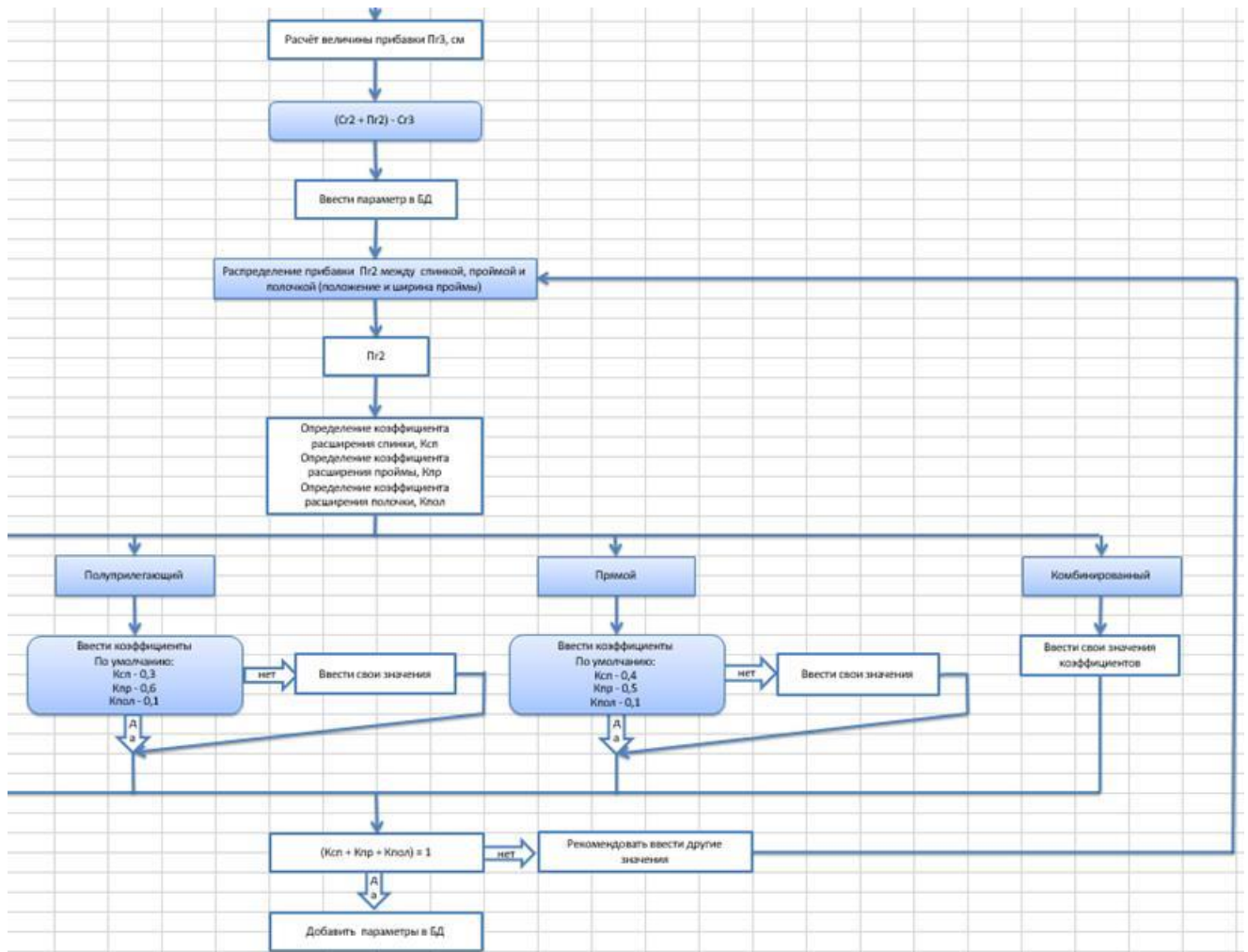
- ✓ значения конструктивных прибавок;

✓ параметры формообразующих элементов.

Основным признаком, определяющим внешний вид изделия, является силуэтная форма. Формально в методиках автоматизированного конструирования выделяют три вида силуэта: прилегающий, полуприлегающий, прямой, так как использование большего количества силуэтов в режиме диалога нецелесообразно из-за сложности однозначного обозначения интервала значений прибавок для каждого силуэта. Поэтому для выбора конструктором произвольных значений прибавок добавлен силуэт «комбинированный». В разработанном алгоритме для каждого из силуэтов установлены определённые значения прибавок по линиям груди, талии и бёдер (Рисунок 4.13), на основании которых рассчитаны или установлены величины остальных конструктивных прибавок (Рисунок 4.14). Значения или диапазоны рекомендуемых прибавок определены в соответствии с данными, полученными по результатам экспериментального исследования современных образцов одежды.

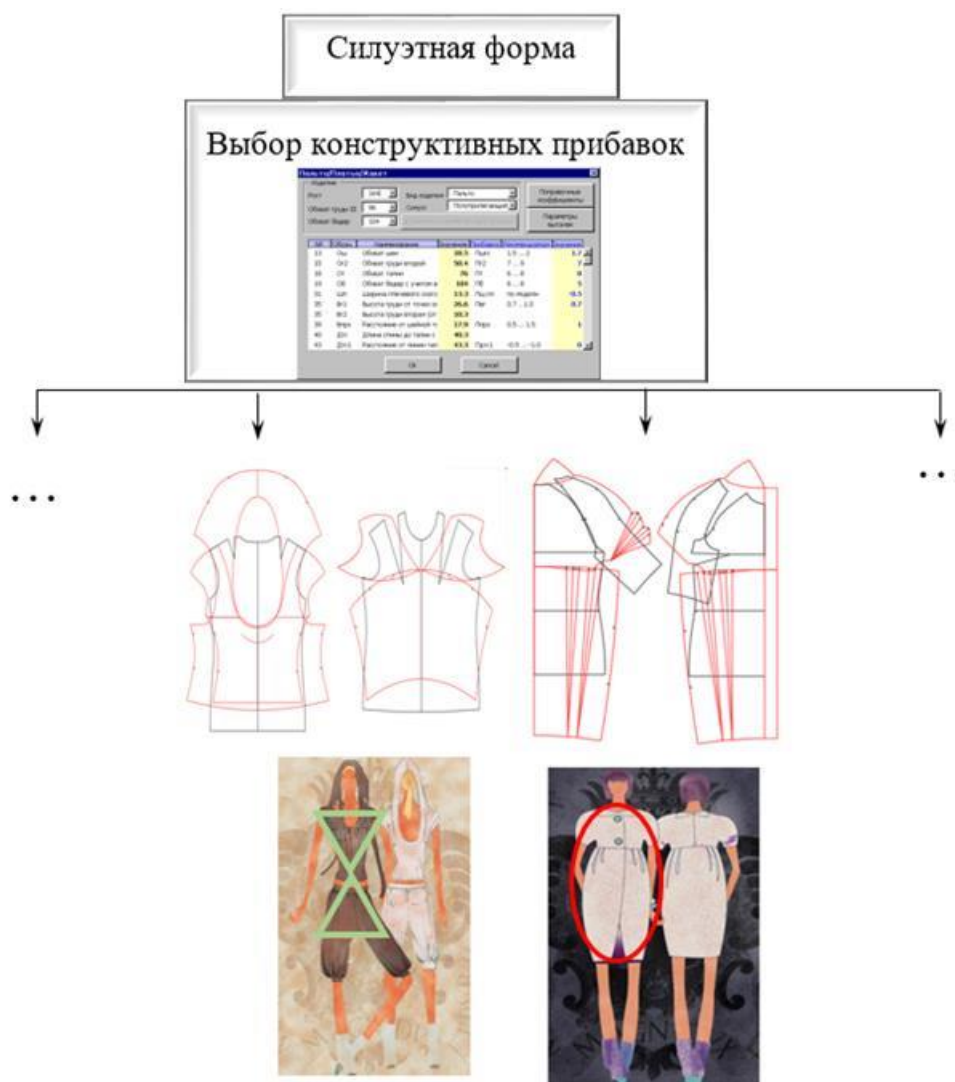


**Рисунок 4.13 – Выбор значений прибавок по линиям груди, талии и бёдер (фрагмент алгоритма получения информации)**



**Рисунок 4.14 – Выбор значений конструктивных прибавок (фрагмент алгоритма получения информации)**

Результаты алгоритмизации процесса выбора конструктивных прибавок на свободу облегания реализованы в программном модуле конструирования системы автоматизированного проектирования (*Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2007613734*) [433]. Благодаря повышению уровня интеллектуализации диалогов в системе отображаются рекомендуемые числовые интервалы прибавок, которые установлены в зависимости от вида изделия и его силуэта (Рисунок 4.15), и рекомендуемые значения конструктивных параметров, заданные «по умолчанию».



**Рисунок 4.15 – Схема выбора и ввода значений конструктивных прибавок для задания объемной формы изделия**

Параметризация формообразующих элементов базовой конструкции одежды различного ассортимента опирается на типовые приемы формообразования и определение его параметров. Алгоритм получения информации для определения параметров формообразования проиллюстрирован на примере проектирования вытачек плечевых и поясных изделий, являющихся наиболее часто используемым конструктивным средством формообразования одежды (Рисунки 4.16 - 4.18).

Алгоритмы определения параметров формообразующих элементов реализованы в системе в виде диалогов. Для удобства пользователя предложена графическая схема, отображающая искомые параметры формообразующих элементов. Так, например, во вкладке «Спинка» окна интерфейса «Задание параметров вытачек» указываются такие параметры плечевой вытачки спинки, как раствор, направление и длина вытачки.



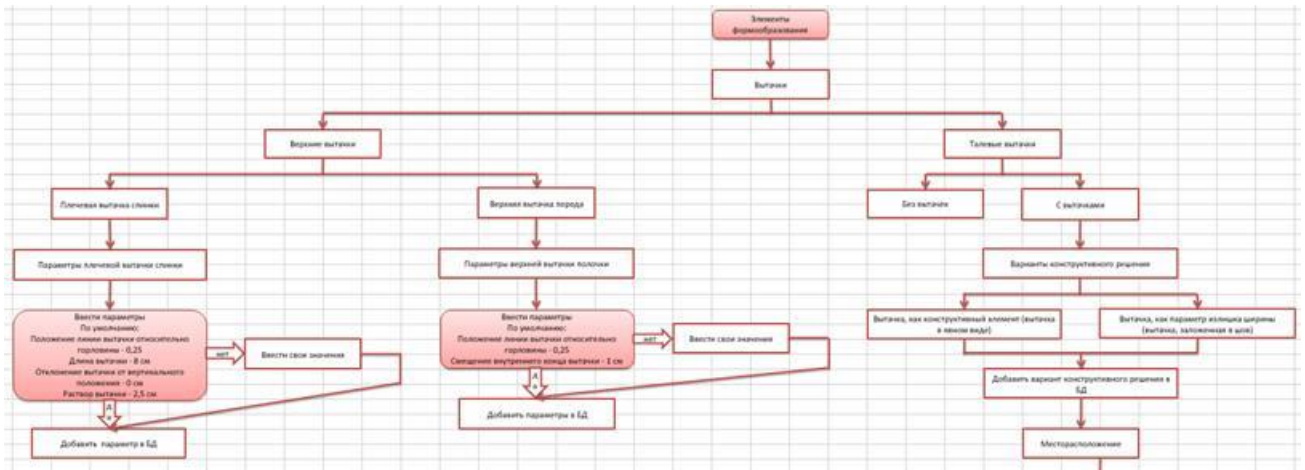


Рисунок 4.16 – Фрагмент алгоритма определения параметров верхних выточек

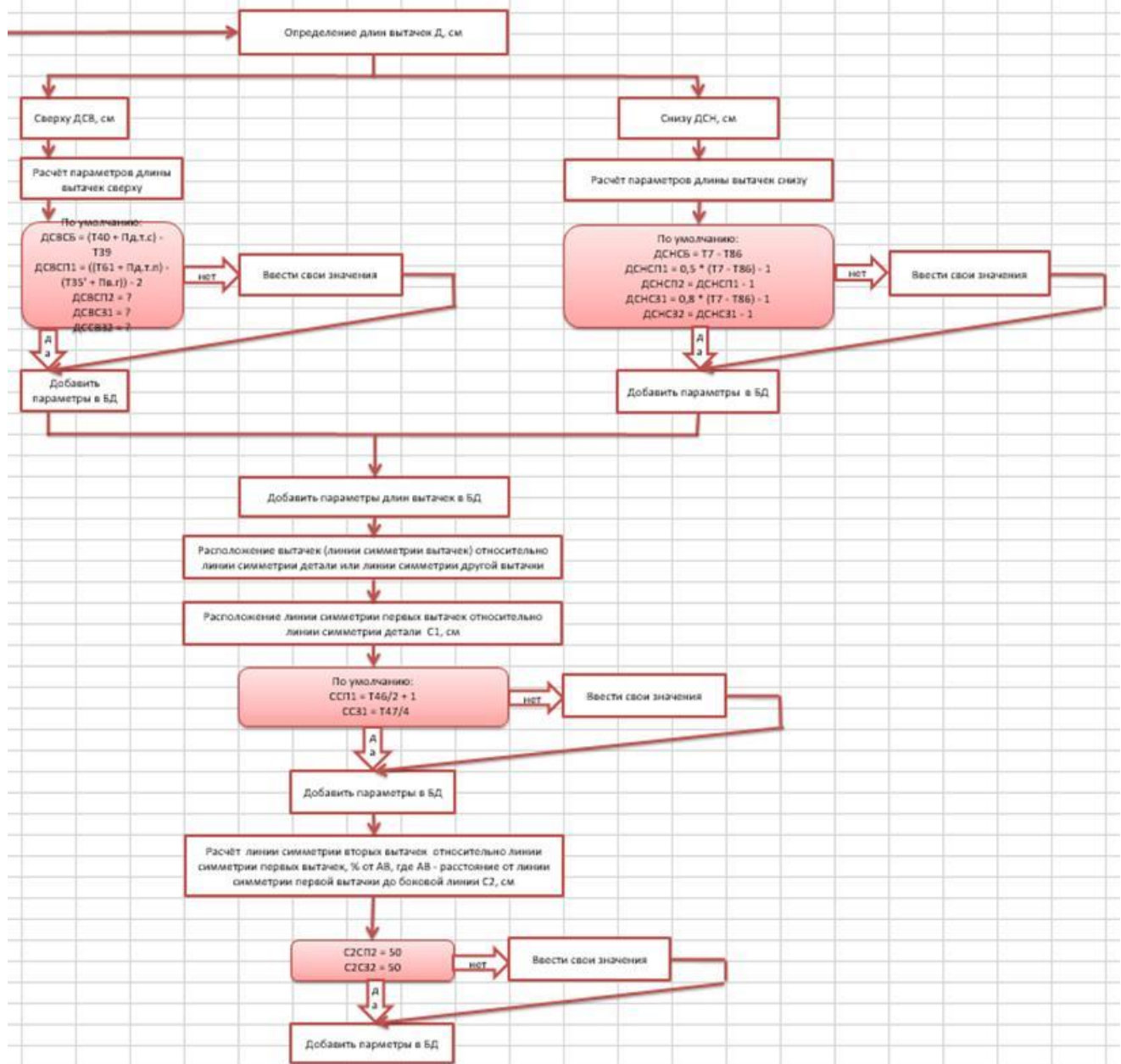
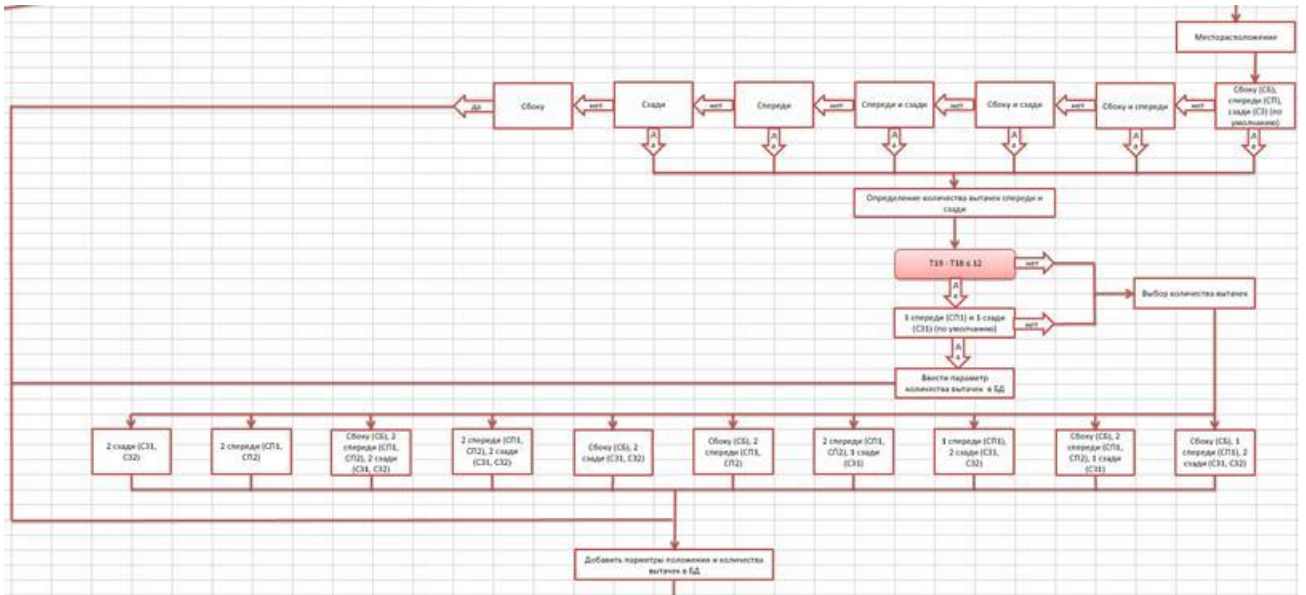


Рисунок 4.17 – Фрагмент алгоритма определения параметра длины выточек по линии талии



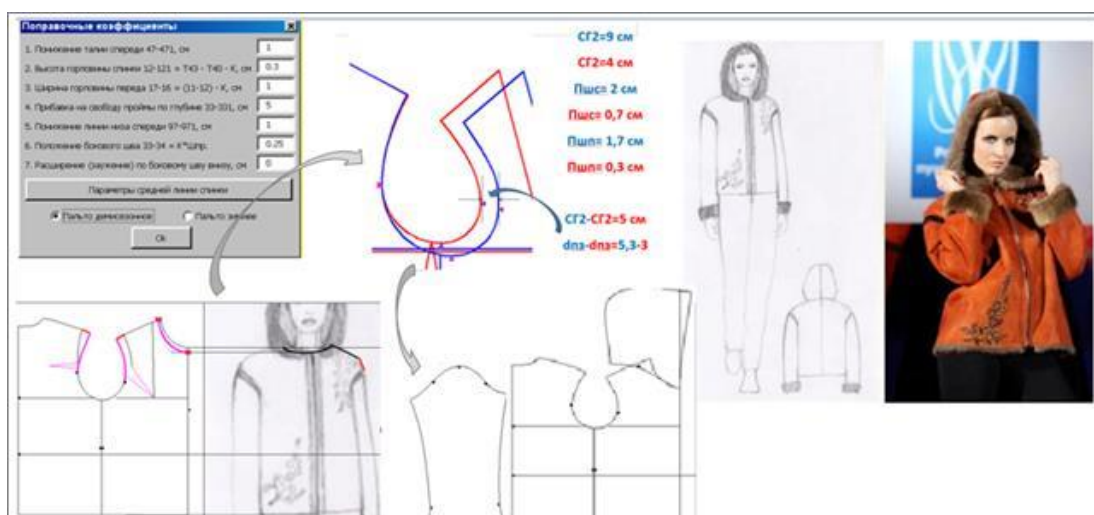
**Рисунок 4.18 – Фрагмент алгоритма определения расположения выточек по линии талии**

Во вкладке «Талия» окна интерфейса «Задание параметров выточек» задается процентное распределение суммарного раствора выточек по линии талии. При этом пользователь видит на экране величину суммарного раствора выточек (см), вычисляет раствор каждой из них (см) в соответствии с выбранным процентным распределением. Функцию, аналогичную используемой при построении выточек, используют в качестве конструктивного средства формообразования складок, сборок и защипов, основными параметрами которых выступают степень выраженности формы (величина раствора) и центр концентрации формы (длина раствора) (Рисунок 4.19).



**Рисунок 4.19 – Формообразования переда путем проектирования мягких складок**

Другим параметрическим инструментом, посредством которого можно управлять конструктивными параметрами и параметрами внешней формы изделия, являются поправочные коэффициенты, позволяющие учитывать ассортиментную группу изделия и свойства используемых материалов. В результате экспериментальных исследований конструктивных параметров одежды широкого ассортимента и формообразующих параметров различных материалов, проведенных совместно с *Гусевой М.А.*, сформированы наборы поправочных коэффициентов, позволяющие обоснованно корректировать базовую конструкцию проектируемых изделий (*Свидетельства о госрегистрации баз данных № 2019620688, №2019620689, №2019621729*) (Рисунок 4.20) [429, 430, 432]. При необходимости конструктор может изменять значения поправочных коэффициентов в программном модуле САПР.



**Рисунок 4.20 – Построение базовой конструкции с учетом поправочных коэффициентов**

### **Разработка методов виртуального проектирования модельных конструкций**

Для разработки модельных конструкций одежды выделены и реализованы два основных метода, обеспечивающих взаимосвязь между информацией эскиза и конструкции и позволяющих прогнозировать и строить пространственную форму изделия в виртуальной среде:

- метод комбинаторного моделирования (ориентированный на создание изделий и коллекций относительно устойчивого ассортимента, такого как мужские сорочки);
- метод параметрического конструктивного моделирования.



### ***Метод комбинаторного моделирования конструкций одежды***

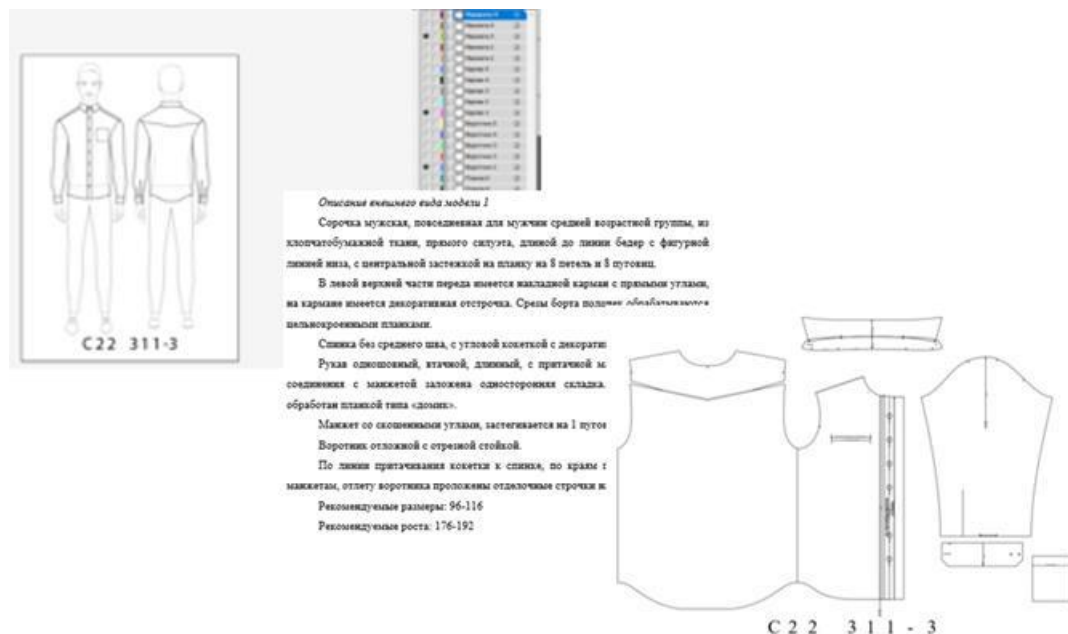
Для реализации программного модуля «*Проектирование конструкций*» разработано информационное обеспечение в виде баз данных из взаимосвязанных элементов блока двухмерного эскиза и описания изделия; блока конструкции; блока трехмерного отображения модели, в которых каждому элементу одного блока поставлен в соответствие элемент другого блока. Представление двухмерного эскиза связано с традиционным использованием эскизов-рисунков на большинстве швейных предприятий, что позволяет увеличить круг потенциальных пользователей. Трехмерное отображение модели предлагается выполнять с помощью программных приложений, совместимых с САПР одежды, благодаря однозначному определению связующих параметров и элементов базы данных проектируемого ассортимента продукции. Для построения конструкции изделия может использоваться функционал различных САПР одежды, в том числе *Eleandr CAD*, адаптированный к извлечению информации из вышеописанных баз данных, в которых каждый графический элемент связан с конструкцией изделия, а изменения в конструкции сопровождаются одновременной модификацией эскиза и трехмерного отображения изделия в виртуальной среде.

Реализацию метода комбинаторного моделирования конструкций одежды можно представить на примере *разработки унифицированных элементов эскизов мужских сорочек* для создания новых моделей этого ассортимента. Разнообразие моделей мужских сорочек достигается за счет вариаций основных и декоративных деталей и элементов изделия, унификация которых прежде всего связана с единообразием соединительных срезов деталей (срезов проймы и оката рукава; срезов горловины и линии втачивания воротника в горловину). Вариативность *деталей переда и спинки* мужских сорочек достигается за счет:

- силуэтной формы (прямой и полуприлегающей) (Приложение 3, Рисунок. 3.1);
- вариантов оформления линии низа (прямая, фигурная или фигурная с удлиненной спинкой) (Приложение 3, Рисунок. 3.2);
- вариантов конструктивного решения кокетки (прямая на спинке или угловая) (Приложение 3, Рисунок. 3.3);
- вариантов складок на спинке (без складок, бантовая центральная складка, односторонние симметричные складки) (Приложение 3, Рисунок. 3.4)

Вариативность *деталей рукавов и манжет* достигается за счет выбора вида застежки, количества пуговиц, оформления углов манжет (Приложение 3, Рисунок. 3.5). Вариативность *деталей воротника* достигается за счет выбора вида застежки, конструктивного решения, оформления отлета и концов воротника (Приложение 3, Рисунок 3.6). Вариативность *деталей карманов* достигается за счет оформления сторон и входа в карман, наличия декоративных элементов (складок и т.п.), различных технологических решений (Приложение 3, Рисунок. 3.7). Вариативность *деталей застёжки* достигается за счет выбора разных конструктивных и технологических решений (Приложение 3, Рисунок. 3.8). Кодировка каждого конструктивного элемента представлена в Приложении 3, Таблица 3.1.

*Чертежи конструкций унифицированных деталей мужской сорочки* первоначально строят, ориентируясь на параметры, задаваемые эскизом, затем выбирают ряд типовых конструктивных решений, которые могут выступать в качестве составных элементов проектируемых изделий (Приложение 3, Рисунок. 3.9). Таким образом, конструкцию мужской рубашки на определённый размер-рост собирают из составных блоков-частей, в наибольшей степени подходящих разрабатываемой модели, из элементов, представленных в базе данных. В процессе поэтапного синтеза проектируемого изделия формируется его техническое описание (Рисунок 4.21).



**Рисунок 4.21 – Формирование эскиза и конструкции методом комбинаторного моделирования**

### ***Метод виртуального конструктивного моделирования одежды***

Конструктивное моделирование направлено на создание неограниченного множества принципиально новых проектных решений одежды разнообразного ассортимента и ориентировано на решение как расчетно-технических задач, легко формализуемых с помощью алгоритмизации последовательных операций, так и творческих трудноформализуемых задач, для решения которых полезно использовать интеллектуальные технологии, обеспечивающие конструктору необходимую и своевременную поддержку для принятия решений, помогающие распознавать и визуализировать образы изделий, предоставляющие рекомендации или элементы готовых решений из баз имеющихся знаний.

В разработанном программном модуле *Eleandr KM* для построения модельных конструкций одежды предлагается использовать метод конструктивного моделирования ранее полученных базовых конструкций (*Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ № 2007615072*) [435].

Для каждого из четырех видов конструктивного моделирования, выделенных в теории конструирования [38], определены параметрические характеристики, используемые в процессе преобразования деталей конструкции, определен способ организации диалога пользователя и системы при моделировании конструкции, разработаны элементы информационного описания процесса моделирования для визуализации графического образа и подготовки проектной документации. Разработка информационного обеспечения для 1-го вида конструктивного моделирования включает следующие стадии (Рисунок 4.22):

- определение вида конструктивных элементов;
- выявление параметров, изменение которых ведёт к модификации конструкции;
- установление способов изменения параметров;
- организация «человеко-машинного» диалога для изменения параметров конструктивных элементов.



**Рисунок 4.22 – Информационное обеспечение конструктивного моделирования 1-го вида**

Разработка информационного обеспечения для выполнения конструктивного моделирования воротников проиллюстрирована в Таблице 4.10 и на Рисунке 4.23.

**Таблица 4.10 – Информационное обеспечение моделирования конструкций воротников**

<i>Вид воротника</i>		
Пиджачный	Способ организации диалога	Отложной
Изменяемые параметры		Изменяемые параметры
ширина отлета высота стойки ширина борта ширина лацкана ширина борта толщина пакета материала оттягивание среза стойки оттягивание среза отлета	путем ввода значения	ширина отлета высота стойки отклонение конца воротника длина конца воротника
отрезная стойка цельнокроеная стойка		значение прямолинейного отрезка воротника на срезе втачивания в горловину отрезная стойка цельнокроеная стойка
начало сгиба лацкана положение верхней петли	указание на чертеже	исходная горловина модельная горловина



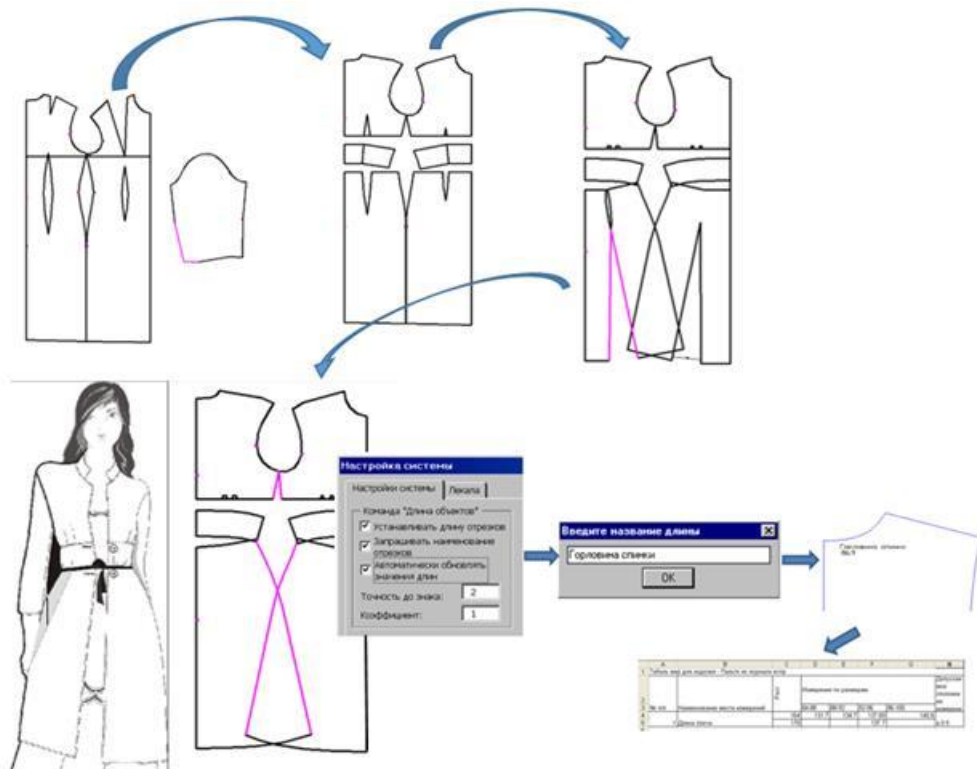
**Рисунок 4.23 – Конструктивное моделирование воротников:**  
**а) пиджачного; б) отложного**

Приемы виртуального конструктивного моделирования 2-го вида можно продемонстрировать на примере конического расширения (Рисунок 4.24).



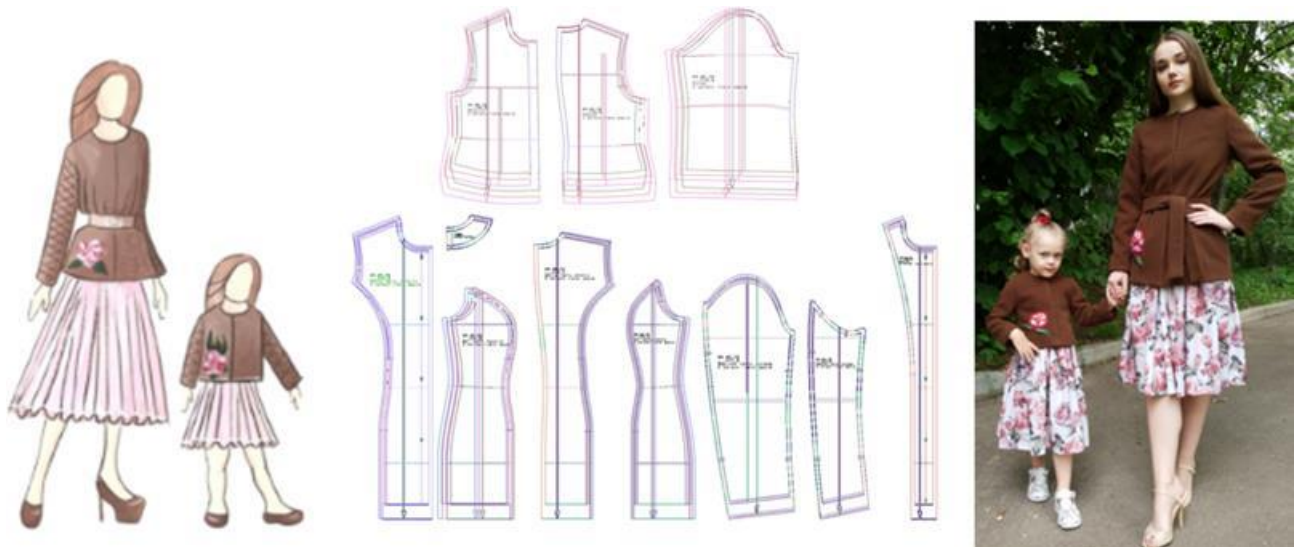
**Рисунок 4.24 – Виртуальное моделирование конического расширения конструкции**

С помощью программного модуля *Eleandr KM* в автоматизированном режиме выполняют приемы конструктивного моделирования 3-го вида для построения рукавов различных покроев, в том числе рубашечного типа и рукава реглан. Преимуществом реализованного в *Eleandr CAD* метода конструктивного моделирования является возможность творческого подхода к проектированию конструкций при параметрическом отслеживании цифровой информации о линиях (Рисунок 4.25) или деталях конструкции, на основании которой может быть построена цифровая трехмерная модель изделия.



**Рисунок 4.25 – Преобразование цифрового описания конструкции в процессе её моделирования**

Окончательный комплект проектно-конструкторской документации включает всю информацию, необходимую для изготовления изделий заданного диапазона размеров и ростов в условиях массового производства (Рисунок 4.26) [434].

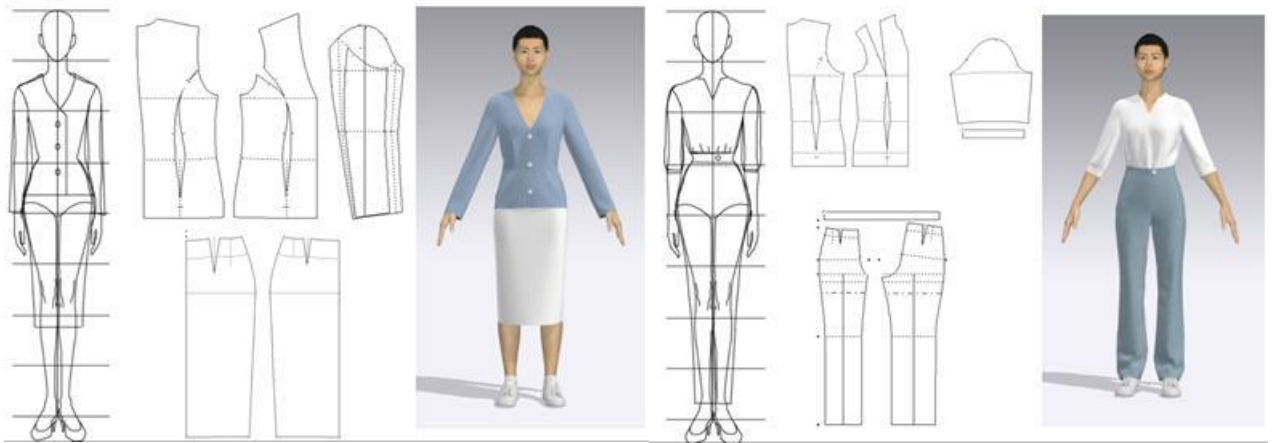


**Рисунок 4.26 – Комплект конструкторской документации для изготовления женского и детского пальто**

При изменении каких-либо параметров проектируемого объекта на любом этапе его разработки происходит автоматический перерасчет и изменение всех взаимосвязанных параметров, что сразу отображается и на графическом отображении



внешнего вида изделия. Формат, используемый в системе *Eleandr CAD*, позволяет импортировать чертеж конструкции и цифровую информацию о параметрах конструкции в другие программные приложения. Преимуществом разработанного модуля конструктивного моделирования *Eleandr CAD* является возможность его интеграции с программными модулями различных САПР одежды, которые могли быть ранее приобретены швейными предприятиями (Рисунок 4.27).

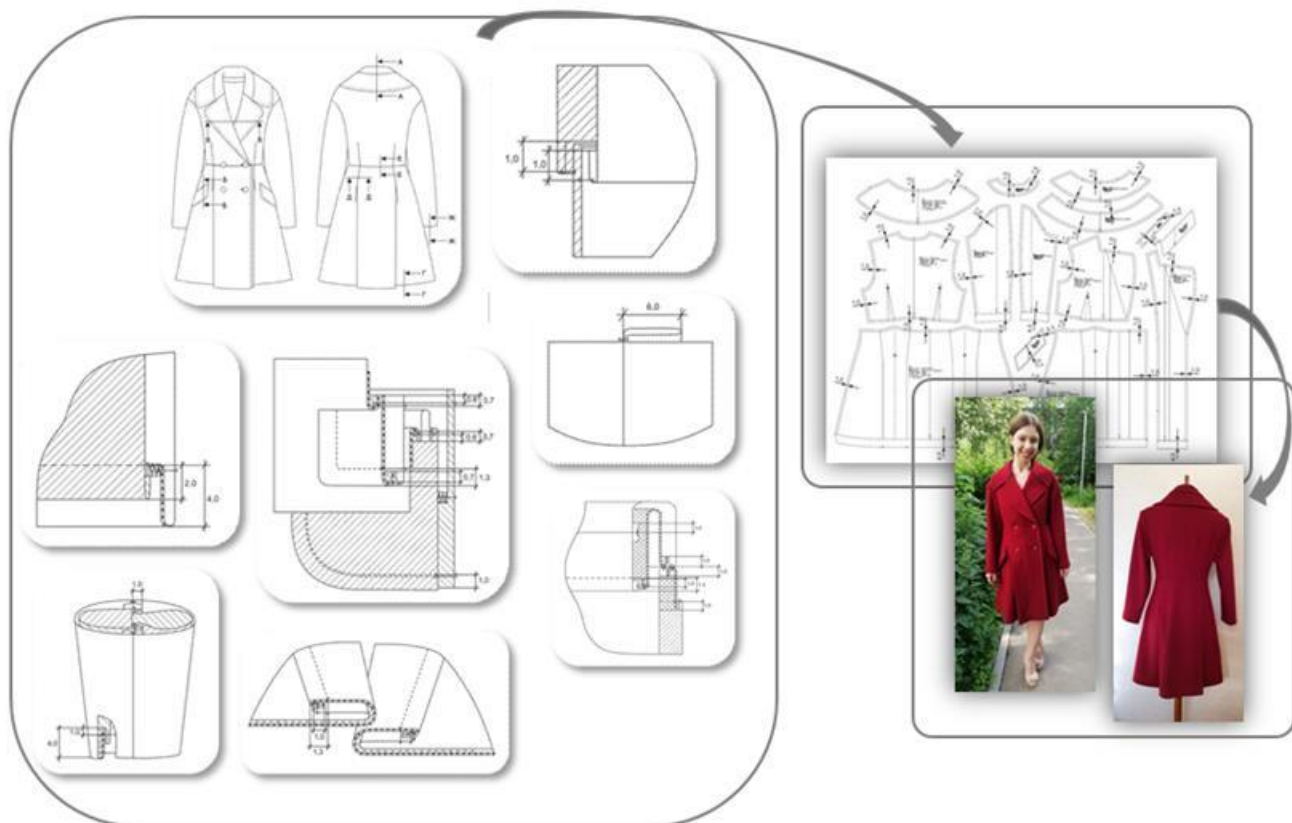


**Рисунок 4.27 – Интеграция модуля построения конструкции *Eleandr CAD* с программным приложением *CLO3D***

#### **4.5 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ СОЕДИНЕНИЯ**

Параметрическая информация, сформированная на этапах разработки эскиза и конструкции изделия, является исходной информацией для проектирования технологии изготовления одежды [132]. Способ реализации взаимосвязи между процессами разработки конструкции деталей изделия и технологии их соединения основан на использовании интеллектуальных поддержек при обеспечении доступа к базам готовых конструкторско-технологических решений отдельных узлов и элементов и реализован с помощью разработанных программных модулей *Eleandr CAD* и *Eleandr CAPP*. Для систематизации конструктивно-технологических параметров проектируемых изделий разработаны библиотеки элементов технических эскизов одежды разного ассортимента, отражающие как основные характеристики изделий, так и особенности их технических

решений. С позиции уточнения методов технологической обработки изделия элементы его технического эскиза подразделены на три группы: базовые (БЭ), конструктивные (КЭ) и функционально-отделочные (ФОЭ). Следует отметить, что проектирование способов технологической обработки изделия может выполняться как последовательно, так и параллельно с проектированием его конструкции, исходя из информации, заданной техническим эскизом и техническим заданием (Рисунок 4.28).



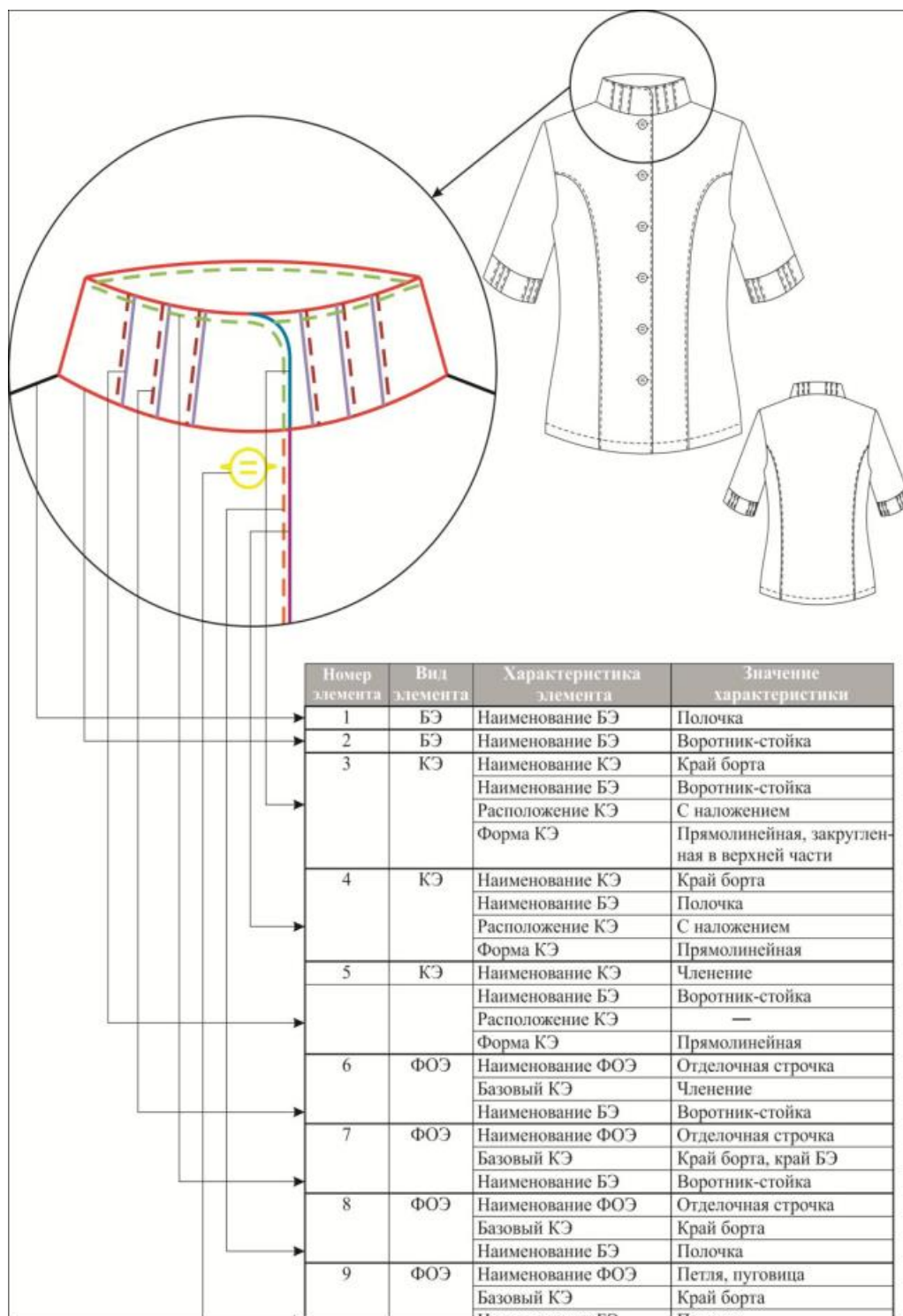
**Рисунок 4.28 – Взаимосвязь графического отображения эскизного, конструктивного и технологического решений изделия**

Автоматизированное формирование технологической последовательности изготовления изделия начинается с выбора базовых элементов на техническом эскизе и продолжается последующим дополнением таких конструктивных и функционально-отделочных элементов, как конструктивные членения, отделочные строчки, канты, складки, фурнитура и другие (Рисунок 4.29).

Каждому элементу технического эскиза соответствует определенное графическое отображение и группа параметров, характеризующая его форму, расположение, конструктивные особенности, которые систематизированы в разработанной базе данных



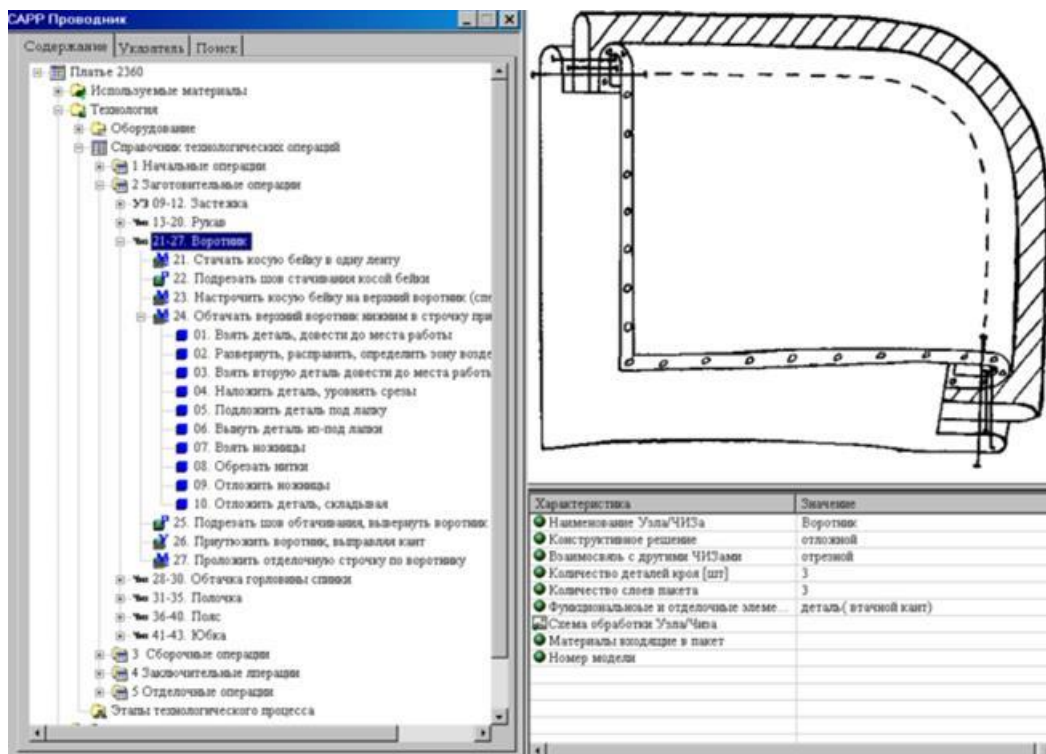
вышеуказанных характеристик, предоставляя проектировщику возможность выбора искоемых значений из имеющегося списка.



**Рисунок 4.29 – Выделение элементов технического эскиза для формирования технологической последовательности обработки изделия [132]**

Каждой характеристике элементов технического эскиза в соответствие поставлен перечень определенных технологических операций, что позволяет в автоматизированном режиме формировать последовательность технологической обработки разных моделей

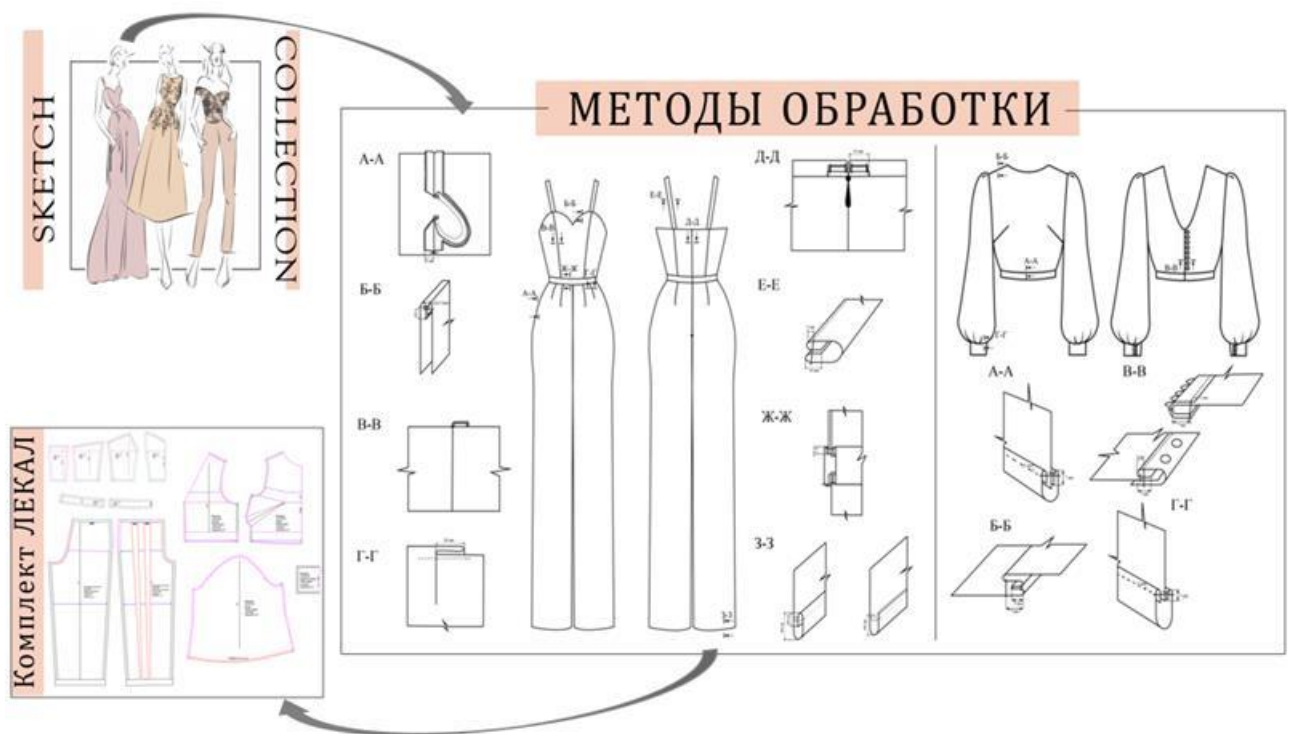
одежды (Рисунок 4.30). Таким образом, проектировщику предоставляется информация, содержащая схему обработки элемента изделия, технические условия и требования к выполнению операций.



**Рисунок 4.30 – Формирования перечня технологических операций модели**

С помощью разработанного программного модуля *Eleandr CAPP* технолог может в автоматизированном режиме сформировать из элементов базы данных технологическую последовательность изготовления различных моделей одежды. Совокупность характеристик, описывающих каждый элемент технического эскиза, включена в справочную базу данных программного модуля и лежит в основе виртуального проектирования технологического процесса изготовления изделий (Рисунок 4.31). Виртуальный справочник технологических операций включает как нормированные затраты времени на выполнение операций, так и данные, отражающие процесс изготовления швейных изделий в производственных условиях конкретного предприятия, поэтому можно говорить о достаточной точности и обоснованности предоставляемых сведений об ожидаемой трудоемкости изготовления нового изделия при заданном техническом оснащении производства [125]. Использование виртуального справочника технологических операций программного модуля *Eleandr CAPP* изготовления швейных изделий ускоряет разработку проектной технологической документации, сводя работу технолога к уточнению длин срезов деталей, методов обработки некоторых узлов

изделия, используемого оборудования и приспособлений, расчета затрат времени и предоставляя дополнительные сведения, важные для принятия решений в процессе проектирования новых моделей одежды. Виртуальный справочник технологических операций содержит исходную информацию для расчета фурнитуры и формирования разделения труда для швейного потока, по результатам которого учитывают затраты труда и рассчитывают заработанную плату.



**Рисунок 4.31 – Модуль проектирования технологических операций в структуре автоматизированного проектирования одежды**

Интеграция программных модулей эскизного, конструкторского и технологического проектирования обеспечивает сквозную передачу между ними как первичной информации, так и дополнительного введения ранее полученных результатов, поэтому цифровое описание технического эскиза изделия может использоваться на любом этапе его проектирования. После разработки проектной конструкторской документации в *Eleandr CAD* перечень деталей кроя и изображения лекал с указанием длин срезов передаются в программный модуль технологического проектирования, чтобы скорректировать выбранные методы технологической обработки с учетом всех видов используемых материалов, нормировать затраты времени с учетом специфики операций раскроя, учесть дополнительную информацию о количестве и расположении надсечек на лекалах, периметре всех деталей с разбивкой по отдельным видам материала.

База данных технологических операций *Eleandr CAPP* обновляется при получении новых конструктивно-технологических решений, сведений об имеющемся оборудовании и трудозатратах по каждому виду используемого оборудования, об особенностях проектирования и внедрения новых изделий в производство. Использование технологического модуля САПР одежды позволяет ещё на этапе эскизного проектирования оценить затраты на изготовление проектируемого изделия и соответственно экономическую целесообразность его выпуска, что особенно актуально для предприятий, выполняющих заказы на производство партий продукции или наоборот размещающих их у других производителей.

Разработанные универсальные модули интегрированной системы автоматизированного проектирования САПР одежды (*Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011612237, №2007613734, №2007615072, №2007615071, №2012610088, № 2013611419*, Приложение Б) успешно внедрены на швейных предприятиях России и Белоруссии, в том числе в г. Москва: ООО «Ремикс», АО НПП «КлАСС», ООО «Техмастер», ООО «БелосКом», ЗАО «Альпекс Класс», ООО «Мирион», ООО «Тримонти», ООО «Физио», ЗАО «Производственная коммерческая фирма Центр Моды «Медстильсервис», ООО «Славянка», ООО «Легпроммаркет», ООО «Самое Фенш Групп», ОАО «СТАРТ»; в Московской области: ОАО «Валерия» (г. Коломна), ООО «ПРАТО» (г. Лобня), ООО «Аллегро-Классика БЛШ» (г. Королев), ООО «Аран» (д. Шмеленки), ООО «Премьер Мода» (г. Лобня), ИП Картышева А.С. (п. Любучаны), ИП Правашинский В.В. (г. Фрязино), ЗАО «Франт» (пос. Колычево), ООО «Вега» (г. Волоколамск), Торговый Дом «МЕУЧЧИ» (г. Лобня); ИП Жуков М.В. (г. Орел); ООО «Спецпошив» (г. Липецк); ЗАО «ПО Рассвет» (г. Чебоксары); ООО «Квалитет твайс» (г. Самара); ООО «РТМ Сервис» (г. Казань); ОАО «Сургутнефтегаз» (г. Сургут); ЗАО ПКФ «Элегант» (г. Ростов-на-Дону); ООО «Бувер Энтерпрайзес» (г. Рязань); ООО «Швейное объединение Кузбасса» (г. Осинники); ООО «СКАРА» (Новгородская обл., п. Волховец); ООО «Азовская швейная фабрика №13» (г. Азов), ООО «Бриг» (г. Нижний Новгород); ООО «Мега-Т» (г. Владивосток); КУПП «Витебчанка» (г. Витебск) , с суммарным экономическим эффектом, составляющим 82831 тыс. руб. и полученным в связи с сокращением трудоемкости нормирования затрат времени на технологические операции на 25%; затрат времени на формирование организационно-технологической схемы процесса производства одежды на 14%; затрат времени на подготовку проектно-

конструкторской документации на новые модели одежды на 50%; затрат времени на запуск в производство промышленных коллекций одежды на 30% (Приложение А). Внедрение разработанных методов виртуального конструирования и моделирования на ООО «Карамелли» (Москва) обеспечило получение экономического эффекта в размере 18511 тыс. руб. благодаря высокому качеству выпускаемых детских изделий, не уступающему уровню лучших мировых образцов.

### **ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ**

1. Разработана математическая модель описания пространственной формы одежды на основе параметрической модели фигуры человека и значений параметров проекционных зазоров между поверхностями фигуры и надетого на неё изделия, для расчета которых использована информация о значениях и распределении конструктивных прибавок и математические зависимости их преобразования в проекционные зазоры.
2. Разработана математическая модель описания элементов формообразования одежды в 3D виртуальной среде, параметрически связанная с математическими моделями описания фигуры человека и внешней формы изделия, позволяющая организовать интерактивное конструирование и моделирование формы изделия, редактирование которой осуществляется путем изменения значений проекционных зазоров или величин смещения информативных точек изделия относительно соответствующих им информативных точек фигуры.
3. Разработан метод трехмерного параметрического проектирования пространственной формы одежды и её двухмерной развёртки на основе единой системы взаимосвязанных параметров, включая размерные признаки фигуры, конструктивные прибавки, проекционные зазоры и другие конструктивные параметры, изменение любого из которых ведёт к изменению всех взаимосвязанных параметров, что одновременно отражается на построении и виртуальной визуализации графических изображений моделей фигуры человека и надетого на неё изделия.
4. Разработан метод комбинаторного моделирования конструкций одежды на основе баз взаимосвязанных элементов цифрового описания эскиза, конструкции и трехмерного изображения изделия, в которых каждый графический элемент связан с конструкцией изделия, а изменения в конструкции сопровождаются одновременной модификацией эскиза и трехмерного отображения модели изделия в виртуальной среде.

5. Разработан метод виртуального конструктивного моделирования, опирающийся на взаимосвязанные параметры цифрового описания изделия и его преобразования, на организацию диалога между пользователем и системой при разработке конструкции, на информационное и программное обеспечение процесса моделирования, позволяющее импортировать чертеж конструкции и цифровую информацию об его параметрах в другие программные приложения и модули САПР.
6. Разработана интегрированная САПР одежды, включающая программные модули виртуального эскизного, конструктивного и технологического проектирования, позволяющая формировать рабочую документацию для изготовления изделий на основе их цифрового описания, внедрение которой в швейную промышленность 15 регионов России и Белоруссии позволило получить экономический эффект более 100 млн. руб. за счет сокращения затрат времени на подготовку проектной конструкторско-технологической документации на новые модели и ускорения запуска в производство промышленных коллекций одежды.

## **5 МЕТОДОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ОДЕЖДЫ СЛОЖНЫХ ФОРМ И ПОКРОЕВ В ВИРТУАЛЬНОЙ СРЕДЕ**

Методология процесса виртуального проектирования одежды сложных покроев включает разработку концептуальной схемы функционирования процесса проектирования в виртуальной среде, разработку методов получения, хранения, отображения и преобразования цифровой информации об объекте проектирования, выбор и разработку средств автоматизации процесса, разработку методов интеллектуализации процесса проектирования одежды в условиях использования большого объема слабоструктурированных данных.

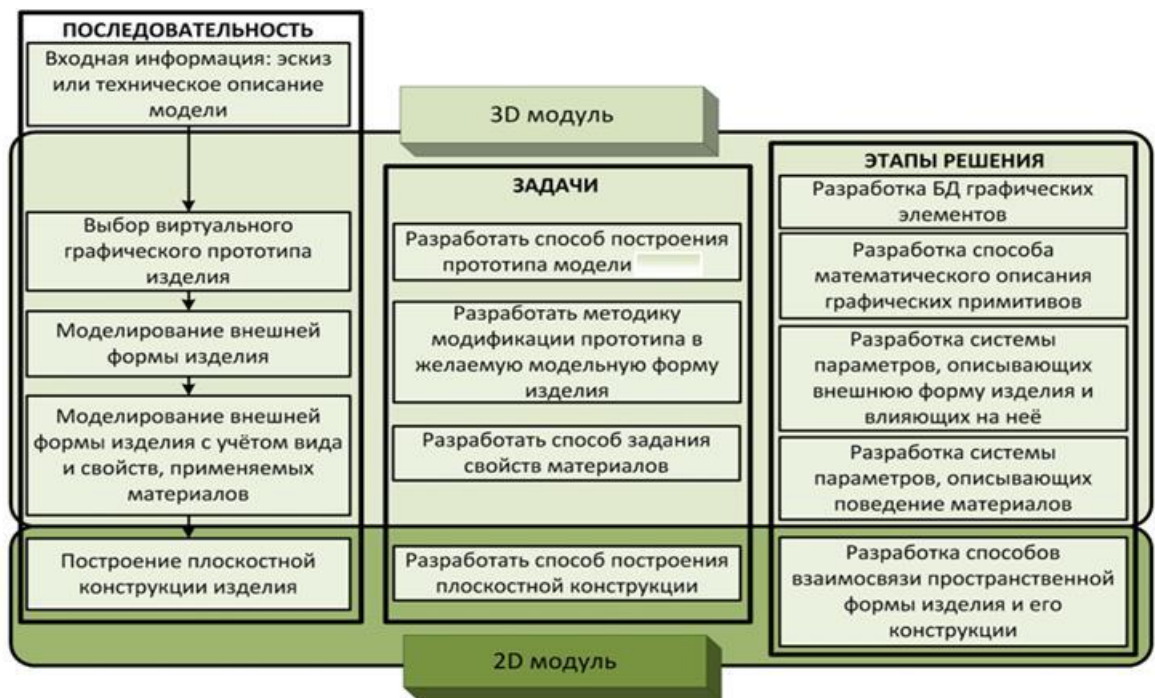
### **5.1 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВИРТУАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ РАЗНЫХ СИЛУЭТНЫХ ФОРМ**

Исходной информацией для художественного проектирования моделей одежды является творческая идея, заданная в графическом, вербальном виде или в виде готового образца. Сам процесс художественного проектирования одежды сложных форм в виртуальной среде определен следующей последовательностью (Рисунок 5.1):

- ❖ визуальная оценка формы и выбор исходной базовой формы, подобной по геометрии поверхности;
- ❖ модификация параметров внешней формы изделия с учётом факторов, влияющих на процесс формообразования изделия;
- ❖ разработка конструктивного решения изделия.

В качестве интеллектуальной поддержки на этапах конструктивного моделирования и художественного проектирования предложено использовать графические прототипы трехмерной базовой формы изделий (3D БФ), представляющих собой трехмерную визуализацию базовых форм одежды с однозначно установленными исходными параметрами изделия относительно фигуры, которые и являются исходной точкой отчета для дальнейшей параметризации изделия. Исходные параметры изделия относительно фигуры устанавливаются значениями пространственных зазоров на определённых конструктивных уровнях.





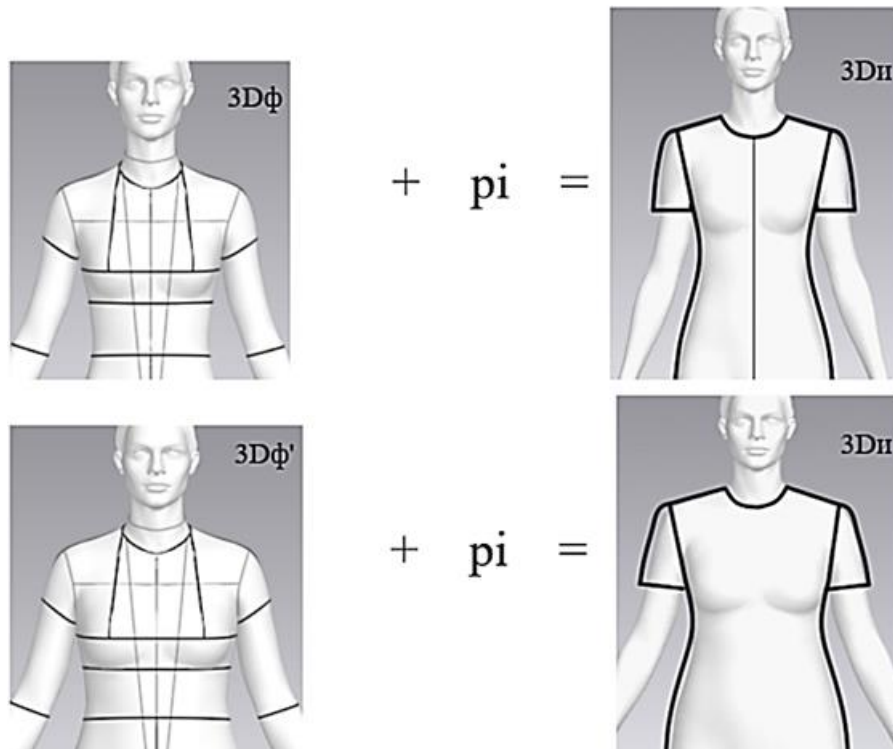
**Рисунок 5.1 – Концептуальная модель художественного проектирования одежды сложных форм в виртуальной среде**

Например, при выборе фигуры с установленными размерными признаками параметрическое описание фигуры выражено в совокупности параметров 3D формы фигуры ( $\sum 3Dф$ ), параметрическое описание изделия выражено совокупностью параметров 3D формы изделия ( $\sum 3Di$ ), отличающихся от параметров фигуры на величины соответствующих пространственных зазоров ( $\sum p_i$ ) между поверхностями фигуры человека и изделия. При изменении параметров фигуры и постоянной величине пространственного зазора математическая модель базовой формы изделия не меняется, изменяется только ее графическое отображение (Рисунок 5.2).

Использование базовой трехмерной формы изделия при моделировании одежды предназначено для:

- ✓ существенного упрощения моделирования новых изделия благодаря хорошо отработанным исходным базовым конструкциям и визуализации их внешней формы;
- ✓ снижения уровня субъективных ошибок благодаря применению научно обоснованного математического аппарата для построения трехмерных моделей фигуры, конструкций и изделий;
- ✓ организации интерактивной связи с потребителями благодаря возможности достоверной визуализации изделий на фигурах различных размеров и телосложения.





**Рисунок 5.2 – Изменение базовой формы изделия при сохранении значений проекционных зазоров**

Графическая форма изделия, полученная в результате моделирования базовой формы, в работе названа модельной формой (МФ). Параметрическое описание МФ основано на параметрическом описании 3D БФ и учитывает влияние различных факторов на формирование пространственной формы изделия путем его формализации в виде математических зависимостей. В процессе исследования изучена геометрия пространственной модельной формы изделия и влияние на неё разных свойств ткани (*Свидетельства госрегистрации баз данных №2019620688 и №2019620689*). Одной из наиболее сложных модельных форм является складчатая форма, образованная за счет сборок, складок, защипов. Разработка математических зависимостей параметров модельной формы изделия и влияющих на нее факторов проведена на примере складчатых поверхностей плечевых и поясных изделий, созданных разными приемами моделирования (*Свидетельство о госрегистрации базы данных № 2019621730*):

- ✓ разведением по верхнему срезу в конструкции и фиксацией сборки по верхнему срезу в изделии (Рисунок 5.3, а);
- ✓ разведением по нижнему срезу в конструкции без фиксации сборки в изделии (см. Рисунок 5.3, б).

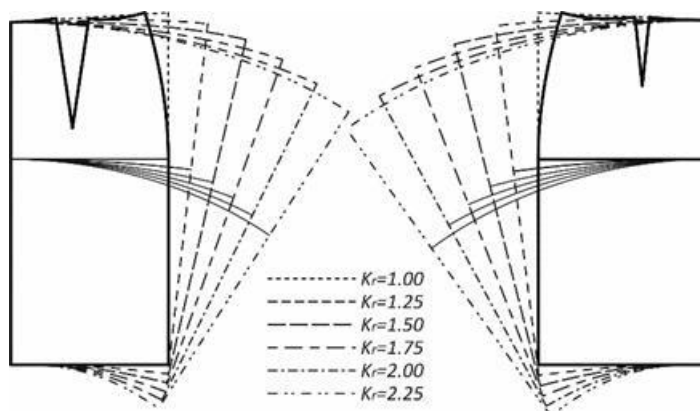
Информация о взаимосвязи параметров модельной формы изделия и влияющих на

неё факторов может быть представлена в табличной форме, в виде уравнений зависимостей, в графическом виде. Способ представления результатов является способом организации знаний о предметной области и не влияет на качество работы конструктора.



**Рисунок 5.3 – Примеры складчатой поверхности: а) зафиксированной у верхнего основания; б) с разведением по нижнему основанию без фиксирования складок**

Модельная форма, полученная путем разведения конструкции по верхнему срезу и фиксацией сборки по верхнему срезу в изделии, имеет сложную пространственную структуру (Рисунок 5.4). Основным параметром, характеризующим конструктивное решение модельной формы, является коэффициент разведения по верхнему срезу, за счет которого получается разная степень наполненности формы в верхней области изделия.

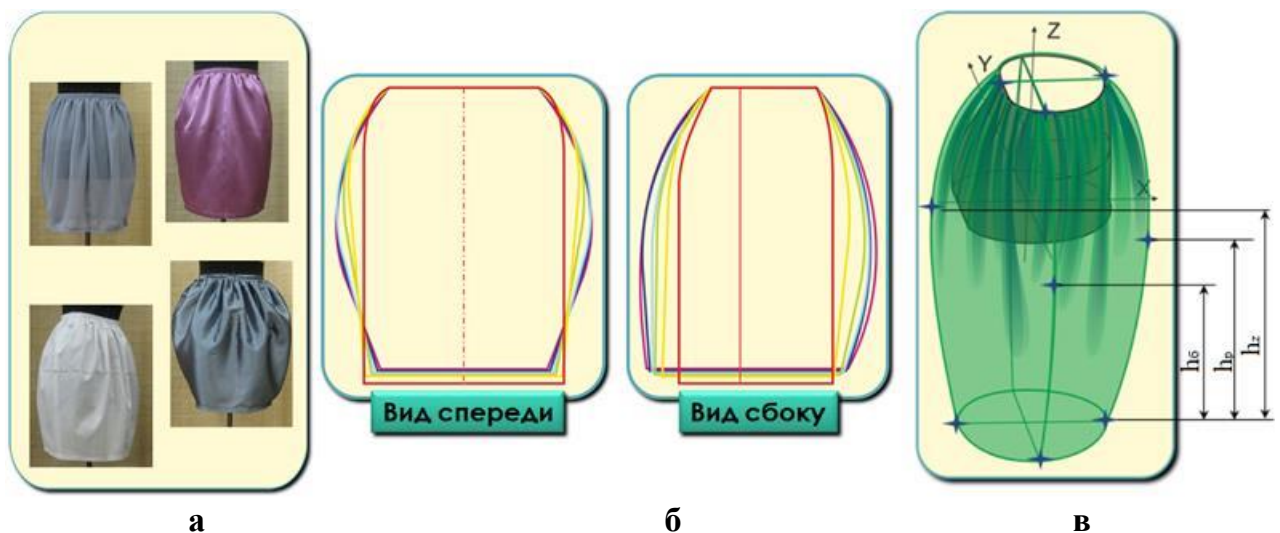


**Рисунок 5.4 – Конструктивное решение юбки с различными коэффициентами разведения**

Геометрия пространственной модельной формы изделия изучена в процессе анализа натуральных образцов поясных изделий, выполненных для фигур с различными значениями размерных признаков. При моделировании конструкций использованы разные по значению коэффициенты разведения. В процессе разработки описания пространственной формы проектируемых изделий проведен анализ топографии поверхности изделия. Методика определения топографических зон модельных форм изделия включает:

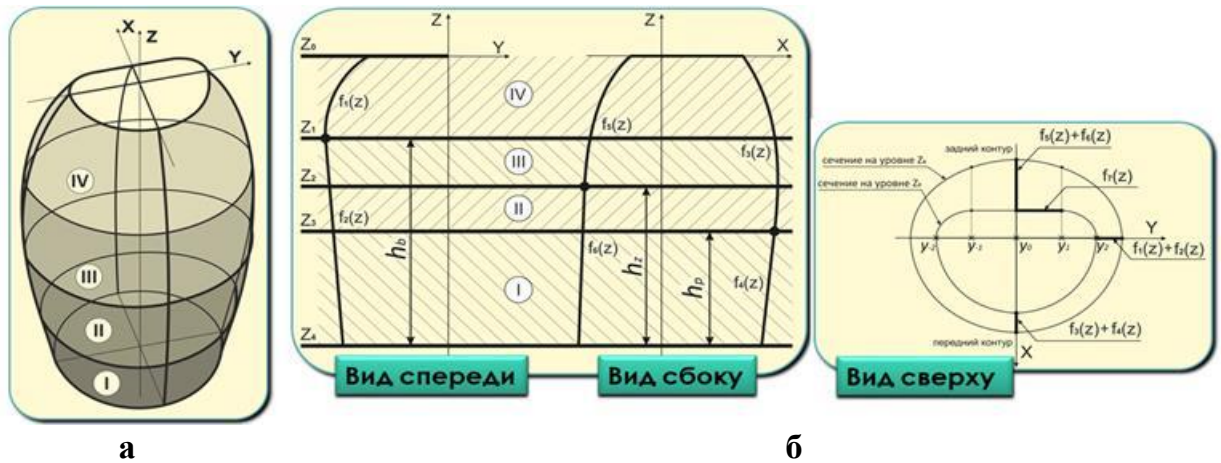
- определение опорной сетки изделия (совокупности информативных точек пространственной формы изделия);
- определение топографических зон модельных форм изделия, ограниченных сверху фрагментами линий сечения, справа и слева фрагментами вертикальных линий абриса;
- определение способов описания линий/ фрагментов линий сечения и вертикальных абрисов, характеризующих геометрию изделия.

Совокупность информативных точек модельной формы определена на основе анализа геометрии линий сечений и абрисов, характеризующих пространственную форму изделия (Рисунок 5.5). Информативные точки выделены в местах изменения геометрии переднего, заднего и бокового абрисов.



**Рисунок 5.5 – Разработка опорной сетки изделия: а) изготовление натуральных образцов; б) анализ геометрических характеристик формы; в) определение информативных точек**

Информативные точки определяют уровень расположения топографических зон. Выделены четыре топографические зоны (Рисунок 5.6, а). В зависимости от сложности модельной формы изделия и способов конструктивного решения выделенные топографические зоны могут быть инварианты топографическим зонам базовой формы изделия или иметь отличную от нее геометрию поверхности. Характер изменения этих зон зависит от коэффициента разведения конструкции по верхнему срезу, уровень их расположения определяется параметрами:  $h_p$ ,  $h_b$ ,  $h_z$ . Даная топография характерна для всех изделий и частей изделий, форма которых получена конструктивным разведением по верхнему срезу.



**Рисунок 5.6 – Топография модельной формы изделия: а) схема расположения топографических зон; б) особенности геометрии сечений и абрисов**

Установлены 23 варианта (Var) оптимального сочетания топографических зон модельной формы изделия, продиктованные вариантами расположения высот  $h_p$ ,  $h_b$ ,  $h_z$ . (Таблица 5.1, Приложение И, Таблица И1). Особенности геометрии линий сечения и абрисов пространственной формы изделия систематизированы в графическом виде (см. рисунок 5.6, б):

- вертикальные абрисы описываются прямыми  $f_2(z)$ ,  $f_4(z)$ ,  $f_6(z)$  и кривыми линиями  $f_1(z)$ ,  $f_3(z)$ ,  $f_5(z)$ , уровень перехода от одной функции к другой определяют параметры  $h_p$ ,  $h_b$ ,  $h_z$ .

Для криволинейных контуров (1, 3, 5)

$$f_i(z) = c_i z^3 + d_i z^2 + e_i z + g_i; \quad (5.1)$$

Для прямолинейных контуров (2, 4, 6)

$$f_j(z) = a_j z + b_j; \quad (5.2)$$

- передний контур горизонтальных сечений описывается одной кривой, задний – двумя, причём центральная задняя кривая  $f_7(z)$  при переходе от нижнего уровня к верхнему изменяет свою конфигурацию от линии приближенной к прямой до криволинейной.

$$f_7(z) = c_7 z^3 + d_7 z^2 + e_7 z + g_7. \quad (5.3)$$

Особенности геометрии линий сечения и абрисов пространственной формы изделия систематизированы в графическом виде (см. Рисунок 5.6, б):

- вертикальные абрисы описываются прямыми  $f_2(z)$ ,  $f_4(z)$ ,  $f_6(z)$  и кривыми линиями  $f_1(z)$ ,  $f_3(z)$ ,  $f_5(z)$ , уровень перехода от одной функции к другой являются параметры  $h_p$ ,  $h_b$ ,  $h_z$ .

Для криволинейных контуров (1, 3, 5)

$$f_i(z) = c_i z^3 + d_i z^2 + e_i z + g_i; \quad (5.1)$$

Для прямолинейных контуров (2, 4, 6)

$$f_j(z) = a_j z + b_j; \quad (5.2)$$

**Таблица 5.1 – Варианты расположения топографических зон исследуемой модельной формы изделия (фрагмент)**

<i>Вариант</i>	<i>Зона</i>	<i>Пределы зоны</i>	<i>Уровень расположения</i>
Var1: $h_p > h_b > h_z$	I	$x(z) \in [f_6(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$ $z \in [Z_4; Z_3]$	$Z_1 = h_p - L_{ju}$ $Z_2 = h_b - L_{ju}$ $Z_3 = h_z - L_{ju}$
	II	$x(z) \in [f_5(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$	
	III	$x(z) \in [f_5(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_1(z); +f_1(z)]$	
	IV	$x(z) \in [f_5(z); f_3(z)]$ $y(z) \in [-f_1(z); +f_1(z)]$ $z \in [Z_1; Z_0]$	
Var2: $h_p > h_z > h_b$	I	$x(z) \in [f_6(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$ $z \in [Z_4; Z_3]$	$Z_1 = h_p - L_{ju}$ $Z_2 = h_z - L_{ju}$ $Z_3 = h_b - L_{ju}$
	II	$x(z) \in [f_6(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_1(z); +f_1(z)]$	
	III	$x(z) \in [f_5(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_1(z); +f_1(z)]$	
	IV	$x(z) \in [f_5(z); f_3(z)]$ $y(z) \in [-f_1(z); +f_1(z)]$ $z \in [Z_1; Z_0]$	
Var3: $h_b > h_p > h_z$	I	$x(z) \in [f_6(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$ $z \in [Z_4; Z_3]$	$Z_1 = h_b - L_{ju}$ $Z_2 = h_p - L_{ju}$ $Z_3 = h_z - L_{ju}$
	II	$x(z) \in [f_5(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$	
	III	$x(z) \in [f_5(z); f_3(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$	
	IV	$x(z) \in [f_5(z); f_3(z)]$ $y(z) \in [-f_1(z); +f_1(z)]$ $z \in [Z_1; Z_0]$	
Var4: $h_b > h_z > h_p$	I	$x(z) \in [f_6(z); f_4(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$ $z \in [Z_4; Z_3]$	$Z_1 = h_b - L_{ju}$ $Z_2 = h_z - L_{ju}$ $Z_3 = h_p - L_{ju}$
	II	$x(z) \in [f_6(z); f_3(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$	
	III	$x(z) \in [f_5(z); f_3(z)]$ $y(z) \in [-f_2(z); +f_2(z)]$	
	IV	$x(z) \in [f_5(z); f_3(z)]$ $y(z) \in [-f_1(z); +f_1(z)]$ $z \in [Z_1; Z_0]$	

- передний контур горизонтальных сечений описывается одной кривой, задний – двумя, причём центральная задняя кривая  $f_7(z)$ , при переходе от нижнего уровня к верхнему изменяет свою конфигурацию от линии приближенной к прямой до криволинейной.

$$f_7(z) = c_7 z^3 + d_7 z^2 + e_7 z + g_7. \quad (5.3)$$

На основе теории геометрического моделирования выведены обобщенные формулы расчёта коэффициентов функций, описывающих вертикальные абрисы исследуемых модельных форм (Приложение И1, Рисунок 5.7):

$$a = \frac{x_B - x_A}{z_B - z_A}, \quad (5.4)$$

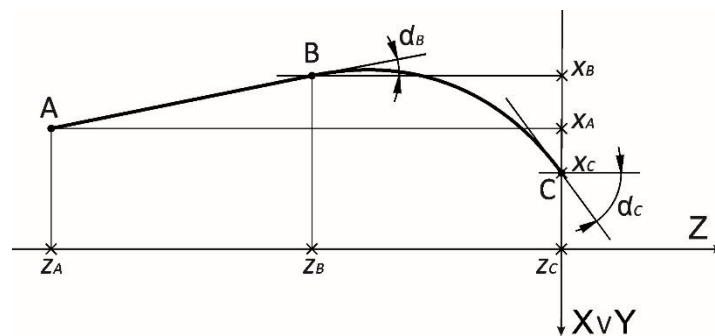
$$b = x_A - \frac{x_B - x_A}{z_B - z_A} \cdot z_A; \quad (5.5)$$

$$c = \frac{(\tan \alpha_B + \tan \alpha_C) \cdot (z_C - z_B) + 2(y_B - y_C)}{z_C^3 - z_B^3 + 3z_C z_B (z_B - z_C)}; \quad (5.6)$$

$$d = \frac{(\tan \alpha_B + 2 \tan \alpha_C) \cdot z_B^2 - (2 \tan \alpha_B + \tan \alpha_C) \cdot z_C^2 - (\tan \alpha_C - \tan \alpha_B) \cdot z_B z_C - 3(y_B - y_C) \cdot (z_C + z_B)}{z_C^3 - z_B^3 + 3z_C z_B (z_B - z_C)}; \quad (5.7)$$

$$e = \frac{(\tan \alpha_B + 2 \tan \alpha_C) \cdot z_C^2 z_B - 2(\tan \alpha_B + \tan \alpha_C) \cdot z_B^2 z_C + \tan \alpha_B \cdot z_C^3 - \tan \alpha_C \cdot z_B^3 + 6z_C z_B (y_B - y_C)}{z_C^3 - z_B^3 + 3z_C z_B (z_B - z_C)}; \quad (5.8)$$

$$g = \frac{(\tan \alpha_C \cdot z_B + 3y_C) \cdot z_B^2 \cdot z_C - [(\tan \alpha_C - \tan \alpha_B) \cdot z_B + 3y_B] \cdot z_C^2 z_B - (\tan \alpha_B \cdot z_B - y_B) \cdot z_C^3 - y_C \cdot z_B^3}{z_C^3 - z_B^3 + 3z_C z_B (z_B - z_C)}. \quad (5.9)$$



*AB*- прямолинейный участок, описываемый формулой 5.2

*BC*- кривая третьего порядка, описываемая формулой 5.1

*т.А* - начало функции 5.2 с координатами:  $P_A(x_A; z_A)$

*т.В* - конец функции 5.2 и начало функции 5.1 с координатами  $P_B(x_B; z_B)$

*т.С* - конец функции 5.1 с координатами  $P_C(x_C; z_C)$

**Рисунок 5.7 – Обобщённая схема параметров для описания вертикальных абрисов модельной формы изделия**

Разработанные коэффициенты справедливы для всех функций, описывающих конфигурацию абрисов исследуемой формы. Исходя из проведённого системного анализа геометрии поверхности исследуемой юбки разработан набор параметров, необходимых и достаточных для описания исследуемой формы изделия (Рисунок 5.8, Таблица 5.2).

**Таблица 5.2 – Параметры внешней формы поясного изделия, полученной путем разведения конструкции по верхнему срезу и фиксацией сборки по верхнему срезу**

<i>Обозначение</i>	<i>Наименование параметра</i>
<i>Радиусы, см</i>	
$R_{pop18+P_{18}}$	поперечный на уровне талии с учётом прибавки
$R_{pop_n}$	поперечный на уровне линии низа
$R_b$	поперечный на уровне изменении геометрии бокового абриса
$R_{pzp18+P_{18}}$	передне – задний передний на уровне талии с учётом прибавки
$R_{pzp_n}$	передне – задний передний на уровне линии низа
$R_p$	передний на уровне изменении геометрии переднего абриса
$R_{pzz18+P_{18}}$	передне – задний задний талии с учётом прибавки
$R_{pzz_n}$	передне – задний задний на уровне линии низа
$R_z$	задний на уровне изменении геометрии заднего абриса
<i>Длины, высоты, см</i>	
$L_{ju}$	визуальная длина юбки
$h_p$	уровень изменения геометрии переднего абриса
$h_z$	уровень изменения геометрии заднего абриса
$h_b$	уровень изменения геометрии, бокового абриса
<i>Направляющие, углы наклона,</i>	
$\alpha_b$	нижней касательной второй функции бокового абриса
$\alpha'_b$	верхней касательной второй функции бокового абриса
$\alpha_p$	нижней касательной второй функции переднего абриса
$\alpha'_p$	верхней касательной второй функции переднего абриса
$\alpha_z$	нижней касательной второй функции заднего абриса
$\alpha'_z$	верхней касательной второй функции заднего абриса
<i>Длины участков сечений, см</i>	
$m_{18+P_{18}}$	прямолинейный участок на уровне талии

Согласно результатам проведённого анализа геометрии поясных изделий разработана система соответствия выделенных параметров коэффициентам функций (5.4)-(5.9):

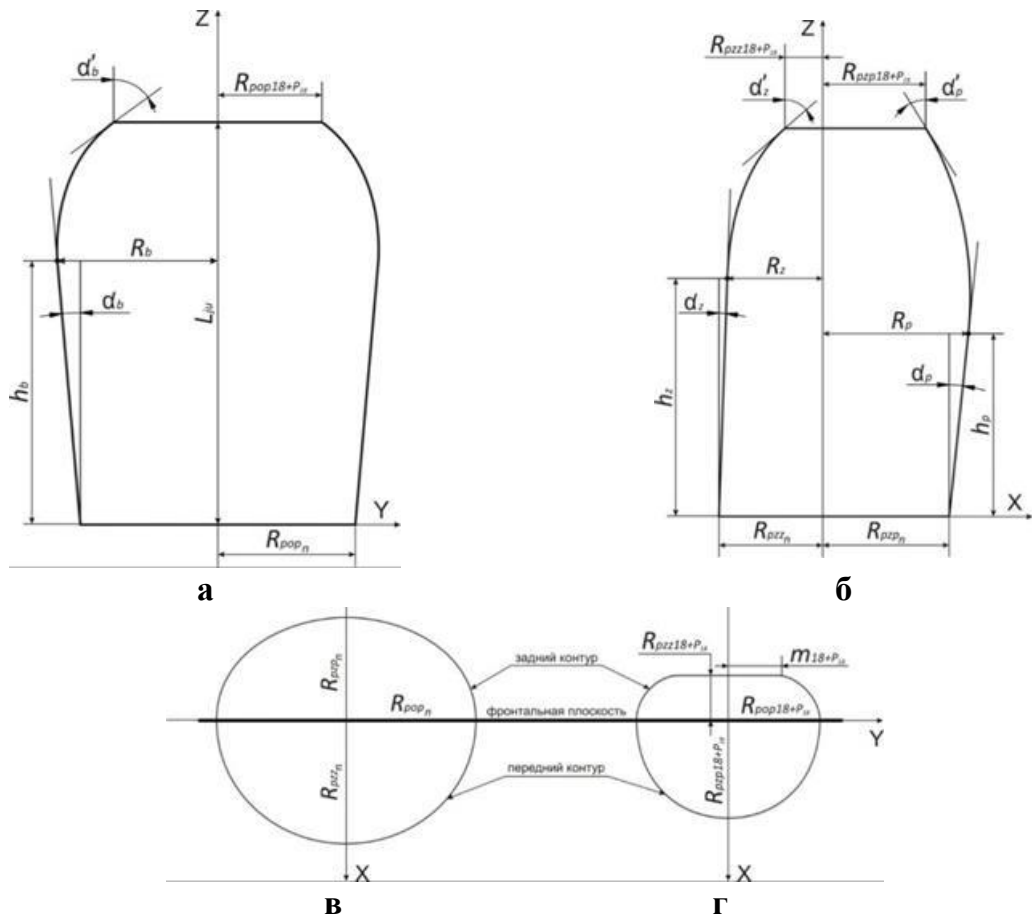
$$\begin{array}{l|l|l|l|l}
 a_2 = a & x_A = R_{pop_n}; & a_4 = a & x_A = R_{pzp_n}; & a_6 = a & x_A = R_{pzz_n}; \\
 b_2 = b & x_B = R_b; & b_4 = b & x_B = R_p; & b_6 = b & x_B = R_z; \\
 & z_A = Z_4; & & z_A = Z_4; & & z_A = Z_4; \\
 & z_B = Z_2. & & z_B = Z_3. & & z_B = Z_1.
 \end{array}$$



$c_1 = c$	$y_B = R_b;$	$c_3 = c$	$y_B = R_p;$	$c_5 = c$	$y_B = R_z;$
$d_1 = d$	$y_C = R_{pop18+p};$	$d_3 = d$	$y_C = R_{pzp18+p};$	$d_5 = d$	$y_C = R_{pzz18+p};$
$e_1 = e$	$z_B = Z_2;$	$e_3 = e$	$z_B = Z_3;$	$e_5 = e$	$z_B = Z_1;$
$g_1 = g$	$z_C = Z_0;$	$g_3 = g$	$z_C = Z_0;$	$g_5 = g$	$z_C = Z_0;$
	$\tan \alpha_B = \tan \alpha_b;$		$\tan \alpha_B = \tan \alpha_p;$		$\tan \alpha_B = \tan \alpha_z;$
	$\tan \alpha_C = \tan \alpha'_b.$		$\tan \alpha_C = \tan \alpha'_p.$		$\tan \alpha_C = \tan \alpha'_z.$

$c_7 = c$	$y_B = x_0;$
$d_7 = d$	$y_C = x_1;$
$e_7 = e$	$z_B = y_0;$
$g_7 = g$	$z_C = y_1;$
	$\tan \alpha_B = \tan \alpha_0;$
	$\tan \alpha_C = \tan \alpha_1.$



**Рисунок 5.8 – Параметры формы изделия: а) абрис вид спереди; б) абрис вид сбоку; в) поперечное сечение на уровне низа; г) поперечное сечение на уровне талии**

Уравнения поверхности модельной формы поясного изделия, полученной путем разведения конструкции по верхнему срезу и фиксации сборки по верхнему срезу, построены на основе анализа геометрии горизонтальных и вертикальных контуров исследуемой формы и функций, их характеризующих (Таблица 5.3, Приложение И, Таблица И2).



**Таблица 5.3 – Уравнения поверхности модельной формы, полученной путем  
разведения конструкции по верхнему срезу и фиксации сборки по верхнему срезу  
поясного изделия (фрагмент)**

<i>Номер варианта</i>	<i>Номер участка</i>	<i>Уравнение поверхности</i>	<i>Переменная</i>
Var1	I	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_6(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}};$ $x = f_6(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}}$
	II	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_5(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}};$ $x = f_5(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}}$
	III	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_5(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}};$ $x = f_5(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}}$
	IV	$\frac{x^2}{[f_3(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1;$	$x = f_3(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}};$
Var2	I	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_6(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}};$ $x = f_6(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}}$
	II	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_6(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}};$ $x = f_6(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}}$
	III	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_5(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}};$ $x = f_5(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}}$
	IV	$\frac{x^2}{[f_3(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1;$	$x = f_3(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}};$
Var3	I	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_6(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}};$ $x = f_6(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}}$
	II	$\frac{x^2}{[f_4(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_5(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1$	$x = f_4(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}};$ $x = f_5(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}}$
	III	$\frac{x^2}{[f_3(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1;$ $\frac{x^2}{[f_5(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_2(z)]^2} = 1$	$x = f_3(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}};$ $x = f_5(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_2(z)]^2}}$
	IV	$\frac{x^2}{[f_3(z)]^2} + \frac{y^2}{[f_1(z)]^2} = 1;$	$x = f_3(z) \sqrt{1 - \frac{y^2}{[f_1(z)]^2}};$

## 5.2 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ОДЕЖДЫ

Параметрическое моделирование внешней формы изделия осуществляется на основе математических моделей, описывающих зависимость внешней формы изделия от факторов, влияющих на процесс моделирования. Для выявления факторов, влияющих на процесс моделирования, используют обобщение экспертных знаний в данной предметной области. Процесс установления математических зависимостей основан на обработке и пополнении экспериментальных и экспертных данных.

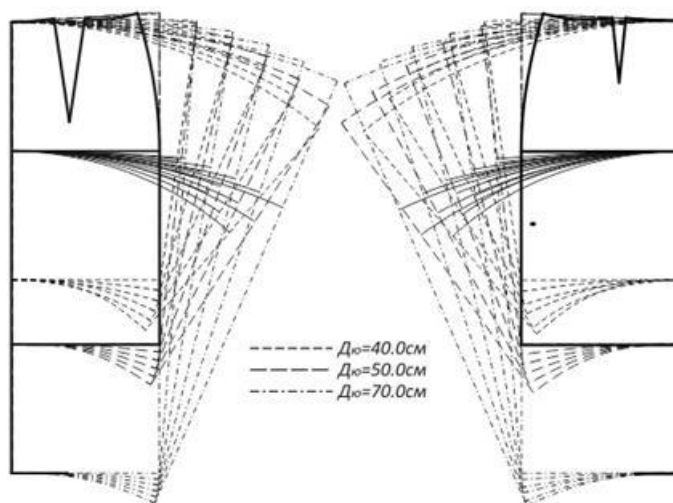
Метод разработки математических моделей, описывающих зависимость внешней формы изделия от факторов, влияющих на её создание, включает:

- определение группы параметров, описывающих исследуемую форму одежды;
- определение группы факторов, влияющих на внешнюю форму изделий;
- моделирование вариантов сочетания значений факторов, влияющих на внешнюю форму изделий;
- изучение натуральных/ виртуальных образцов, выполненных по установленным вариантам сочетаний значений факторов, влияющих на внешнюю форму изделий;
- определение значений параметров, описывающих исследуемую форму одежды;
- разработка математических моделей выявленных зависимостей.

Для математического моделирования внешней формы одежды в работе изучено влияние параметров конструктивных решений и характеристик материала на пространственную форму изделия. В качестве примера описания особенностей геометрии формы одежды выбрано женское поясное изделие и выделены 14 основных параметров внешней формы, полученной путем разведения конструкции по верхнему срезу и фиксацией сборки по верхнему срезу (см. таблицу 5.2, параметры, выделенные *серым цветом*). В качестве исходных данных выбрана женская фигура 164–88–94 и нижеследующие параметры, влияющие на процесс конструктивного моделирования женского поясного изделия (Рисунок 5.9):

- коэффициент разведения по верхнему срезу со значениями от 1,25 см до 2,25 см и шагом 0,25 см;
- длина изделия - 40, 50 и 70см;

- пять видов материалов: крепдешин, атлас, бязь, тафта и джинсовая ткань, для которых характерны разные показатели физико-механических свойств (жёсткость/драпируемость, поверхностная плотность и толщина) (Приложение И, Таблица И.3).



**Рисунок 5.9 – Конструктивное моделирование юбок с изменением длины и коэффициента разведения**

На основе анализа графических отображений натуральных образцов (Приложение И, Таблица И.4), выполненных в соответствии с заданными условиями (вариантами влияющих параметров), получены значения формообразующих параметров с помощью следующих математических инструментов:

- формулы расчёта значений формообразующих параметров (5.1–5.3):

$$R_{pop_n}; L_{ju}; h_N; \alpha_N; \alpha'_N = Const_{ML} - (K_r - 1) * K_{K_r} + Const_{K_r}, \quad (5.1)$$

$$Const_{MLN} = K_{LN} * R_{pop_n}; L_{ju}; h_N; \alpha_N; \alpha'_N, \quad (5.2)$$

где  $N=b, p, z$  (боковой, передний, задний контур),

$$K_L = Initial + (L_u - L_{u_{min}}) * K_{K_L}, \quad (5.3)$$

где  $L$ -длина юбки, см:

$L_u$  – заданная пользователем,  $L_{u_{min}}$  – минимально допустимая;

- коэффициенты, отображающие многомерную математическую взаимосвязь параметров, описывающих пространственную форму изделия от параметров, влияющих на геометрические характеристики формы изделия (Таблица 5.4);
- многомерная информационная табличная модель для расчёта формообразующих параметров юбки (Таблица 5.5, Приложение И, Таблица И.5).

**Таблица 5.4 – Коэффициенты многомерной математической модели описания внешней формы одежды**

Обозначение	Характеристика коэффициента
$K_r$	Параметр, определяющий значение коэффициента конического разведения конструкции по верхнему срезу
$K_L$	Параметр, отображающий информацию об изменении длины изделия
$Const_{ML}$	Постоянная величина, зависящая от вида материала и длины изделия
$Const_{K_r}$	Постоянная величина, зависящая от величины разведения конструкции
$K_{K_r}$	Параметр, зависящий от величины разведения конструкции по верхнему срезу
$K_{K_L}$	Параметр, зависящий от изменения длины изделия
<i>Initial</i>	Исходное значение $K_L$

**Таблица 5.5 – Информационная многомерная модель параметров формообразования изделия (фрагмент)**

Параметры	$Const_{ML}$	$K_L$			$K_{K_r}$	$Const_{K_r}$	Интервалы $K_r$		
		<i>Initial</i>	$K_{K_L}$	Интервалы $L_{и}, см$					
<b>БЯЗЬ</b>									
$R_{pop_n}, см$	$K_{R_{pop_n}} * R_{pop_{19}}$	0,92	0,005	[40,00; 50,00]	-0,88	0,00	[1,00; 1,25]		
					0,88	0,40	(1,25; 1,75]		
					-0,88	-0,88	(1,75; 2,25]		
			0,002	(50,00; 60,00]	0,88	0,00	[1,00; 1,25]		
					4,48	0,90	(1,25; 1,50]		
					1,80	-0,44	(1,50; 2,25]		
0,0006	(60,00; 70,00]	3,60	0,00	[1,00; 1,25]					
		-1,12	-1,18	(1,25; 1,75]					
$L_{ji}, см$	$K_{L_{и}} * L_{и}$	0,97	0,00104	[40,00; 50,00]	1,00	0,00	[1,00; 1,75]		
					2,00	0,75	(1,75; 2,25]		
					4,80	0,00	[1,00; 1,25]		
			0,00095	(50,00; 60,00]	1,20	-0,90	(1,25; 2,25]		
					0,00092	(60,00; 70,00]	1,00	0,00	[1,00; 2,25]
					<i>передний контур</i>				
$h_p, см$	$K_{h_p} * L_{и}$	0,57	0,003	[40,00; 50,00]	13,60	0,00	[1,00; 1,75]		
					3,20	-7,80	(1,75; 2,25]		
			0,0035	(50,00; 60,00]	30,00	0,00	[1,00; 2,00]		
					0,00	-30,00	(2,00; 2,25]		
0,006	(60,00; 70,00]	28,00	0,00	[1,00; 1,25]					

Алгоритм расчёта значений формообразующих параметров строится на (Таблица 5.6):

- определении значений исходных параметров;
- расчёте значений вспомогательных параметров;
- выборе значений формообразующих параметров;
- расчёте значения искомого параметра.

**Таблица 5.6 – Последовательность реализации алгоритма расчёта значений формообразующего параметра (фрагмент)**

<i>Этап</i>	<i>Расчет параметра</i>	<i>С учетом данных таблиц 5.4 и 5.5</i>
	<i>Радиус поперечный на уровне линии низа юбки</i>	
Исходные данные	Размер фигуры – 164–88–94 Вид материала – бязь	Выбор пункта БЯЗЬ
	Длина юбки – 70см;	Выбор соответствующего интервала в столбце «Интервалы $L_u, см$ »: <b>интервал (60,00; 70,00]</b>
	Коэффициент разведения – 2,00	Выбор соответствующего интервала в столбце «Интервалы $K_r$ ": <b>интервал (1,75; 2,25]</b>
Определение значений исходных параметров	Выбор из БД размерных признаков или расчет $T_{56}$ - поперечный диаметр бедер $T_{56} = 32,19$ см	
Расчет значений вспомогательных параметров	$R_{pop_{19}} = T_{56}/2 = 16,1$ см; $K_{LR_{pop_n}} = 0,92 + (70,00 - 40,00) \cdot 0,0006 = 0,938$ (см. (5.3)) $Const_{ML} = 0,938 \cdot 16,1 = 15,42$ см (см. (5.2))	
Выбор значений формообразующих параметров		На основании информационного коридора выбираются параметры: $Initial = 0,92$ ; $K_{KL} = 0,0006$ ; $K_{K_r} = 2,12$ ; $Const_{K_r} = 1,25$ ;
Расчёт искомого параметра	$R_{pop_n} = 15,42 - (2,00 - 1) \cdot 2,12 + 1,25 = 14,55$ см (см.(5.1))	

Приведённый алгоритм расчёта выделенных формообразующих признаков выполняется в автоматическом режиме и является математическим обеспечением

программного модуля трёхмерного проектирования (*Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ №2013611419*, Приложение Б) [439].

### **5.3 РАЗРАБОТКА МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОДЕЖДЫ**

Процесс проектирования конструктивно-декоративных элементов одежды организован в следующей последовательности:

- формирование исходной информации об элементе;
- проектирование пространственной формы элемента;
- редактирование параметров модельной формы изделия.

Структура информационного описания конструктивно-декоративных элементов одежды основана на описании их функциональной значимости, места расположения, формы, конструктивного решения. Знания и опыт специалистов в области описания конструктивно-декоративных элементов структурированы в виде многоуровневой схемы поэтапного уточнения характеристик. Многоуровневая схема, разработанная на примере описания воротника, состоит из семи ступеней детализации конструктивно-декоративных элементов (Рисунок 5.10):

- 1 уровень – наименование элемента;
- 2 уровень – вид элемента;
- 3 уровень – особенности покроя (для воротника – это характеристика конструктивного соединения отлета со стойкой);
- 4 уровень – дополнительная функциональность, продиктованная дизайном изделия (для воротника - характер застежки);
- 5 уровень – характеристики параметров внешней формы;
- 6 уровень – характеристики параметры формообразования;
- 7 уровень – характеристики параметров технологической обработки.

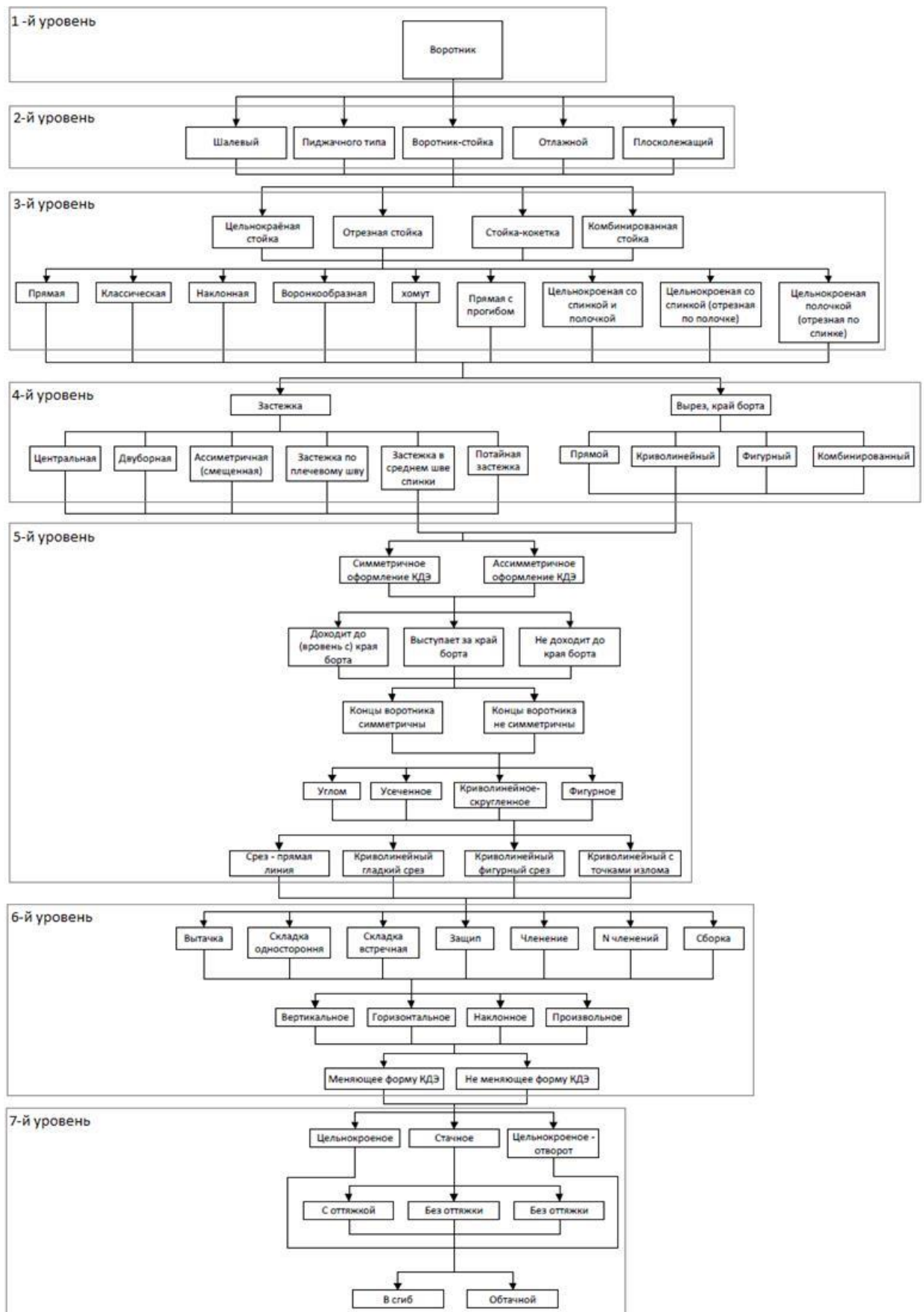


Рисунок 5.10 – Информационная составляющая элемента «воротник»

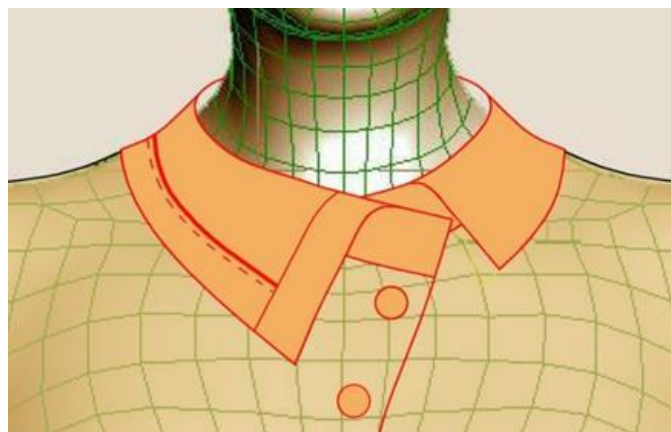
Схема описания конструктивно-декоративных элементов включает последовательность представления информации, необходимой для:

- формализации процесса описания конструктивного решения элемента;
- разработки оптимального набора параметров для конструктивного моделирования элементов в виртуальной трёхмерной среде;
- получения всей совокупности информации, необходимой для обоснования и выбора методов технологической обработки.

Последовательность детализированного описания конструктивно-декоративных элементов представляет собой алгоритм систематизации знаний для интеллектуализации процесса конструирования и моделирования одежды за счет согласованного использования терминов, понятий и параметров.

Особенностью проектирования конструктивно-декоративных элементов является их зависимость от других деталей изделия по месту соединения, расположению, по форме и другим параметрам (Рисунок 5.11). Для проектирования конструктивно-декоративных элементов эта информация является исходной и структурирована с учетом следующей информационной составляющей:

- *способ технологического соединения* конструктивно-декоративного элемента с другой деталью изделия (притачать, настрочить, втачать, и др.);
- *место расположения* конструктивно-декоративного элемента на исходной детали;
- *дополнительная модельная информация* в месте соединения с исходной деталью.

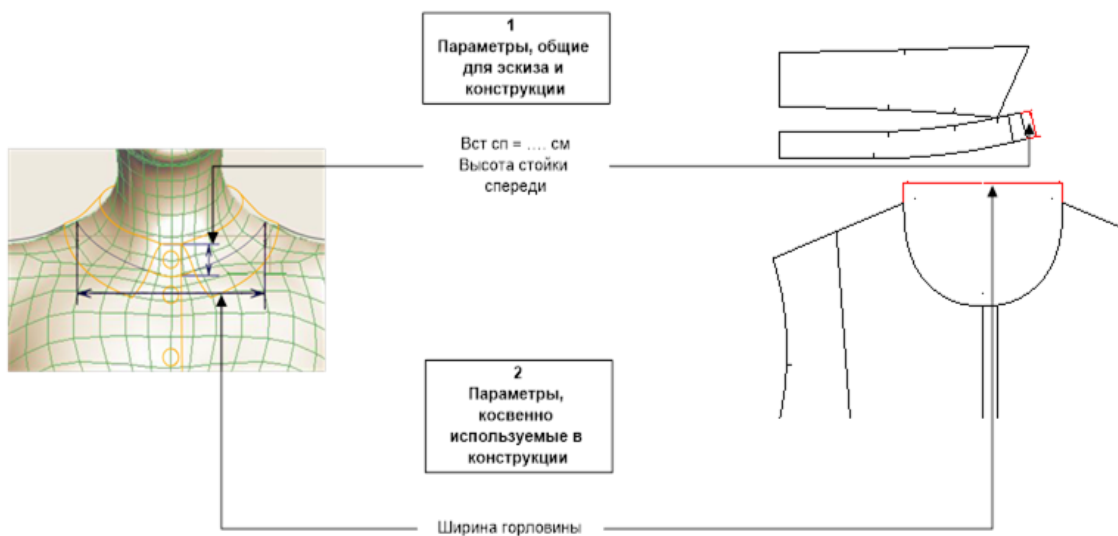


**Рисунок 5.11 – Вариативность декоративных, конструктивных и технологических параметров воротника**

Сложноформализуемой является информация о влиянии модельных особенностей внешнего вида элементов изделия на выбор параметров, определяющих их



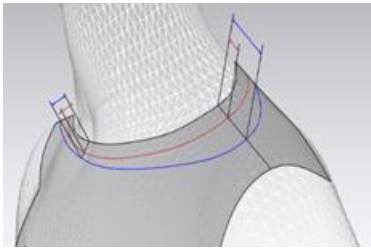


конструктивное решение. Прежде всего это влияние проявляется во взаимосвязи между параметрами трехмерного эскиза изделия и плоскостным отображением его внешней формы в целом или отдельных элементов (Рисунок 5.12). Параметрическая взаимосвязь трехмерного и двухмерного цифрового описания элементов основана на математических зависимостях, позволяющих автоматически преобразовывать конструкцию деталей изделия при внесении изменений в эскизное решение его внешнего вида, и наоборот наглядно видеть модификацию трехмерной визуализации проектируемого элемента при любой корректировке его конструкции.



**Рисунок 5.12 – Влияние параметров внешнего вида воротника на его конструкцию**

Для автоматизированной модификации параметрических характеристик при разработке эскизного, конструктивного и технологического решений проектируемого изделия созданы алгоритмы, отображающие однозначную взаимосвязь соответствующих параметров цифрового описания объекта на всех этапах его преобразования и для всех деталей его конструкции. На примере воротника показана параметрическая взаимосвязь между геометрической конфигурацией внешнего вида, основных и дополнительных деталей конструкции в процессе их сквозной модификации при изменении 3D эскиза (Таблица 5.7), используемая при организации диалога конструктора с системой автоматизированного проектирования.

**Таблица 5.7 – Модификация конструкции воротника при изменении конфигурации основных деталей и внешнего вида 3D эскиза (фрагмент)**

<i>Изменение параметра</i>	<i>Визуальное отображение изменения срезов основных деталей</i>	<i>Изменение базовой конструкции основных деталей</i>	<i>Изменение конструкции воротника</i>
Расширение базовой линии горловины		Изменение участков горловины полочки, спинки, плечевых срезов 	Изменение конструктивных параметров в соответствии с изменением длины горловины 

Для систематизации информации о влиянии модельных особенностей изделия на выбор параметров конструктивно-декоративных элементов проведена детализация вариантов их решения в общей структуре изделия. Для воротников решение этой задачи показано на примере анализа модельного решения «наличие застежки в изделии» (Рисунок 5.13), где выделены три варианта:

- через линию соединения воротника со станом не проходит застежка;
- через линию соединения воротника со станом проходит застежка;
- через линию соединения воротника со станом проходит разрез.

Для каждого из выделенных вариантов определены ветки информационных решений, обозначенные на рисунки в виде букв. Выделено десять информационных веток для каждой из которых установлены последовательности и варианты решений (Рисунок 5.14, Приложение И, Рисунки И1-И.3).

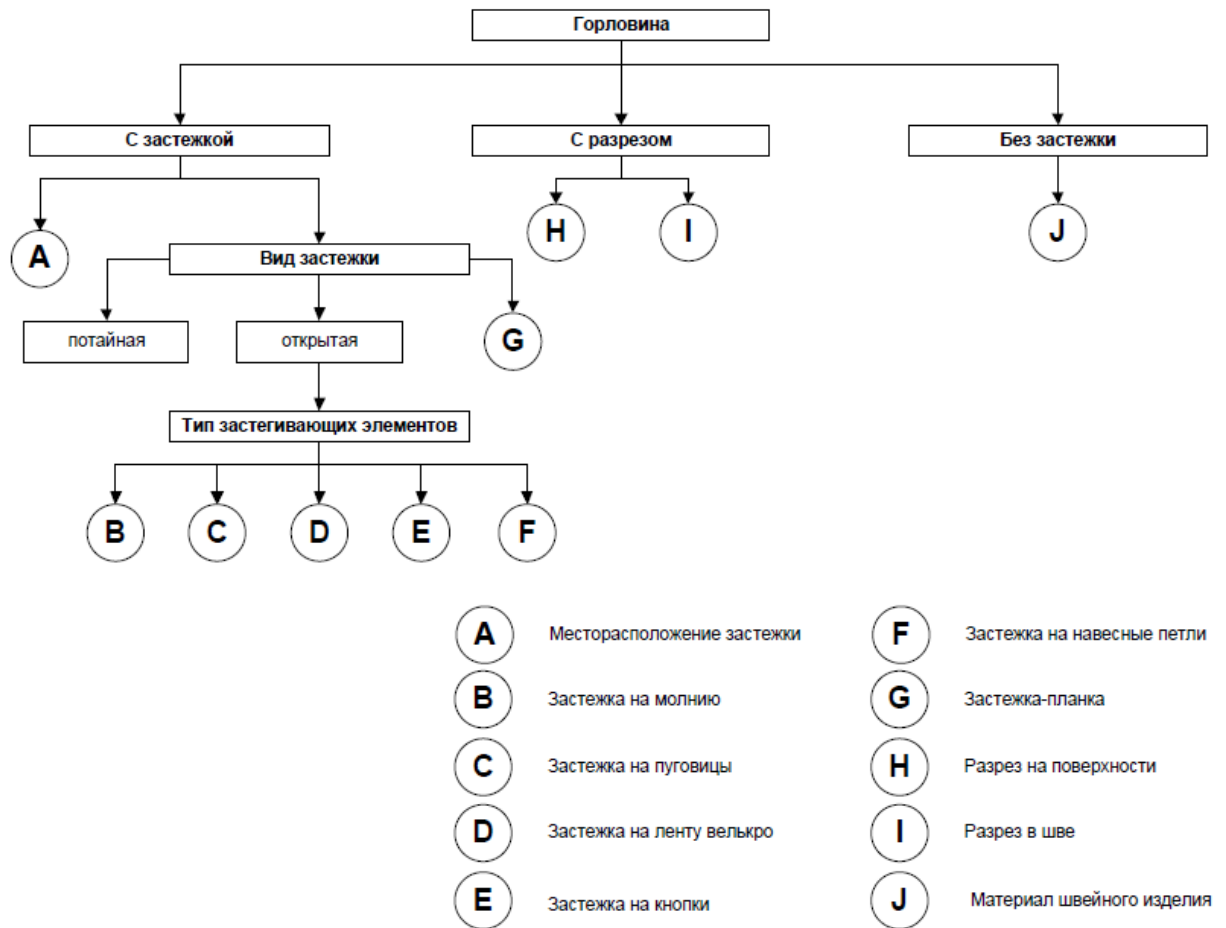


Рисунок 5.13 - Варианты модельного решения «наличие застёжки в изделии»

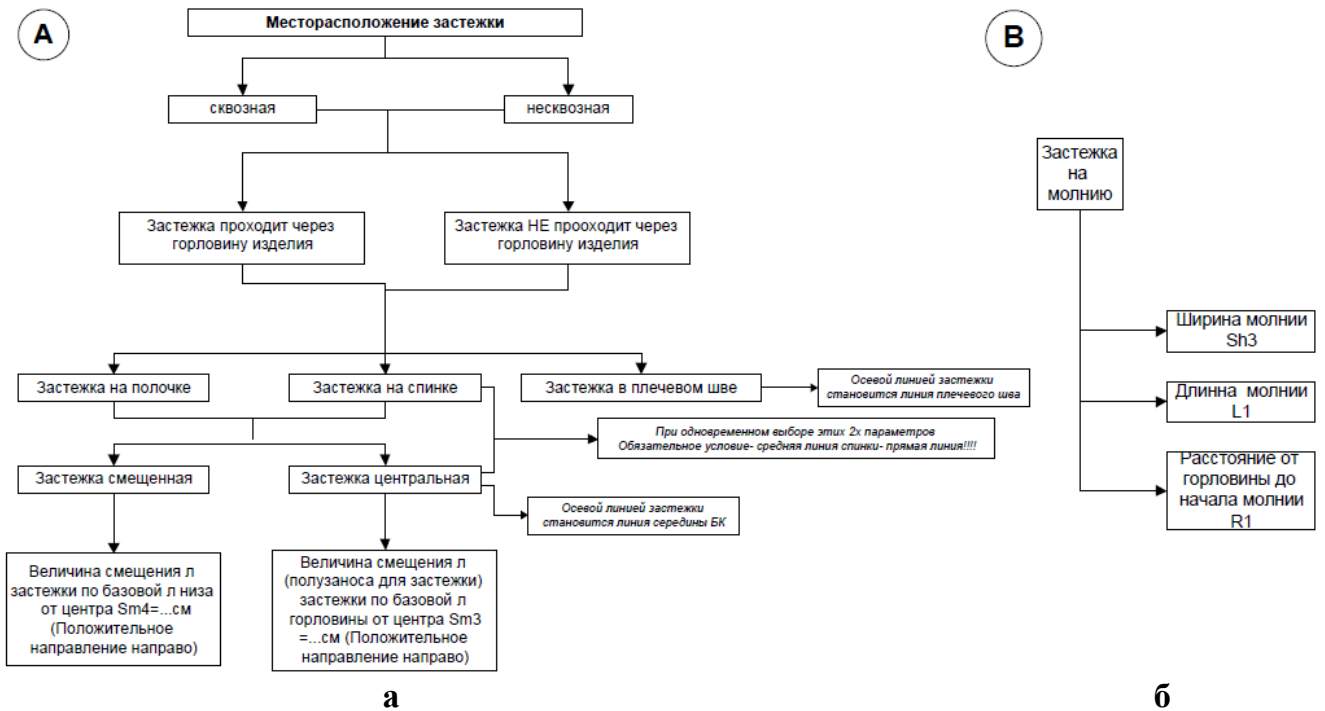


Рисунок 5.14 – Параметрические ветки модельных решений:

а) место расположения застёжки; б) застёжка на молнию

Для интеллектуализации параметрического моделирования конструктивных и декоративных элементов одежды необходима информация о:

- ✓ системе параметров, используемых для проектирования элементов;
- ✓ вариантах указания этих параметров;
- ✓ значениях параметров, которые можно рекомендовать как значения «по умолчанию».

Вышеуказанные параметры могут быть считаны в автоматизированном режиме или заданы конструктором в режиме диалога для последующей систематизации, основанной на изучении существующих модельных решений конструктивно-декоративных элементов. Вариант систематизации параметров приведен на примере воротника в таблице 5.8, где учтены как модельные решения изделия, влияющие на параметры воротника, так и характеристики самого элемента.

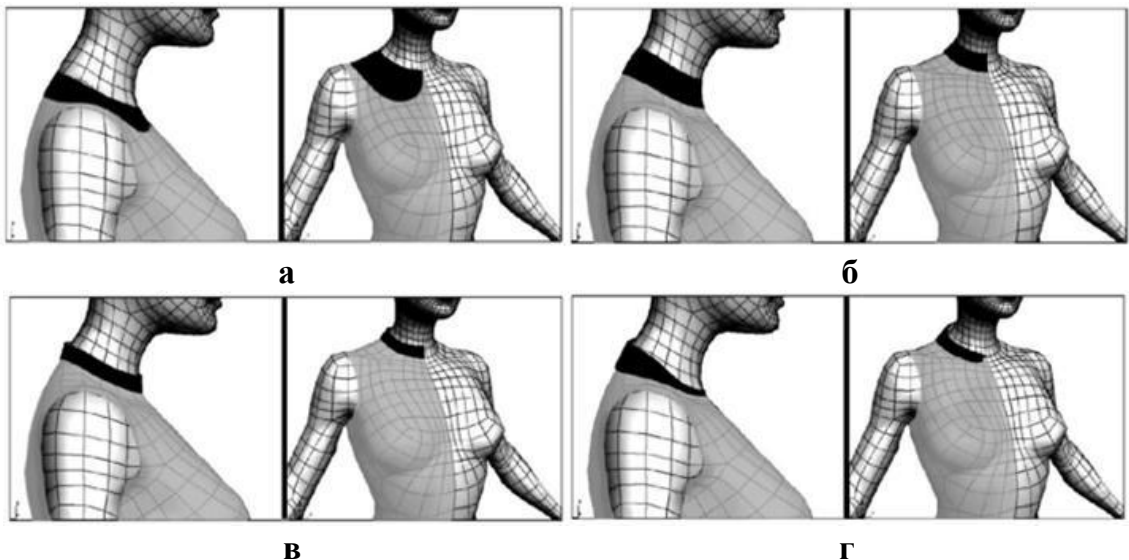
**Таблица 5.8 – Система исходной информации для проектирования конструктивно-декоративных элементов на примере воротника (фрагмент)**

<i>Параметры</i>	<i>Значение</i>	<i>Вариант указания</i>	<i>Значение по умолчанию</i>
<i>Модельные особенности изделия, влияющие на характеристики воротника</i>			
Застежка	На молнию	Выбор из списка Редактирование	На пуговицы/ кнопки
	На пуговицы/кнопки		
	Встык		
	Без застежки		
<i>Воротник стойка</i>			
Покрой	Самостоятельный элемент Цельнокроеный со станом	Выбор из списка	Самостоятельный элемент
Высота стойки	Равномерная	Ввод значения	3,5 см
	Неравномерная	Высота спереди	3,5 см
		Высота сзади	
Оформление концов стойки	Симметричное Асимметричное	Выбор из списка	Симметричное
Расположение концов стойки относительно края борта	Доходит Выходит Не доходит	Выбор из списка Редактирование	Доходит до края борта
Способ оформления конца стойки	Углом С закруглением С уступом	Выбор из списка	С закруглением
Оттяжка по верхнему срезу воротника стойки	Да /Нет	Выбор из списка	Нет
	Параметр оттяжки	Выбор из списка Ввод с клавиатуры	3 мм

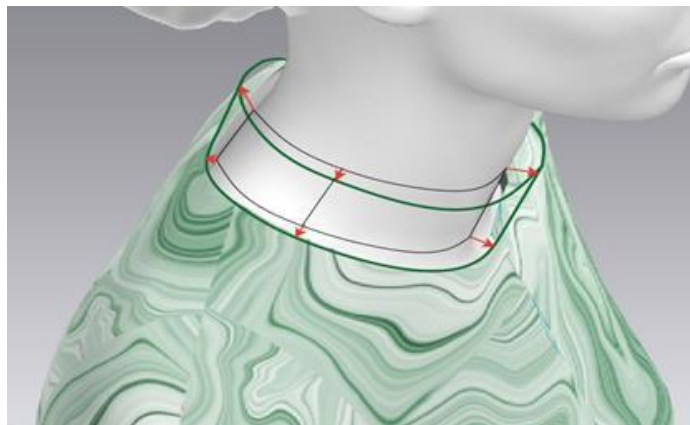
В соответствии с вариантом расположения конструктивно-декоративного элемента в структуре изделия выделено четыре основных способа задания его пространственной формы (Рисунок 5.15):

- поверхность, подобная поверхности участков тела человека;
- поверхность, подобная поверхности участков изделия;
- поверхность, инвариантная поверхностям участков тела человека и изделия;
- комбинированная поверхность.

В соответствии со способом задания поверхности конструктивно-декоративного элемента математическое описание его базовой формы строится на математическом описании поверхности фигуры или поверхности изделия с учетом проекционного зазора (Рисунок 5.16).



**Рисунок 5.15 – Задание поверхности воротника: а) подобное фигуре; б) подобное изделию; в) инвариантное фигуре и изделию; г) комбинированное**



**Рисунок 5.16 – Описание базовой формы воротника относительно опорного участка поверхности фигуры**

Редактирование и моделирование конструктивных и декоративных элементов осуществляют за счет изменения параметров, установленных на основе графического анализа геометрической формы элементов, что можно проиллюстрировать на примере воротника «цельнокроеная стойка» (Таблица 5.9, Рисунок 5.17).

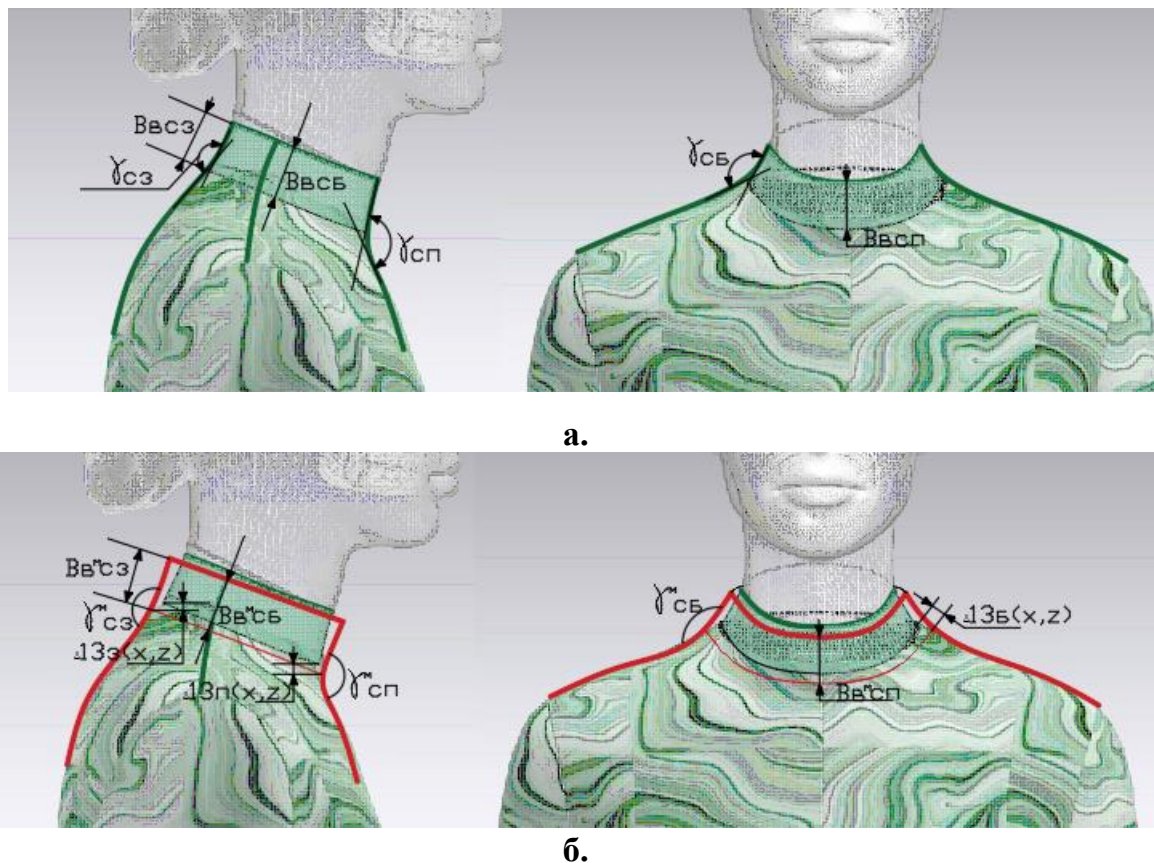


Рисунок 5.17 – Параметры моделирования внешней формы цельнокроеной стойки

Таблица 5.9 – Параметры конструктивного моделирования цельнокроеной стойки

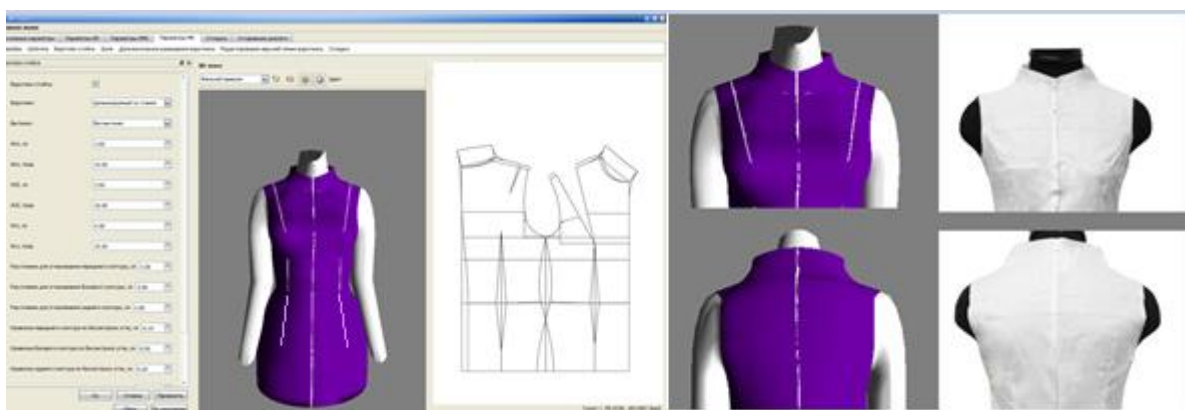
Обозначение	Наименование параметра
1	2
<i>Параметры базовой исходной формы</i>	
Vвсп	Высота воротника спереди, см
Vвсз	Высота воротника сзади, см
Vвсб	Высота воротника сбоку, см
$\gamma_{сп}$	Наклон касательной переднего абриса воротника к переднему абрису стана, °
$\gamma_{сз}$	Наклон касательной заднего абриса воротника к заднему абрису стана, °
$\gamma_{сб}$	Наклон касательной бокового абриса воротника к боковому абрису стана, °
Rсп	Радиус линии сопряжения переднего абриса воротника и стана, см
Rсз	Радиус линии сопряжения заднего абриса воротника и стана, см
Rсб	Радиус линии сопряжения бокового абриса воротника стана, см



Продолжение таблицы 5.9

<i>Параметры модельной формы</i>	
1	2
$V^{Mвсп}$	Высота модельной формы воротника спереди, см
$V^{Mвсз}$	Высота модельной формы воротника сзади, см
$V^{Mвсб}$	Высота модельной формы воротника сбоку, см
$\gamma^{Mсп}$	Наклон касательной переднего абриса модельной формы воротника к переднему абрису стана, °
$\gamma^{Mсз}$	Наклон касательной заднего абриса модельной формы воротника к заднему абрису стана, °
$\gamma^{Mсб}$	Наклон касательной бокового абриса модельной формы воротника к боковому абрису стана, °
$R^{Mсп}$	Радиус линии сопряжения переднего абриса модельной формы воротника и стана, см
$R^{Mсз}$	Радиус линии сопряжения заднего абриса модельной формы воротника и стана, см
$R^{Mсб}$	Радиус линии сопряжения бокового абриса модельной формы воротника стана, см
$\Delta 13п(x, z)$	Смещение точки нижней границы воротника по переднему контуру относительно точки P13п по осям ox и oz
$\Delta 13з(x, z)$	Смещение точки нижней границы воротника по заднему контуру относительно точки P13з по осям ox и oz
$\Delta 13б(y, z)$	Смещение точки нижней границы воротника по боковому контуру относительно точки P13б по осям oy и oz

Полученные результаты интегрированы в разработанный модуль автоматизированного проектирования одежды (Рисунок 5.18) (*Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ №2013611419*) [439].



**Рисунок 5.18 – Реализация метода построения воротника «цельнокроеная стойка» в виртуальной среде и его проверка макетированием**

## 5.4 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СКЛАДЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ОДЕЖДЕ

Согласно маршруту процесса автоматизированного параметрического проектирования складчатых поверхностей в одежде, техническое задание на разработку конструкции и формы складчатой поверхности формируется на основе изучения направлений моды и конструктивно-технологических решений моделей одежды со складками (Таблица 5.10).

**Таблица 5.10 – Ассортиментные группы одежды со складчатой поверхностью**

<i>Поясная одежда</i>	<i>Плечевая одежда</i>
<i>Юбки</i>	<i>Платья, блузки</i>
	
<i>Брюки</i>	<i>Жакеты, пальто</i>
	

Пространственная конфигурация складок в изделии зависит от геометрических параметров отдельных складок, заданных эскизом, и от свойств материала. При традиционном проектировании одежды, имеющей складчатую поверхность, качество конструкции прежде всего зависит от опыта и интуиции конструктора, поэтому для подтверждения корректности выбранных приемов конструктивного моделирования изготавливают макет готового изделия. Для повышения качества проектируемых изделий



важна правильность задания технических условий для разработки конструкций складок разнообразных форм. Результаты интеллектуализации процесса проектирования регулируемых складчатых поверхностей одежды отражены в разработанной базе данных «Параметрическое проектирование складчатых поверхностей в одежде» (Рисунок 5.19) (Свидетельство о госрегистрации базы данных № 2019621730) [431].



**Рисунок 5.19 - Структура базы данных параметрического проектирования складчатых поверхностей в одежде [431]**

Разработанная база данных «Параметрическое проектирование складчатых поверхностей в одежде» включает десять информационных массивов (ИМ), позволяющих:

- оценить композиционное, стилевое и конструктивное решение моделей-аналогов одежды со складчатой поверхностью в дизайнерских и промышленных коллекциях в ассортиментных группах (ИМ1) (см. Рисунок 5.19);
- получить информацию, позволяющую на этапе технического задания и эскизного проектирования выбрать один или несколько видов складчатых поверхностей для проектируемой модели одежды в соответствии с художественным эскизом или требованиями заказчика (ИМ2) (Приложение И, Таблица И1);

- описать внешний вид и габариты складчатых поверхностей в одежде через параметры складок и коэффициенты для проектирования конструкций в автоматическом режиме независимо от опыта и интуиции конструктора (ИМ3) (Таблица 5.11).

**Таблица 5.11 – Характеристика внешнего вида складок (ИМ3) (фрагмент)**

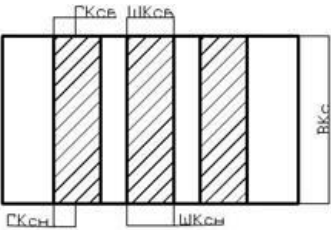
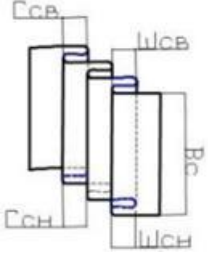
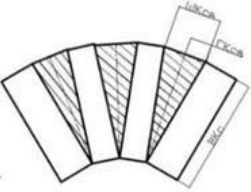
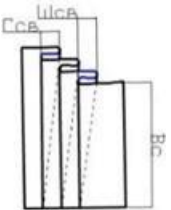
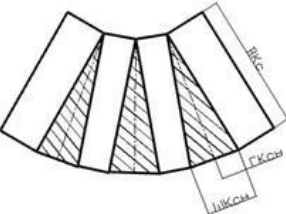
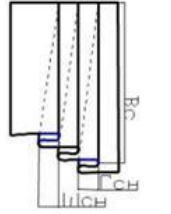
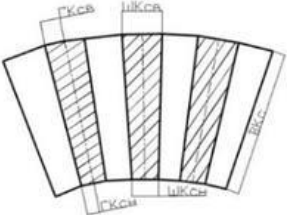
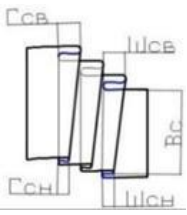
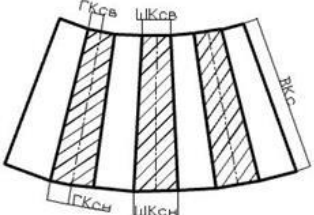
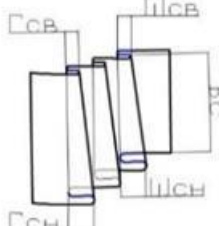
Параметры складок	Обозначение	Схема
Высота	Вс, см	
Глубина снизу	Гсн, см	
Глубина сверху	Гсв, см	
Ширина снизу	Шсн, см	
Ширина сверху	Шсв, см	
<i>Коэффициенты конструкции</i>		
Высота	ВКс, см	
Глубина	ГКсн, см	
Глубина сверху	ГКсв, см	
Ширина снизу	ШКсн, см	
Ширина сверху	ШКсв, см	

- прогнозировать визуальную форму складок с фиксацией по краю (верхнему или нижнему) (ИМ4);
- получить визуальную и метрическую информацию о способах фиксирования равномерных и неравномерных складок по верхнему краю в изделиях и систематизировать полученную информацию об изменении размеров деталей изделия по периметру формирования складчатой поверхности (ИМ5);
- выбрать приемы конструктивного моделирования при проектировании складчатых поверхностей в изделиях разных силуэтных форм в соответствии с видами складок (ИМ6) (Таблица 5.12).

Визуальная и метрическая входная информация, предназначенная для параметрического моделирования складчатых поверхностей в одежде, обобщена в конструктивно-технологических решениях складок (Таблица 5.13), включая схемы конструкции и внешнего вида складок, параметры складчатой поверхности, модельные особенности изделия и другие. На основе вышеуказанной информации осуществляют выбор входной проектной информации для параметрического моделирования внешней формы одежды путем согласования размеров и формы складок. Визуальная информация

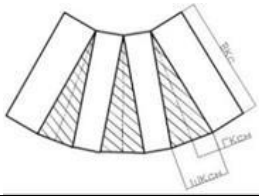
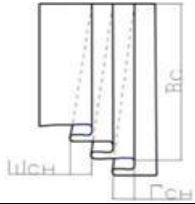

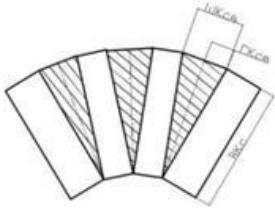
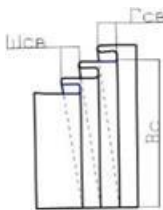

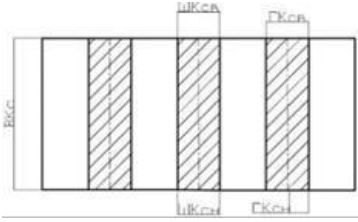
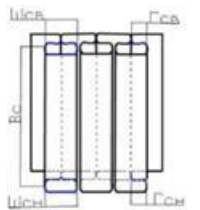

о внешнем виде прототипа изделия позволяет прогнозировать форму складчатой поверхности, визуально оценивать проявления и степень фиксации складок в проектируемом изделии с выбранными параметрами складок.

**Таблица 5.12 – Варианты конструктивного моделирования складок (ИМ6)  
(фрагмент)**

<i>Способ моделирования</i>	<i>Схема конструктивного решения</i>	<i>Внешний вид</i>
<i>Параллельное расширение</i>		
Равномерное		
<i>Коническое расширение</i>		
По верхнему краю		
По нижнему краю		
<i>Параллельно-коническое расширение</i>		
Значительное разведение по верхнему краю		
Значительное разведение по нижнему краю		

\*Наименование параметров складок даны в табл.5.13

**Таблица 5.13 – Параметрическое проектирование конструктивно-технологических решений складок в одежде (ИМ10) (фрагмент)**

Код	Схема конструкции складок	Схема внешнего вида складок	
111			
<i>Параметры складчатой поверхности</i>			
наименование	обозначение	величина, см	модель изделия
высота складки	Вс	70,0	
глубина складки снизу	Гсн	3,5	
ширина складки снизу	Шсн	7,0	
высота складки в конструкции	ВКс	70,0	
глубина складки снизу	ГКсн	3,5	
ширина складки снизу	ШКсн	7,0	
211			
высота складки	Вс	63,0	
глубина складки сверху	Гсв	3,2	
ширина складки сверху	Шсв	6,4	
высота складки в конструкции	ВКс	63,0	
глубина складки сверху	ГКсв	3,2	
ширина складки сверху	ШКсв	6,4	
332			
высота складки	Вс	50,0	
глубина складки снизу	Гсн	3,0	
глубина складки сверху	ГКсв	3,0	
ширина складки снизу	Шсн	6,0	
ширина складки сверху	ШКсв	6,0	
высота складки в конструкции	ВКс	50,0	
глубина складки снизу	ГКсн	3,0	
глубина складки сверху	ГКсв	3,0	
ширина складки снизу	ШКсн	6,0	
ширина складки сверху	ШКсв	6,0	

С помощью разработанной базы данных параметров складчатых поверхностей одежды формируют информационное обеспечение автоматизированного процесса проектирования одежды, имеющей складки и т.п. элементы, что позволяет оптимизировать процесс проектирования одежды и уменьшить влияние опыта работы конструктора на качество проектных решений, то есть привлечь в качестве пользователей САПР одежды специалистов с разным уровнем профессиональных знаний конструктора. Разработанная база данных позволяет пользователю оперативно выбирать научно-обоснованные данные для расчёта величин конструктивных и технологических параметров складок, чем усовершенствовать разработку конструкций плечевых и поясных изделий в производственных условиях.

Наличие структурированной визуальной и метрической информации, количественных и качественных характеристик складок способствует улучшению качества выполняемых операций по сборке складчатых поверхностей в одежде и экономии времени выполнения операций.

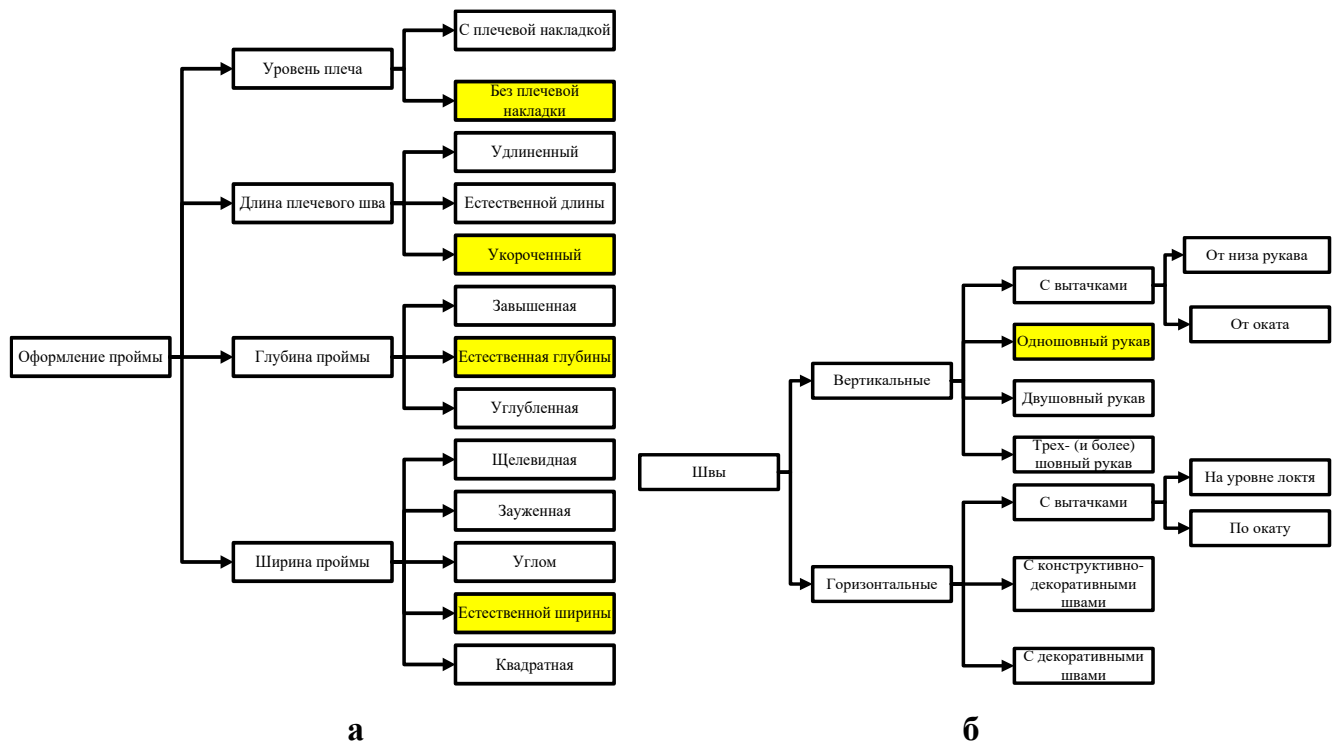
## **5.5 РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВИРТУАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ С РУКАВАМИ СЛОЖНЫХ ФОРМ**

Наибольшие затруднения у специалистов вызывает процесс создания и моделирования объемной формы рукава в связи с необходимостью учитывать очень большое количество факторов, включая приемы и коэффициенты моделирования, особенности дизайна, свойства материалов и других, требующих творческих умозаключений и знаний для выбора неоднозначных значений параметров. Как показывает практика, приёмы конструктивного моделирования достаточно кропотливы, не дают точного представления об итоговой форме изделия, при этом величины разведения, напуска, объема подбираются субъективно, «на глаз». Поэтому получение сложных пространственных форм одежды в первую очередь зависит от квалификации конструктора, его интуиции и опыта, а при проектировании особенно сложных форм и непредсказуемого поведения поверхности изделия достаточно часто применяют метод макетирования. Таким образом, при проектировании моделей одежды сложных покроев или имеющих сложную внешнюю форму отсутствуют подходящие готовые решения и

иным образом формализованный накопленный конструкторский опыт, из-за чего построение всей конструкции всегда приходится проводить с нуля.

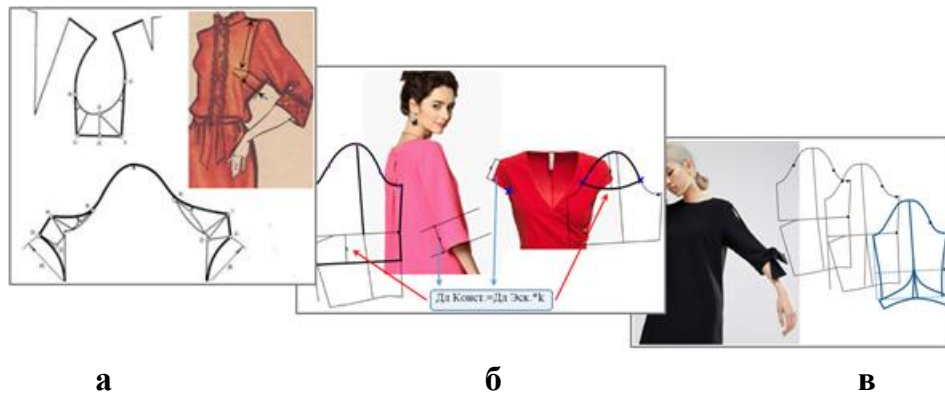
Для автоматизации этапов моделирования формы рукава выделена исходная информация, предназначенная для определения основных характеристик рукавов всех типов, основанная на эмпирических данных и содержащая систематизированные данные об обобщённых характеристиках пространственной формы рукавов, включая пять ключевых характеристик:

- по типу оформления проймы (Рисунок 5.20, а);
- по длине (Приложение И, Рисунок И.4, а);
- по виду членений (см. Рисунок 5.20, б);
- по месту расположения объема (Приложение И, Рисунок И.4, б);
- по способу создания объема (Приложение И, Рисунок И.5).



**Рисунок 5.20 - Характеристики рукавов по:  
а) оформлению проймы; б) виду членений**

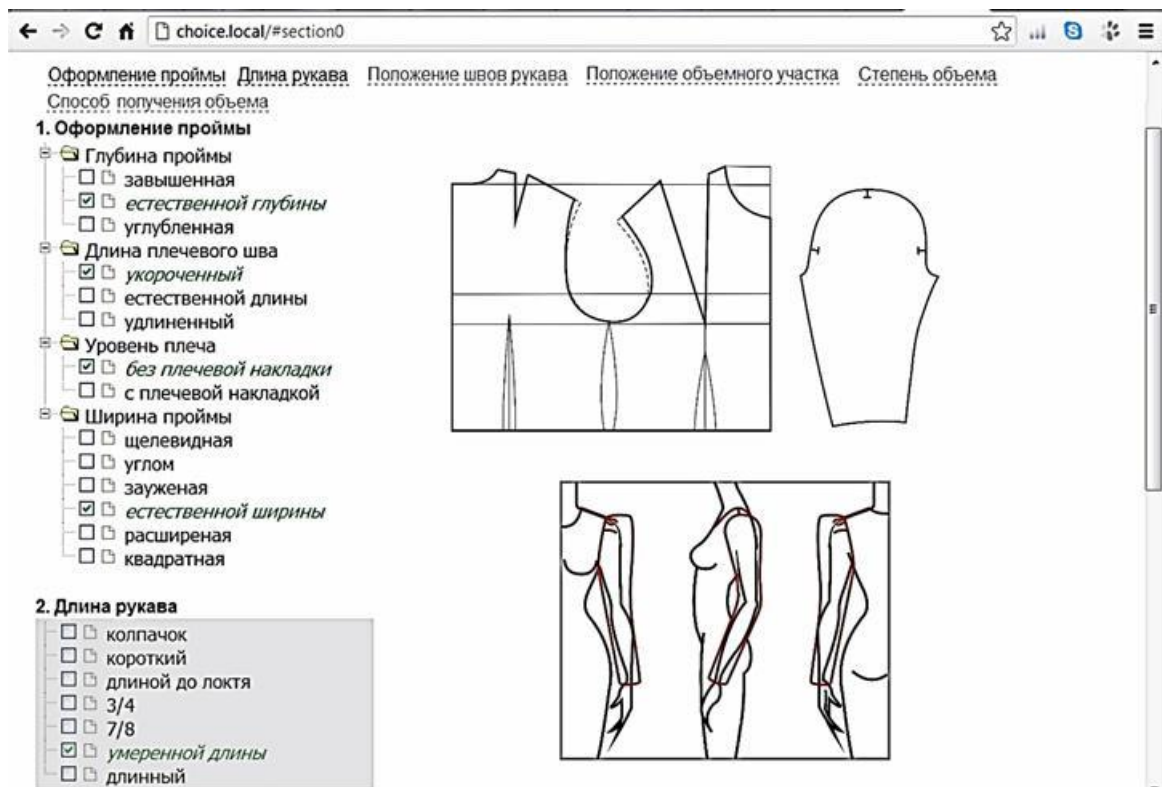
Первые три вида характеристик рукавов легко формализуемы, так как их моделирование осуществляется с помощью инструментария, считывающего параметрическую информацию с эскиза (Рисунок 5.21).



**Рисунок 5.21 - Формализация параметров рукава по:**

**а) оформлению проймы; б) длине; в) виду членений**

В качестве инструментария для определения вышеуказанных параметров рукавов может выступать диалог с пользователем, позволяющий сформировать исходную информацию, необходимую для проектирования изделия (Рисунок 5.22).



**Рисунок 5.22 - Схемы диалога с пользователем для выявления параметров рукава**

Первичная информационная составляющая содержит данные об исходной модельной форме рукавов. Этап построения исходной модельной формы является формализуемым и реализуется за счет алгоритмов. Цифровое описание особенностей формы одежды с учетом используемых приемов, коэффициентов и параметров моделирования выполняется на этапе создания и моделирования формы изделия.



В процессе моделирования можно выделить две группы факторов, которые в большей степени влияют на процесс создания формы рукавов, а именно:

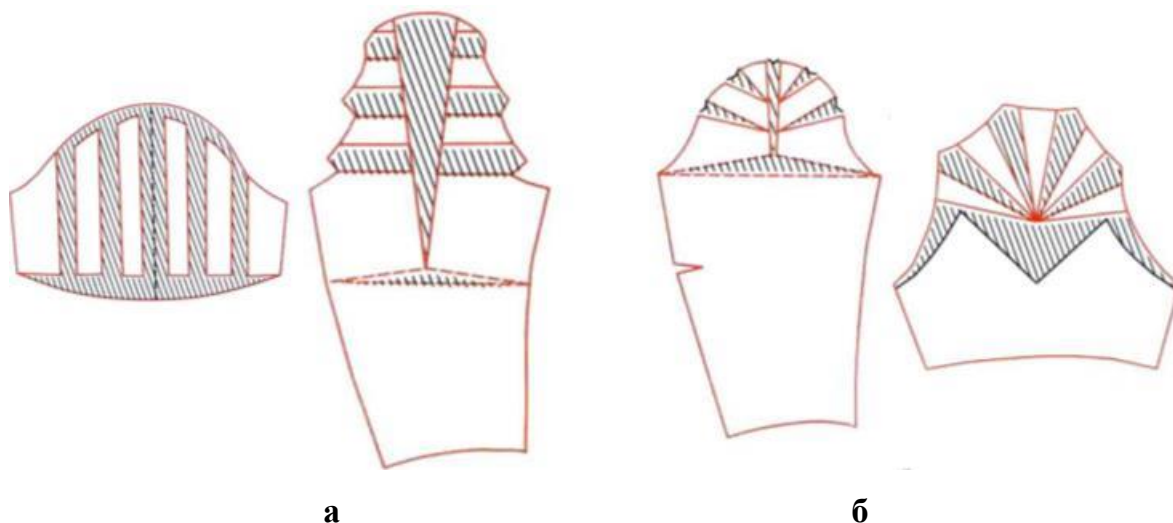
- внутренние (приемы и коэффициенты моделирования);
- внешние (свойства используемых материалов, особенности исходного объекта/фигуры).

Итогом процесса моделирования является объемная форма изделия, для описания которой используется параметрический метод.

В процессе проводимого эмпирического исследования ставились задачи:

- определения группы параметров, которые влияют на внешнюю форму изделия;
- выявления группы параметров, с помощью которых можно математически описать и визуализировать пространственную форму изделия на примере рукавов;
- определения взаимозависимости и взаимовлияния внешних и внутренних факторов, лежащих в основе моделирования объемной формы рукавов.

Установлено, что в основном изменение объема рукавов происходит с использованием таких приёмов конструктивного моделирования, как параллельное и коническое разведение/заужение (Рисунок 5.23), с помощью которых происходит формообразование сложной пространственной конфигурации поверхностей.



**Рисунок 5.23 – Моделирование сложных пространственных форм рукавов:**

**а) параллельным разведением; б) коническим разведением/заужением**

В качестве объекта исследования выбраны рукава, моделируемые приемами конструктивного конического и параллельного разведения, заключающимися в изменении длины срезов деталей конструкции на величину, заданную коэффициентом моделирования.



## Разработка метода виртуального параметрического моделирования рукавов со сборкой по окату

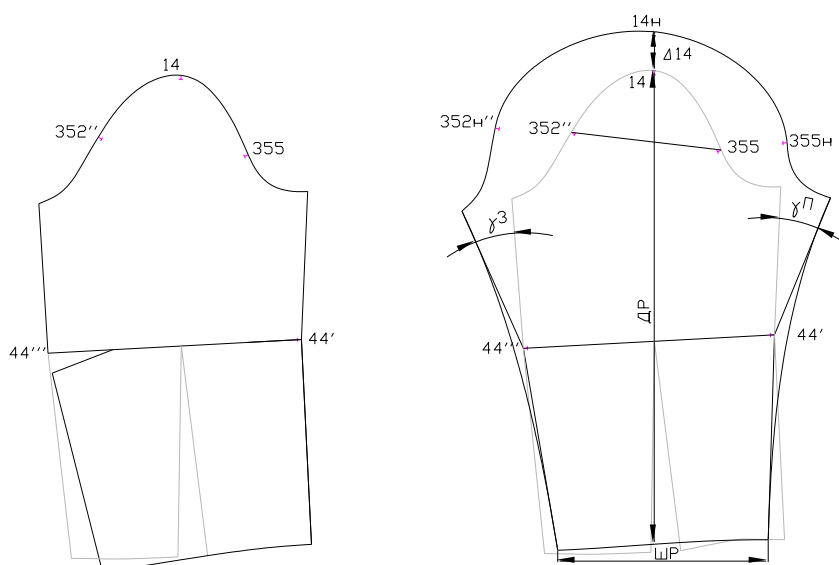
Традиционно проектирование рукавов сложных модельных конструкций является сложноформализуемой задачей, которая решается интуитивно при наличии достаточного опыта у специалиста. Метод виртуального параметрического моделирования конструкций рукавов сложных форм включает:

- ❖ описание исходных данных для моделирования;
- ❖ последовательность построения конструкции рукава с использованием системы конструктивных параметров;
- ❖ способ описания пространственной формы рукава с использованием системы формообразующих параметров;
- ❖ методику параметрического проектирования рукавов сложных модельных решений.

Исходными данными для проектирования рукавов является обобщённая информация об их исходной модельной форме. Для определения системы параметров, используемых для построения модельной конструкции рукавов, проведен анализ известных конструктивных решений, включая рукав со сборкой по окату (Таблица 5.14, Рисунок 5.24).

**Таблица 5.14 - Конструктивные параметры рукавов со сборкой по окату**

Конструктивный параметр	Описание
$\Delta 14 = /14 - 14н/, \text{ см}$	Изменение высоты оката рукава относительно высоты оката базовой конструкции
ШР – по эскизу, см	Ширина готового рукава внизу
$\gamma^{\text{II}}, ^\circ$	Величина отведения переднего верхнего участка рукава
$\gamma^{\text{III}}, ^\circ$	Величина отведения заднего верхнего участка рукава
$\Delta L^{\text{II}}, \text{ см}$	Изменение длины верхнего участка оката, сопряженного с передом
$\Delta L^{\text{III}}, \text{ см}$	Изменение длины верхнего участка оката, сопряженного со спинкой



**Рисунок 5.24 – Базовая и модельные конструкции рукава со сборкой по окату**

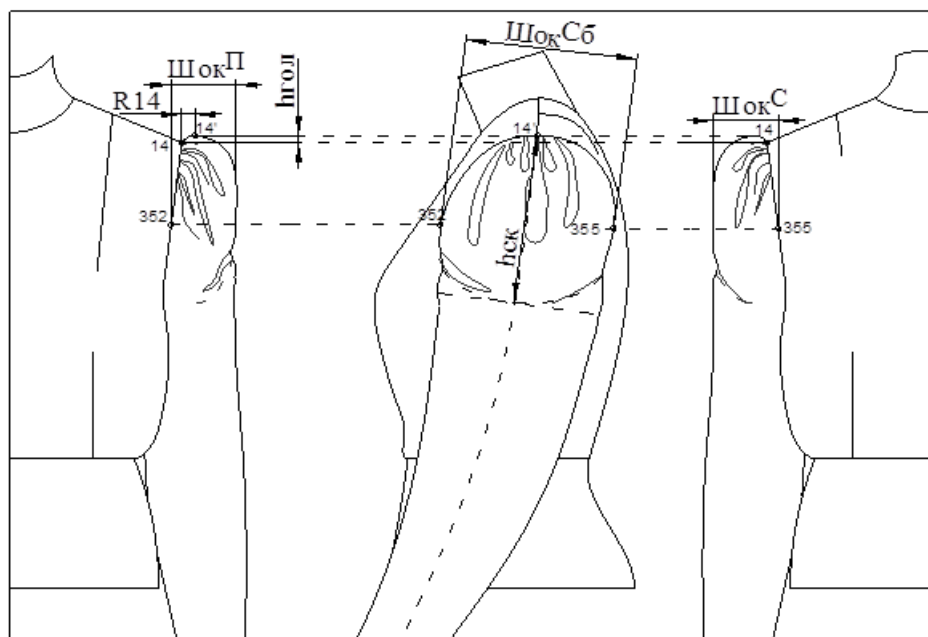
*Последовательность построения модельной конструкции рукава со сборкой по окату* включает следующие этапы:

- 1) Определение ширины рукава внизу.
- 2) Определение новой высоты оката:  $14н = 14 + \Delta 14$ .
- 3) Отсечение верхнего участка оката по линии: /352''-355/.
- 4) Отведение внутренних переднего и заднего участка рукава на заданный угол.
- 5) Оформление верхних участков оката рукава.
- 6) Определение величины сборки верхних участков  $\Delta L^П$ ,  $\Delta L^З$ .
- 7) Оформление нижнего среза.

Параметры, описывающие внешнюю форму изделия, представлены на примере анализа геометрической формы модельных рукавов (Таблица 5.15, Рисунок 5.25).

**Таблица 5.15 - Формообразующие параметры рукавов со сборкой по окату**

Формообразующий параметр	Описание
<b>Шок<sup>П</sup></b> , см	Ширина оката рукава, измеряемая на виде спереди на уровне передней надсечки
<b>hгол</b> , см	Величина визуального выступания оката рукава над плечевой точкой
<b>R14</b> , см	Горизонтальное смещение верхней точки оката рукава относительно передней надсечки
<b>Шок<sup>С</sup></b> , см	Ширина оката рукава, измеряемая на виде сзади на уровне задней надсечки
<b>Шр<sup>Сб</sup></b> , см	Ширина оката рукава, измеряемая на виде сбоку на уровне задней и передней надсечек
<b>hск</b> , см	Уровень провисания свободных складок, измеряемый вдоль вертикальной линии рукава от наивысшей точки оката рукава до уровня провисания его ткани на участке, сопряженном с передом изделия

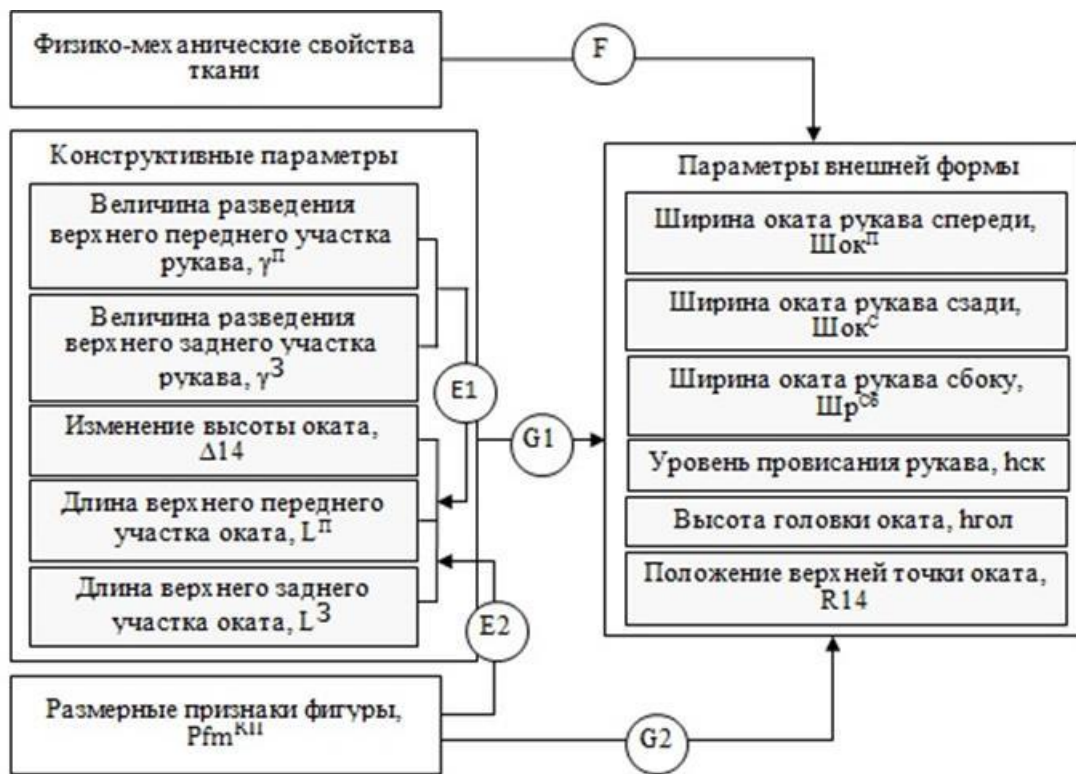


**Рисунок 5.25 - Схема параметризации внешней формы рукавов**

Параметрическая модель процесса виртуального моделирования рукавов сложных покроев и форм представлена в виде структуры конструктивных параметров и параметрической информации о внешней форме изделия, о физико-механических свойствах материалов, используемых для изготовления изделия, о фигуре человека, которая предназначена для проектирования конструкций (Рисунок 5.26). Предлагаемая модель включает пять групп интеллектуальных поддержек, отображающих влияние и характер зависимостей между всеми группами параметров.

Параметрические зависимости получены экспериментальным путем в результате измерения основных параметров натуральных образцов и их изменений, включая:

- размерные признаки фигуры человека (Рост 170 см, 2-я полнотная группа, обхват груди третий (ОГЗ) от 80 см до 108 см с интервалом безразличия ( $\Delta$ ОГЗ), равным 4 см;
- отведение верхних переднего и заднего участков рукава: от  $5^\circ$  до  $30^\circ$  (с шагом  $5^\circ$ );
- показатели физико-механических свойств материалов (коэффициент драпируемости (Кд) костюмной ткани, равный 10%, и бязи, равный 30%).



**Рисунок 5.26 - Модель процесса параметрического моделирования рукавов**

Полученные зависимости систематизированы в табличной форме (Таблица 5.16) и в структурированном виде отображают профессиональный опыт в предметной области моделирование рукавов. Информативное пополнение данных может осуществляться на основе анализа удачных конструктивных решений. Интеллектуальные поддержки E1 и E2, представленные на рисунке 5.26, отображают информацию о том, как влияет величина отведения верхних переднего ( $\gamma^П$ ) и заднего ( $\gamma^З$ ) участков рукава (E1), и размерные признаки фигуры (E2) на значения таких параметров, как величина смещения точки высоты оката ( $\Delta l4$ ) и величина изменения длин переднего ( $\Delta L^П$ ) и заднего ( $\Delta L^З$ ) верхних участков оката. По результатам эксперимента установлено, что смещение т.14 осуществляется только по вертикали.

Иллюстрация интеллектуальных поддержек F, G1 и G2 на рисунке 5.26 отражает информацию о влиянии конструктивных параметров, параметров фигуры человека и физико-механических свойств ткани на формообразующие параметры (Таблица 5.17).  
 $\Delta$  ШокП - величина изменения параметра ШокП при увеличении размера на один шаг;  
 $\Delta$  ШокС - величина изменения параметра ШокС при увеличении размера на один шаг;  
 $\Delta$  ШрСб - величина изменения параметра ШрСб при увеличении размера на один шаг;  
 $\Delta$  hск - величина изменения параметра hск при увеличении размера на один шаг;  
 $\Delta$  hгол - величина изменения параметра hгол при увеличении размера на один шаг.

**Таблица 5.16 - Параметрическая модель основных конструктивных характеристик рукавов (фрагмент)**

ОГЗ	$\gamma^{\Pi}=\gamma^3,0$	$\Delta L^4$	$\Delta L^{\Pi}$	$\Delta L^3$	ОГЗ	$\gamma^{\Pi}=\gamma^3,0$	$\Delta L^4$	$\Delta L^{\Pi}$	$\Delta L^3$
80	5	0,9	1,4	1,5	100	5	1,2	3,9	3,5
	10	1,8	2,8	3		10	2,4	7,8	7
	15	2,7	4,2	4,5		15	3,6	11,7	10,5
	20	3,6	5,6	6		20	4,8	15,6	14
	25	4,5	7	7,5		25	6	19,5	17,5
	30	5,4	8,4	9		30	7,2	23,4	21
	35	6,3	9,8	10,5		35	8,4	27,3	24,5
84	5	0,96	1,9	1,9	104	5	1,26	4,4	3,9
	10	1,92	3,8	3,8		10	2,52	8,8	7,8
	15	2,88	5,7	5,7		15	3,78	13,2	11,7
	20	3,84	7,6	7,6		20	5,04	17,6	15,6
	25	4,8	9,5	9,5		25	6,3	22	19,5
	30	5,76	11,4	11,4		30	7,56	26,4	23,4
	35	6,72	13,3	13,3		35	8,82	30,8	27,3
88	5	1,02	2,4	2,3	108	5	1,32	4,9	4,3
	10	2,04	4,8	4,6		10	2,64	9,8	8,6
	15	3,06	7,2	6,9		15	3,96	14,7	12,9
	20	4,08	9,6	9,2		20	5,28	19,6	17,2
	25	5,1	12	11,5		25	6,6	24,5	21,5
	30	6,12	14,4	13,8		30	7,92	29,4	25,8
	35	7,14	16,8	16,1		35	9,24	34,3	30,1
92	5	1,08	2,9	2,7	112	5	1,38	5,4	4,7
	10	2,16	5,8	5,4		10	2,76	10,8	9,4
	15	3,24	8,7	8,1		15	4,14	16,2	14,1
	20	4,32	11,6	10,8		20	5,52	21,6	18,8
	25	5,4	14,5	13,5		25	6,9	27	23,5
	30	6,48	17,4	16,2		30	8,28	32,4	28,2
	35	7,56	20,3	18,9		35	9,66	37,8	32,9
96	5	1,14	3,4	3,1	116	5	1,44	5,9	5,1
	10	2,28	6,8	6,2		10	2,88	11,8	10,2
	15	3,42	10,2	9,3		15	4,32	17,7	15,3
	20	4,56	13,6	12,4		20	5,76	23,6	20,4
	25	5,7	17	15,5		25	7,2	29,5	25,5
	30	6,84	20,4	18,6		30	8,64	35,4	30,6
	35	7,98	23,8	21,7		35	10,08	41,3	35,7

**Таблица 5.17 - Информационная параметрическая модель для описания внешней формы рукава (фрагмент)**

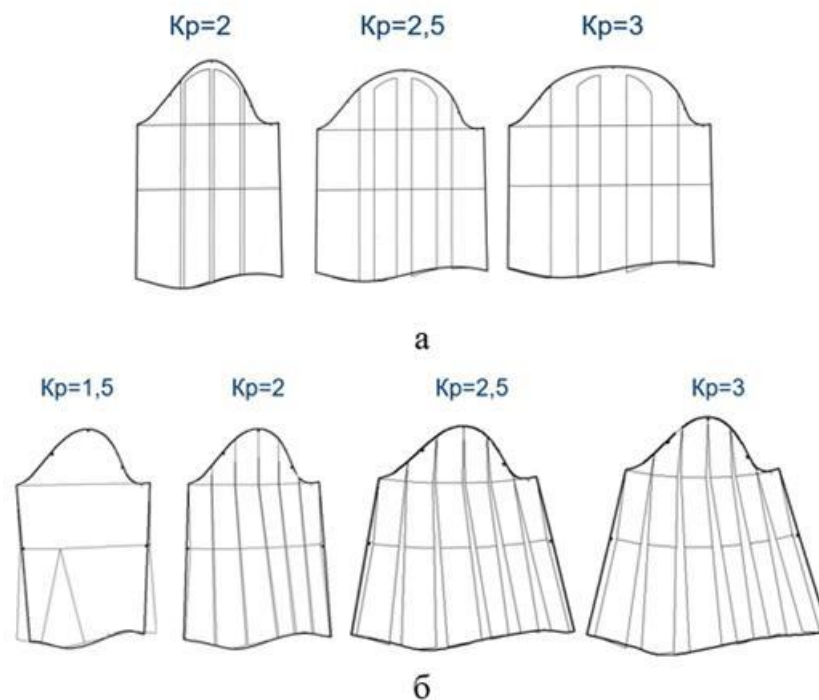
Параметры										
$\gamma^П = \gamma_3, \text{°}$	Шок <sup>П</sup> , см	Шок <sup>С</sup> , см	Шр <sup>Сб</sup> , см	hск, см	hгол, см	$\Delta$ Шок <sup>П</sup> , см	$\Delta$ Шок <sup>С</sup> , см	$\Delta$ Шр <sup>Сб</sup> , см	$\Delta$ hск, см	$\Delta$ hгол, см
	170-88-96									
<i>Костюмная ткань</i>										
0	5,3	4,7	10,5	0,0	0,1	0,2	0,2	0,7	0,0	0,1
5	5,6	5,1	11,4	0,4	0,2	0,3	0,3	0,6	0,3	0,2
10	6,0	5,4	12,2	0,9	0,3	0,5	0,3	0,6	0,6	0,2
15	6,3	5,8	13,1	1,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,8	0,2
20	6,6	6,1	14,0	1,7	0,4	0,7	0,5	0,4	1,1	0,3
25	6,9	6,5	14,9	2,2	0,5	0,8	0,6	0,3	1,4	0,3
30	7,3	6,8	15,7	2,6	0,6	1,0	0,6	0,3	1,7	0,4
<i>Бязь</i>										
0	5,0	4,7	11,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,6	0,0	-0,2
5	5,5	5,2	12,0	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6	0,2	-0,2
10	6,0	5,7	13,1	0,9	0,3	0,5	0,3	0,5	0,4	-0,2
15	6,5	6,2	14,1	1,4	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	-0,2
20	7,1	6,7	15,2	1,8	0,4	0,7	0,5	0,5	0,8	-0,3
25	7,6	7,2	16,2	2,3	0,5	0,8	0,6	0,4	1,0	-0,3
30	8,1	7,7	17,3	2,7	0,5	1,0	0,6	0,4	1,2	-0,3

### **Исследование зависимости внешней формы рукавов от свойств используемых материалов**

На завершенность внешней формы рукавов влияет способ оформления их низа с использованием манжет или без них, поэтому для описания модельных особенностей рукавов выбраны три основных вида, существенно отличающихся своей пространственной формой:

- ✓ рукав, моделируемый параллельным разведением без манжеты;
- ✓ рукав, моделируемый параллельным разведением с манжетой;
- ✓ рукав, моделируемый коническим разведением с манжетой.

Разработаны модельные конструкции рукавов, полученные параллельным расширением с коэффициентами разведения 1,2; 2,5; 3 и рукавов, расширенных книзу, с коэффициентами разведения ( $K_p$ ) 1,5; 2; 2,5; 3 (Рисунок 5.27).



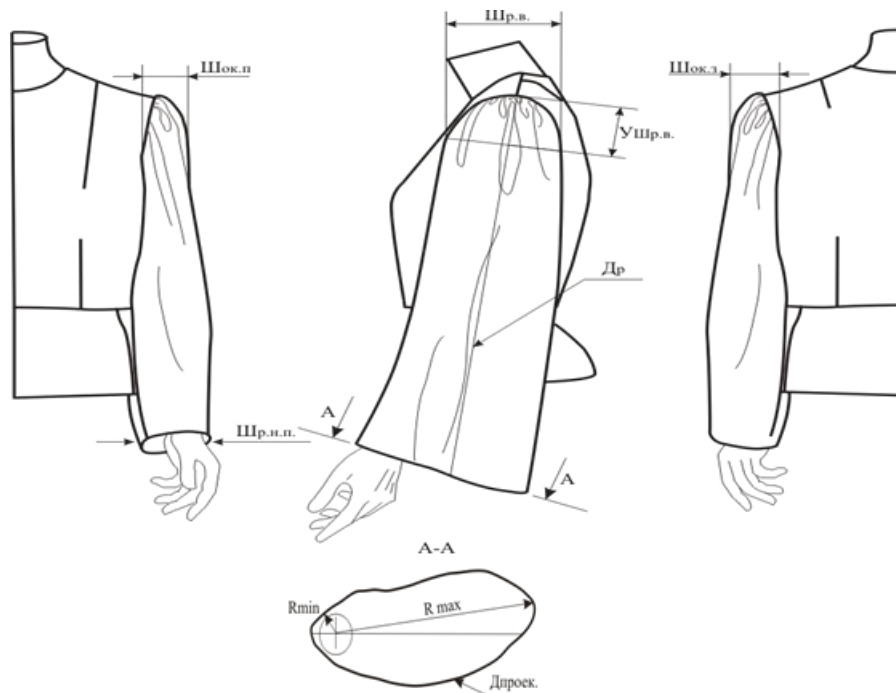
**Рисунок 5.27 – Схемы конструкций рукавов с разными коэффициентами моделирования: а) параллельное разведение; б) коническое разведение/ заужение**

Для изучения влияющего внешнего фактора «свойства материалов» выбраны по пять видов тканей, которым присвоено обозначение: атлас, лен, бязь, костюмно-плательная ткань, тафта, определены их свойства и характеристики (Приложение И, Таблица И.3.). Для изучения влияния такого внешнего фактора как «фигура» построены конструкции на типовые женские фигуры 164-96-104 и 164-104-112.

Визуальная оценка внешнего вида изделия представляется сложно формализуемой задачей, что создает трудности при реализации 3D технологии в САПР одежды. Поэтому в рамках задач, поставленных в данном исследовании, выявлены основные позиции оценки внешнего образа модели изделия и установлены формализованные способы его описания и отображения. Для определения группы параметров, с помощью которых можно математически описать и визуализировать пространственную форму рукавов изделия, исследование проведено с точки зрения геометрического объекта. Группы параметров определены для всех видов исследуемых рукавов (Рисунок 5.28, Таблица 5.18, Приложение И, Рисунки И.6, И.7).

**Таблица 5.18 - Параметры внешней формы рукавов с конструкцией, построенной параллельным расширением без манжет**

Наименование параметра, описывающего форму рукава	Обозначение параметра
Ширина рукава сверху на виде сбоку	Шр.в
Ширина оката рукава на виде спереди	Шок.п
Ширина оката рукава на виде сзади	Шок.з
Количество мягких складок по окату:	Кскл
малых (от $h_{\min}$ до 7 см)	Кскл
средних (от 8 до 14 см)	Кскл
больших (от 15 до $h_{\max}$ см)	Кскл
Максимальная высота складки	$h_{\max}$
Минимальная высота складки	$h_{\min}$
Максимальная ширина складки	$l_{\max}$
Минимальная ширина складки	$l_{\min}$
Ширина низа рукава спереди	Шр.н.п
Ширина низа рукава сбоку	Шр.н.б
Максимальный радиус проекции низа расширенного рукава	$R_{\max}$
Минимальный радиус проекции низа расширенного рукава	$R_{\min}$



**Рисунок 5.28 - Параметризация внешней формы изделия с конструкцией рукавов на основе параллельного разведения без манжет**



Информация о значениях параметров, описывающих пространственную форму рукава при различном влиянии внешних и внутренних факторов, получена экспериментальным путем с помощью измерений натуральных образцов (Рисунок 5.29).



**Рисунок 5.29 - Натурный образец с рукавами, конструкция которых построена параллельным разведением без использования манжет**

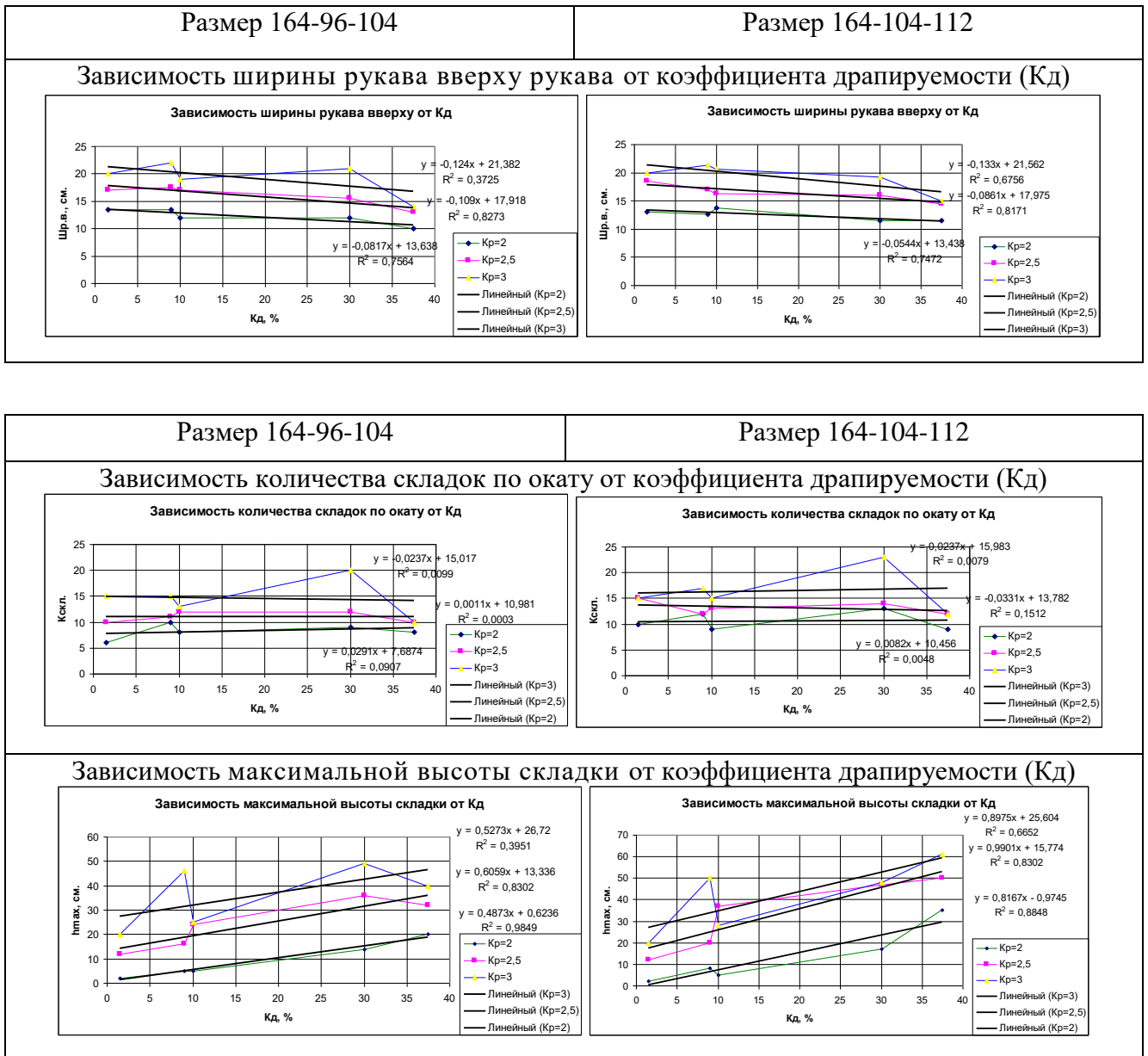
С помощью графического отображения полученных экспериментальных данных о влиянии свойств используемых материалов, прежде всего их драпируемости, на создаваемую пространственную форму рукавов, конструкция которых построена *параллельным разведением без использования манжет*, были выявлены следующие зависимости (Таблица 5.19):

- ❖ величина ширины рукава вверху ( $Ш_{р.в.}$ ) обратно пропорциональна величине коэффициента драпируемости;
- ❖ количество складок по окату для рукавов со средними значениями коэффициента разведения ( $K_p=2; 2,5$ ) не изменяется в зависимости от драпируемости, а при максимальном значении коэффициента разведения ( $K_p=3$ ) количество складок увеличивается до критической точки ( $K_d=30\%$ ), после которой количество складок уменьшается, вследствие увеличения их ширины;
- ❖ величина максимальной высоты складки ( $h_{max}$ ) прямо пропорциональна величине коэффициента драпируемости;
- ❖ величина максимальной ширина складки ( $l_{max}$ ) прямо пропорциональна величине коэффициента драпируемости, но при максимальном коэффициенте разведения имеет

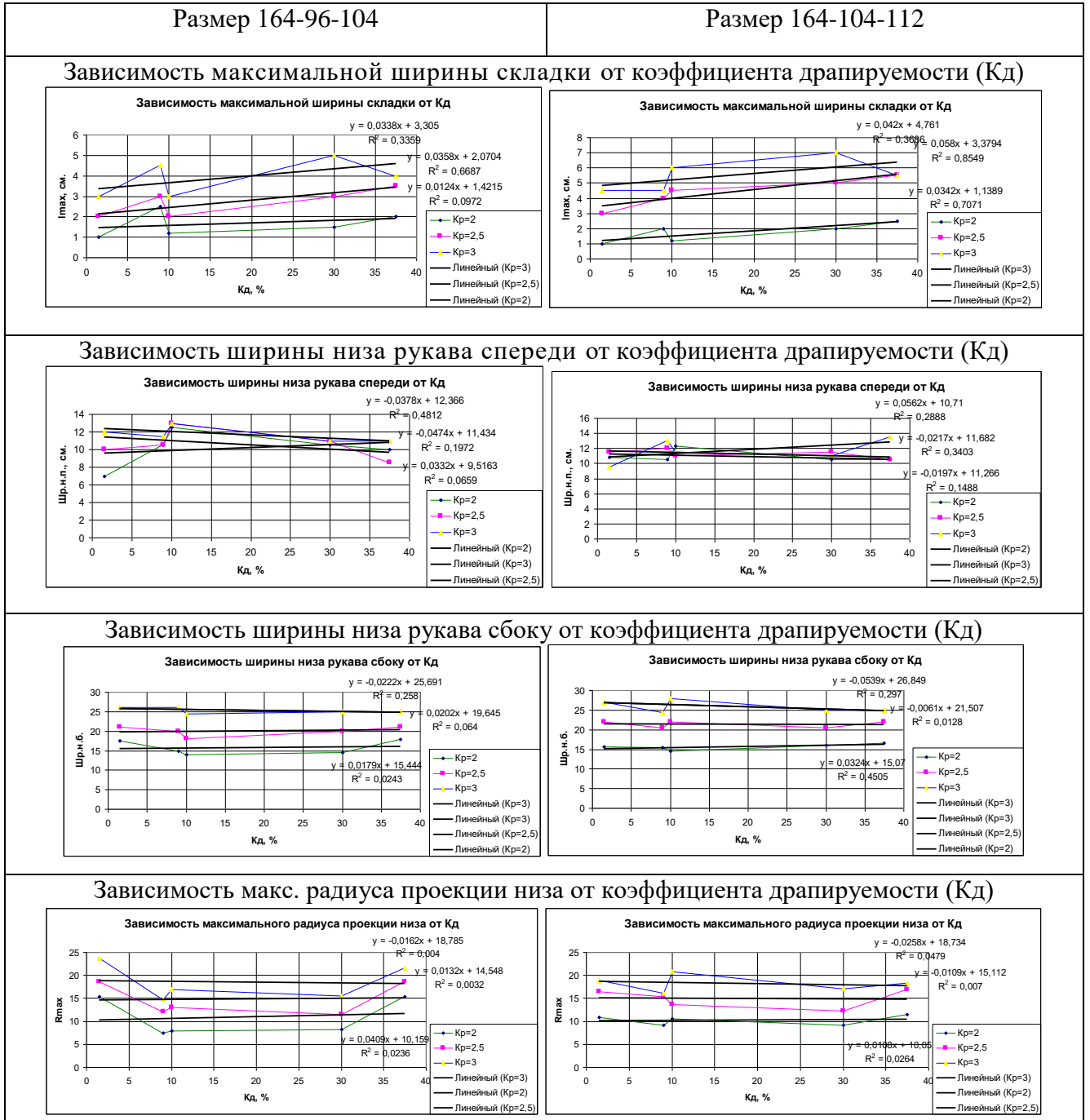
критическую точку, после которой ширина складок уменьшается;

- ❖ величина ширины низа рукава сбоку (Шн.р.б.) в большей степени зависит от размеров фигуры;
- ❖ величина ширины низа рукава сбоку (Шн.р.б.) и максимальный радиус проекции низа рукава ( $R_{\max}$ ) прямо пропорциональны величине коэффициента разведения его конструкции.

**Таблица 5.19 – Графическое отображение параметрических зависимостей, отражающих влияние свойств материалов на внешнюю форму рукавов**



## Продолжение таблицы 5.19



По результатам анализа параметрической информации рукавов с *параллельным разведением* и рукавов с *коническим разведением* и манжетами с помощью графического отображения показателей экспериментальных данных выявлено, что:

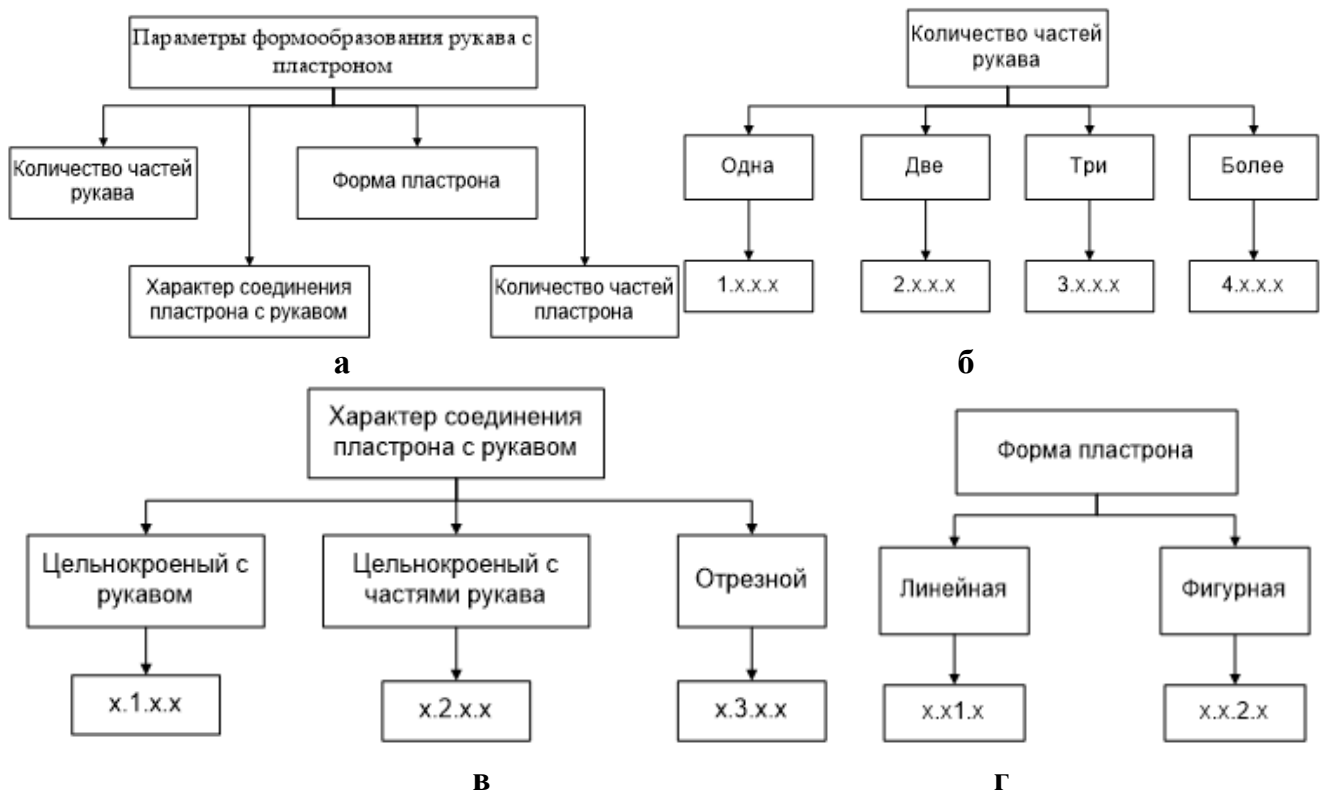
- ❖ величины ширины низа рукава спереди (Шр.н.п.) и сбоку (Шр.н.б.) обратно пропорциональны величине коэффициента драпируемости и прямо пропорциональны величине коэффициента разведения;

- ❖ величина максимальной высоты складки ( $h_{\max}$ ) прямо пропорциональна величине коэффициента драпируемости и величине коэффициента разведения;
- ❖ величина максимальной ширины складки ( $l_{\max}$ ) обратно пропорциональна величине коэффициента драпируемости и прямо пропорциональна величине коэффициента разведения;
- ❖ зависимости высоты точки излома от величины коэффициента драпируемости и величины коэффициента разведения не выявлены;
- ❖ у рукавов с параллельным разведением и манжетами количество складок по низу для рукавов со средними значениями коэффициента разведения ( $K_r=2; 2,5$ ) не изменяется в зависимости от коэффициента драпируемости, а при максимальном значении коэффициента разведения ( $K_r=3$ ) количество складок увеличивается до критической точки ( $K_d=30\%$ ), после которой количество складок уменьшается; а у рукавов с коническим разведением и манжетами количество складок по низу увеличивается до критической точки ( $K_d=14,5\%$ ), после которой количество складок уменьшается, вследствие увеличения их ширины, также количество складок по низу рукава прямо пропорционально величине коэффициента разведения.

### **Особенности метода параметрического моделирования рукавов сложных кроев**

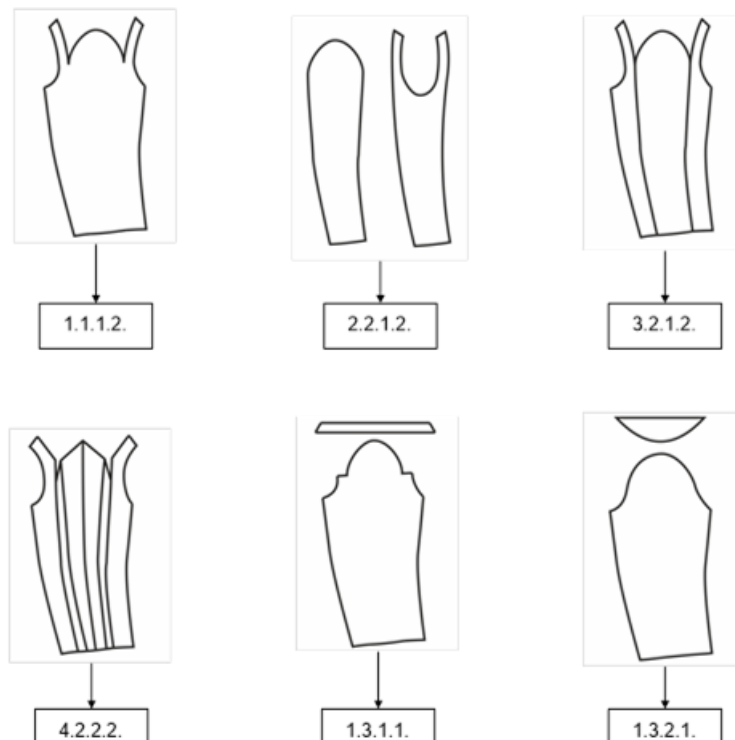
При моделировании рукавов сложных кроев значительную долю работы конструктора составляет режим поиска, поэтому в качестве интеллектуальных поддержек этого процесса могут выступать варианты типовых решений деталей конструкции. Конструктивное моделирование рукавов с пластроном осуществляется на базе типовой конструкции втачного рукава, выполненной с определенными базовыми параметрическими характеристиками (Рисунок 5.30, а). В процессе выбора типовых решений деталей конструкции рукавов с пластроном учитывали такие характеристики рукавов, как:

- количество составных частей (см. Рисунок 5.30, б);
- способы соединения рукава с пластроном (см. Рисунок 5.30, в);
- варианты внешней формы пластрона (см. Рисунок 5.30, г);
- количество частей пластрона.



**Рисунок 5.30 – Параметры рукава с пластроном: а) характер формообразования; б) членение на части; в) способ соединения; г) форма пластрона**

Путем вариации параметрических характеристик создается многообразие модельного ряда типовых решений рукавов с пластроном (Рисунки 5.31 и 5.32).



**Рисунок 5.31 - Варианты конструкций рукавов с пластроном**



**Рисунок 5.32 – Конструктивное решение рукавов с пластроном в изделии**

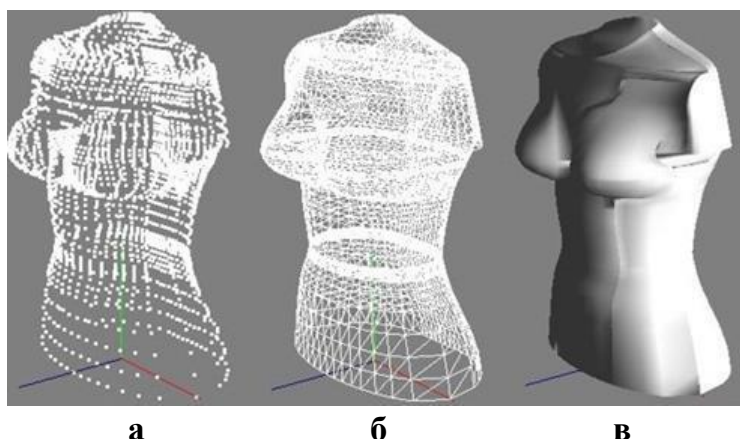
### **Особенности автоматизации виртуального параметрического моделирования конструкций одежды**

Автоматизация интерактивного виртуального проектирования одежды сложных форм и покроев предоставляет конструктору возможность выбирать основные параметры моделирования в диалоговом режиме и задавать силуэт, покрой, длину изделия, величины конструктивных прибавок и технологических припусков, членения деталей конструкции, конфигурацию и текстуру поверхности, показатели свойств используемых материалов и другое для генерирования конструкции изделия. К достоинствам автоматизированной интерактивной параметрической системы проектирования одежды можно отнести возможность визуализации трехмерных эскизов и модели готового изделия, основанной на его ранее построенной конструкции с учетом свойств материалов, что позволяет конструктору изменять любые параметры и наблюдать отображение соответствующей модификации на двумерной развертке и трехмерных моделях проектируемого изделия

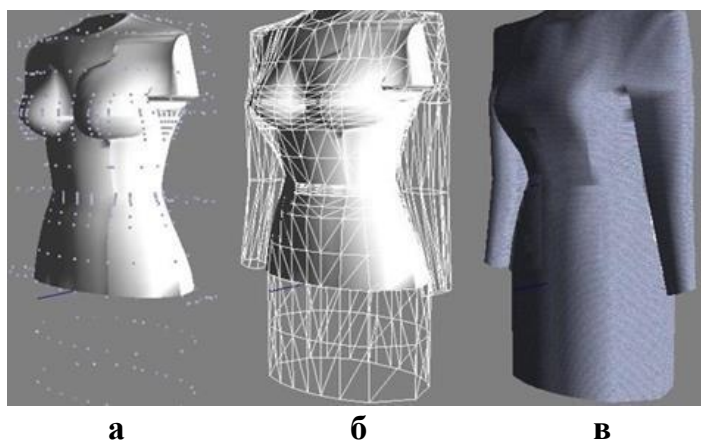


благодаря параметрической взаимосвязи внешней пространственной формы одежды и её плоскостной конструкции.

Для визуального отображения трансформации внешней формы одежды применяют различные режимы, такие как представление точками, сеткой или поверхностью манекена фигуры человека (Рисунок 5.33), трехмерных моделей плечевых (Рисунок 5.34) и поясных изделий (Рисунок 5.35), позволяющие наглядно оценить расположение и свободу посадки проектируемых изделий относительно поверхности одеваемой фигуры, а также результат корректировки их внешней формы.



**Рисунок 5.33 – Виртуальное отображение манекена женской фигуры: а) точками; б) сеткой; в) поверхностью**



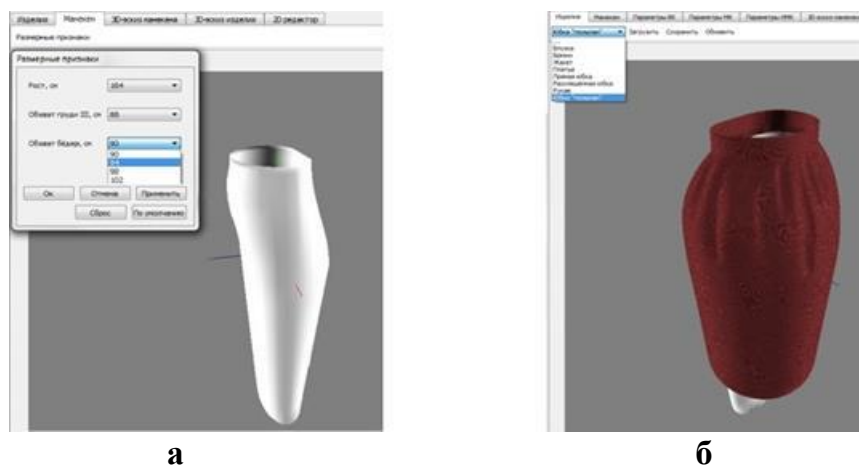
**Рисунок 5.34 – Визуализация платья: а) точками; б) сеткой; в) поверхностью**



**Рисунок 5.35 – Визуализация юбки: а) точками; б) сеткой; в) поверхностью**

Для выполнения виртуального моделирования задают размеры фигуры человека, базовую форму и конструкцию проектируемого изделия для последующей модификации внешнего вида исходной пространственной формы и её конструктивных параметров. Помимо основных конструктивных параметров проектируемого изделия, включая покрой, силуэт и других, можно изменять и дополнительные конструктивные параметры воротника, пояса, застёжки, воротника, карманов и других деталей, а также задавать и изменять параметры процесса конструктивного моделирования, включая величины сборок, сутюжки, расширения, сужения, членений и других конструктивных приемов.

Последовательность виртуального параметрического моделирования одежды включает в себя: задание исходной информации для цифрового описания проектируемого объекта в виде эскиза; определение параметров внутренней опорной поверхности для формирования базовой формы изделия и её визуализация (Рисунок 5.36, а); определение графического прототипа проектируемого изделия (см. Рисунок 5.36, б), его модификация с учетом исходных параметров и трехмерная визуализация; развертка полученной трехмерной модели для получения плоскостной конструкции проектируемого изделия.



**Рисунок 5.36 – Базовая форма поясного изделия: а) внутренняя опорная поверхность; б) исходная форма**

В качестве примера реализации метода виртуального параметрического моделирования представлена юбка-тюльпан из джинсовой ткани с рисунком, длиной 40 см, присборенная по линии талии на поясе шириной 2 см, размера 164-88-94. Создание базовой формы основано на параметрах внутренней опорной поверхности, которую характеризуют сочетания основных размерных признаков (см. Рисунок 5.36, а). После выбора из базы данных исходного графического прототипа, наиболее подходящего проектируемому изделию, задают конструктивные параметры, характеристики свойств



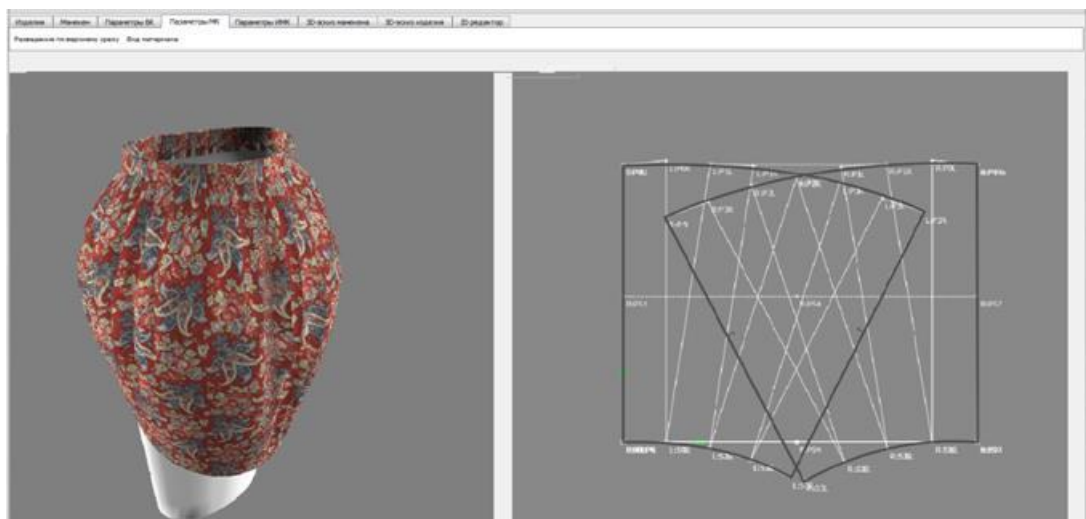
материалов и другие параметры (см. Рисунок 5.36, б). При виртуальном моделировании внешней формы изделия существенную роль играет вид и свойства выбранного материала (Рисунок 5.37, а). Степень наполненности объема проектируемого поясного изделия зависит от заданных параметров разведения конструкции по верхнему срезу (см. Рисунок 5.37, б). С учетом первоначального замысла дизайнера или его последующего редактирования можно изменять длину юбки или ширину её пояса (см. Рисунок 5.37, в), оценивая полученный образ трехмерной модели.



**Рисунок 5.37 – Виртуальное моделирование поясной одежды путём выбора:**

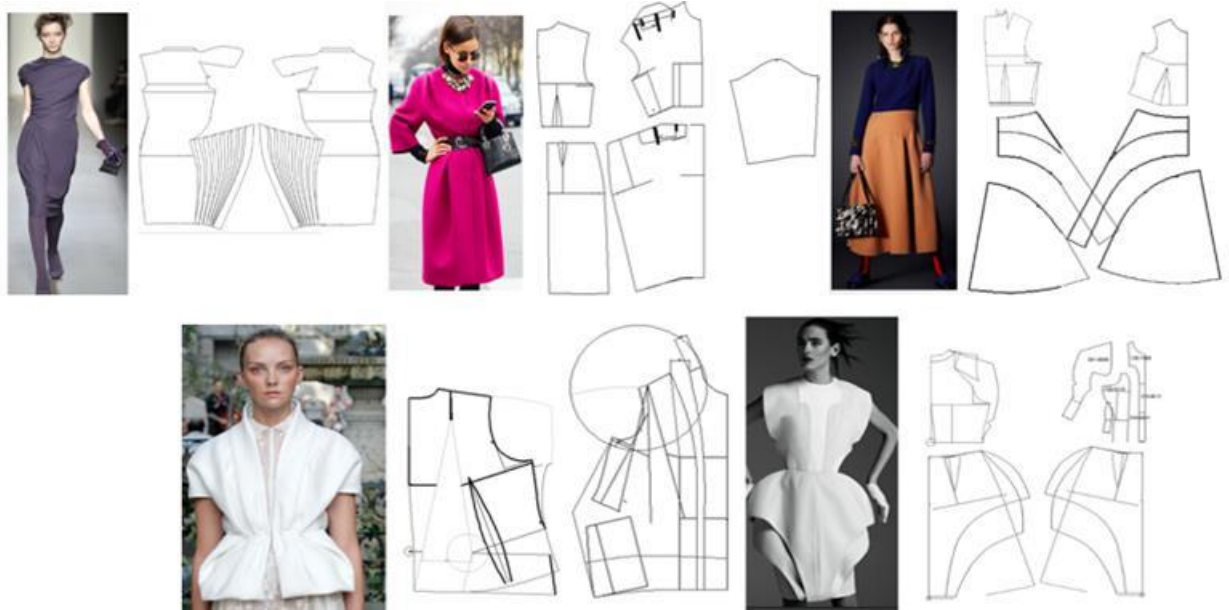
**а) текстуры материала; б) степени разведения; в) ширины пояса и длины изделия**

После проведения оценки внешнего вида с различных проекций можно изменять текстуру поверхности проектируемой модели (Рисунок 5.38, а), как и любые другие параметры проектируемого изделия, при одновременном осуществлении автоматической корректировки его двухмерной конструкции (развертки трехмерной виртуальной модели изделия на плоскость) (см. Рисунок 5.38, б).



**Рисунок 5.38 – Трёхмерная и двухмерная модели поясного изделия**

Для виртуального параметрического моделирования изделий сложных форм и покроев используют приёмы конструктивного моделирования 3-его вида, включая моделирование и модификацию линии плеча, проймы и оката рукава, раз моделирование вытачек, создание объемов в разных областях, введение разнообразных членений, использование оригинальных конструктивных элементов и декора, применение специальных видов технологической обработки и другие (Рисунок 5.39).



**Рисунок 5.39 – Виртуальное моделирование конструкций одежды сложных покроев**

### **ВЫВОДЫ ПО ПЯТОЙ ГЛАВЕ**

1. Разработана концептуальная модель художественного параметрического моделирования одежды сложных форм, где в качестве интеллектуальной поддержки на этапе конструктивного моделирования предложено использовать графические прототипы базовых трехмерных форм изделий, представленных в виде трехмерной визуализации образов их внешнего вида и имеющих однозначно установленные исходные параметры, определяющие расположение изделий относительно выбранных фигур.
2. Разработана база прототипов трехмерных форм плечевых изделий, применение которой в процессе проектирования позволяет использовать ранее отработанные исходные базовые формы и конструкции, построенные с помощью предложенного математического аппарата, для визуализации проектируемых изделий на фигурах различных размеров и телосложения и последующей организации интерактивной связи с потребителями для оценки их внешнего образа и внесения в него желаемых изменений.

3. Разработан метод описания пространственных модельных форм изделия, включающий определение опорной сетки изделия (совокупности информативных точек пространственной формы изделия), определение топографических зон модельных форм изделия, ограниченных сверху фрагментами линий сечения, справа и слева фрагментами вертикальных линий абриса, определение способов описания линий/ фрагментов линий сечения и вертикальных абрисов, характеризующих геометрию изделия.
4. Разработан метод построения математических моделей, описывающих зависимость внешней формы изделия от различных факторов, включающий выявление параметров, факторов и сочетаний их значений, однозначно моделирующих проектируемую форму, экспериментально проверенный путем сопоставления натуральных и виртуальных образцов, выполненных в помощь предложенного математического инструментария.
5. Разработана многомерная информационная модель для расчёта формообразующих параметров поясных изделий, описывающих их внешнюю форму, с учетом физико-механических характеристик используемых материалов и конструктивных параметров одежды.
6. Разработана структура информационного описания конструктивно-декоративных элементов, учитывающая их функциональную значимость, расположение, объёмную форму, конструктивное и технологическое решения.
7. Для интеллектуализации параметрического моделирования конструктивно-декоративных элементов систематизирована информация об используемых параметрах и выделены отдельные показатели, значения которых рекомендуются пользователю автоматизированной системы проектирования одежды «по умолчанию».
8. Для интеллектуализации процесса параметрического проектирования складчатых поверхностей одежды разработана база данных, в которой структурирована визуальная и метрическая информация, включающая количественные и качественные характеристики множества видов складок, предназначенная для улучшения качества проектных работ и сокращения трудоёмкости проектирования изделий.
9. Разработан метод виртуального конструктивного моделирования изделий сложных форм и покроев, включающий описание исходных данных для моделирования; последовательность построения конструкции рукавов с использованием системы конструктивных параметров; способ описания пространственной формы изделия на основе формообразующих параметров; методику параметрического проектирования сложных модельных решений.

## 6 ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ «УМНОЙ» ОДЕЖДЫ С ЗАДАННОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬЮ

Внедрение методов интеллектуализации в процесс проектирования одежды позволяет получать принципиально новые проектные решения швейных изделий, превосходящие ожидания потребителей и создающие конкурентные преимущества производителям на глобальных рынках (см. Рисунок 1.4). В этом случае функциональность изделия становится ключевым стрержнем проектируемого объекта, обуславливающим совокупность его свойств и характеристик, предопределяющим формирование процесса проектирования в направлении создания креативных, оригинальных, технически новых проектных решений. Одним из направлений проектирования швейных изделий, имеющих дополнительную (*повышенную*) *функциональность*, является создание *интеллектуальной («умной») одежды*, которая, по нашему мнению, *отличается человеко-ориентированной адаптацией, модифицируемостью, эволюционным развитием и интегрируемостью с другими объектами для передачи информации*. Проектирование «умных» швейных и текстильных изделий направлено не только на прогнозирование и максимальное удовлетворение явных, скрытых и потенциальных потребностей клиентов, но и ориентировано на создание и развитие таких инновационных технологий и материалов, которые смогут обеспечить те функции, которые конструктор-дизайнер хотел бы увидеть в новых моделях одежды. Предлагаемый в работе алгоритм проектирования принципиально новых проектных решений предметов одежды опирается на следующую последовательность формирования их описания:

- ✚ *функции* проектируемого объекта, предопределяемые уровнем развития технологий, материалов, оборудования, дизайна, условиями его назначения и эксплуатации;
- ✚ *потребность*, удовлетворяемая проектируемым объектом;
- ✚ *техническое решение*, формализующее функции объекта в рамках заявленной потребности и впоследствии влияющее на дальнейшую модификацию и развитие технологий, материалов, дизайна и др.

Повышение востребованности и степени персонификации выбора одежды связано с прояснением ожиданий и требований потребителей, что обуславливает важность

использования методов интеллектуализации для регулирования параметров объекта проектирования с учетом интересов субъекта проектирования. Организация информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования происходит в трёх основных формах (Рисунок 6.1):

- ✓ *активной*, когда субъектом предъявляются вполне определенные требования, которым объект должен однозначно соответствовать, то есть **потребности** субъекта выражены **в явном виде**;
- ✓ *диалоговой (интерактивной)*, когда в процессе диалога выявляются и корректируются **скрытые потребности**, описывающие пожелания к свойствам и характеристикам объекта проектирования, которые могут изменяться и корректироваться;
- ✓ *пассивной*, когда потребитель знакомится на рынке с изделием, обладающим ранее неизвестными свойствами или назначением, заинтересованность в приобретении которого будет отражать способность производителя прогнозировать **перспективные потребности** клиентов на глобальном отраслевом рынке.



**Рисунок 6.1 – Информационное взаимодействия объекта и субъекта при проектировании одежды повышенной функциональности**

При *активной форме информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования* интеллектуализация процесса направлена на реализацию способов получения максимального количества информации о предпочтениях групп потребителей и развитии актуальных модных тенденций, предопределяющих как выбор конкретных моделей готовой одежды, представленной на торговых площадках, так и выявление требований отдельных потребителей и автоматизированной подготовки разных

вариантов для их удовлетворения, что позволяет персонифицировать изделия, выпускаемые в условиях промышленного производства. Например, при выявлении запроса на обеспечение повышенного эргономического комфорта в условиях пониженной температуры производители могут ввести в процесс проектирования одежды факторы, учитывающие использование специальных технологий или материалов для контроля и управления теплообменом в пододёжном пространстве.

*Пассивная форма информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования* предполагает возможность интеллектуализации процесса формирования ещё неосознаваемых потребностей в обществе в связи с развитием принципиально новых технологий, материалов, оборудования, создающих ранее неизвестные возможности. Так, например, благодаря разработке сенсорного трикотажа одинокие пожилые жители Японии получили возможность моментально получить медицинскую или социальную помощь, исходя из компьютерного анализа сигналов о характере их передвижения, поступающих с сенсоров используемых ими специальных носков или стелек обуви. Создание изделий из материалов, биоразлагаемых или переработанных после предыдущей эксплуатации, позволяет найти форму удовлетворения социальной потребности современного молодого поколения внести личный вклад в повышение экологичности окружающей их среды. Предвосхищение новых глобальных потребностей играет ключевую роль к конкурентному превосходству в любой отрасли.

Интеллектуализация процесса проектирования при *диалоговой (интерактивной) форме информационного взаимодействия* особенно актуальна при разработке персонифицированных изделий или наделении объекта дополнительной функциональностью, например, сигнальными или защитными функциями, для воплощения которых в интеллектуальном изделии потребуются специальный параметрический инструментарий (см. п.2.1). Так, например, применение светодиодных элементов в одежде пользователей мотоциклами, велосипедами, самокатами сделает их более заметными на дороге, позволит сигнализировать другим участникам движения о намерении повернуть или затормозить, что повысит безопасность транспортной среды. Или потребитель может проинформировать производителя о назначении, условиях эксплуатации и своих психо-физиологических ожиданиях от проектируемого изделия, что позволит в наибольшей степени конкретизировать техническое задание и максимизировать удовлетворенность клиентов.

## 6.1 ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТОВ ОДЕЖДЫ С ФУНКЦИЕЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

В наибольшей степени методы интеллектуализации применяются при проектировании изделий, которые способны удовлетворять потребности и требования, ещё не выраженные в явном виде, а только прогнозируемые производителем. Новизна предлагаемых производителем проектных решений предметов одежды выражается в оригинальности свойств и характеристик, позволяющими реализовать функции, заданные разработчиком. При этом важное значение приобретает способность производителя точно предугадать или своевременно сформировать заинтересованность потребителей в покупке нового продукта, что требует активизации информационного взаимодействия производителей и потенциальных клиентов. Таким образом, в обобщенном виде метод проектирования предметов одежды с заданными функциональными свойствами включает:

- ❖ определение основных и дополнительных функций изделий;
- ❖ выявление скрытых и перспективных предпочтений потребителей для формирования интеллектуальной модели проектирования изделия в соответствии с его функциональным назначением;
- ❖ определение совокупности параметрических характеристик изделия, варьирование которых позволит регулировать соответствие предъявляемым к нему требованиям.

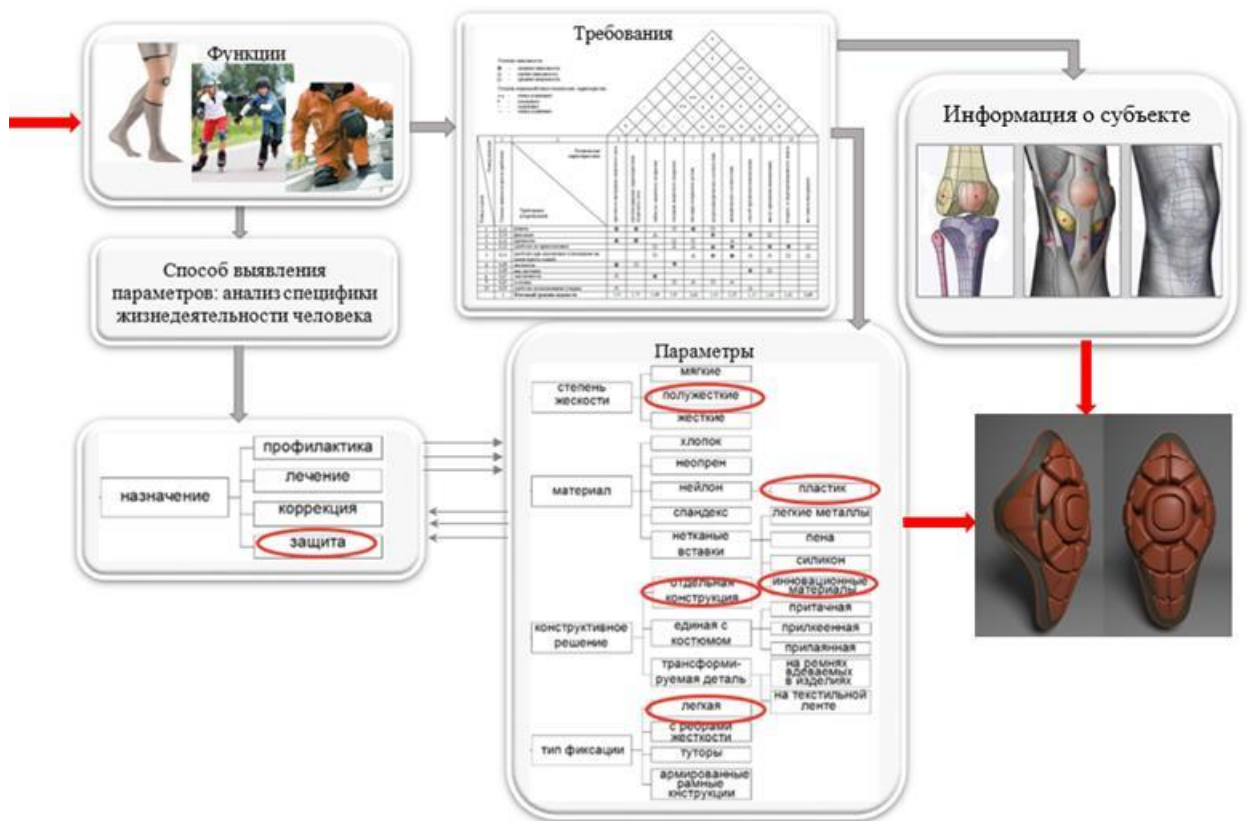
### **Параметрическое проектирование спортивных наколенников.**

В качестве примера монофункционального предмета одежды, к которым относят изделия, функция которых однозначно определена и выступает постоянным параметром (*const*) процесса проектирования, выбраны наколенники. Все параметры процесса проектирования и параметрические характеристики объекта проектирования в совокупности должны обеспечить выпуск изделия высокой функциональной значимости. К основной функциональной нагрузке наколенников относят следующие функции: защитную и лечебно-профилактическую, подразделяемую в свою очередь на профилактическую, лечебную и коррекционную функции. В качестве особенностей проектирования и изготовления наколенников, как изделий с однозначно определяемой функцией, можно выделить:



- ✓ низкую вариативность параметрической информации в процессе проектирования изделия;
- ✓ однозначное определение и регламентацию требований к изделию, в том числе к его конструкции и используемым материалам, с целью обеспечения надлежащего эргономического комфорта.

Таким образом, проектирование изделий с заданными функциональными свойствами строится на параметрической зависимости функции изделия от характеристик и требований к изделию (Рисунок 6.2).



**Рисунок 6.2 – Схема параметрического проектирования спортивных наколенников**

Определение основных и дополнительных функций изделия – это входная информация процесса проектирования, основанная на анализе специфики жизнедеятельности предполагаемого потребителя (см. Рисунок 6.2, блок «Функции»). В случае проектирования наколенников для занятия спортом основной является *защитная функция*, которая и обуславливает влияние совершаемых спортсменом движений на конструкцию наколенника и её параметры (см. Рисунок 6.2, блок «Способ выявления параметров») путем обеспечения защиты от растяжений, ударов и смещений. Требования к изделию определяются на основе обратной связи от потенциальных или реальных потребителей конкретного продукта, чаще всего получаемой на основе опросов о



наиболее значимых потребительских свойствах исследуемых изделий. В результате проведенного опроса потребителей спортивных наколенников установлено, что:

- основной причиной их использования является наличие травмы (повреждение колена);
- основными причинами неудовлетворенности существующими наколенниками являются: 1) сковывание движений (антропометрическое несоответствие); 2) соскальзывание (ненадежная фиксация).

Для определения требований к спортивным наколенникам и параметрической информации об объекте проектирования в качестве интеллектуального инструмента использован метод *Quality Function Deployment (QFD)*, позволяющий формализовать вербальные отзывы о характеристиках изделия и представляющий собой метод анализа, планирования и структурирования функции качества при разработке или усовершенствовании изделий. В результате проведенного анализа установлены группы наиболее значимых потребительских и технических характеристик спортивных наколенников, определена взаимосвязь между группами характеристик, её сила и характер (см. Рисунок 6.2, блок «Требования»). В качестве важнейших технических характеристик наколенников установлены: соответствие антропометрическому строению колена (числовой показатель важности технической характеристики с точки зрения потребительских требований - 3,93); высокая плотность материала защиты (3,45); надежный способ крепления(3,35); комфортное место крепления (2,88); противоударные характеристики материала защиты (2,79).

Совокупность параметров о субъекте проектирования формируется на основе антропометрических характеристик коленного сустава конкретного потребителя (см. Рисунок 6.2, блок «Информация о субъекте»). Совокупность параметров, описывающих объект проектирования и являющихся управляющими элементами, посредством которых проектируется изделие с заданными функциональными свойствами, определена на основе анализа вариантов конструктивного, технологического и технического решений изделия, а также с учётом многообразия используемых материалов, их свойств и характеристик (см. Рисунок 6.2, блок «Параметры»). Благодаря регулированию параметров объекта проектирования в зависимости от требований к изделию и его функционального назначения обеспечивается проектирование и производство изделий, соответствующих потребительским запросам.

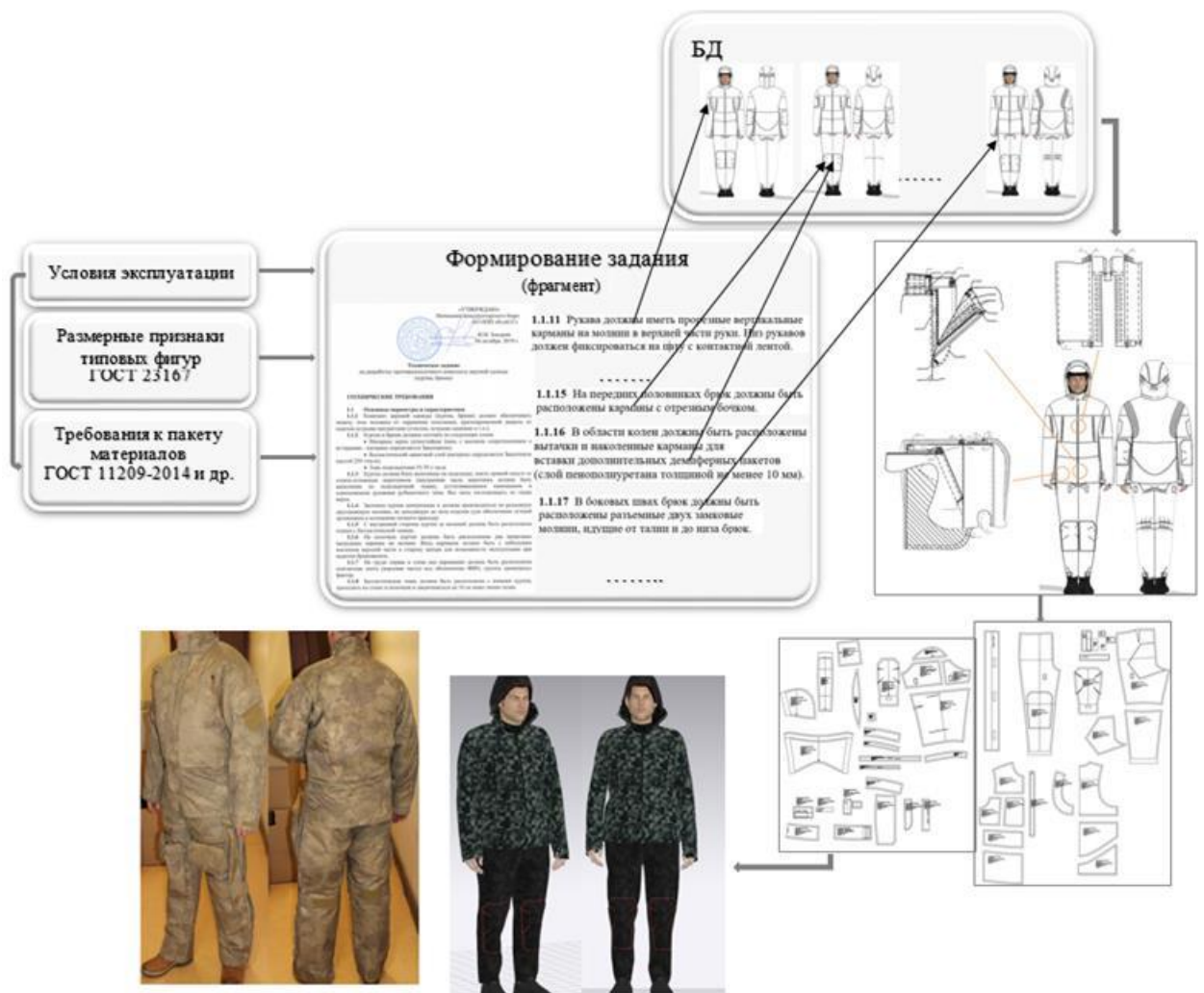
В рамках эксперимента для разработки нового проектного решения спортивного наколенника выбрана виртуальная среда проектирования; информация о субъекте получена методом сканирования; наколенник рассматривали в качестве отдельного предмета одежды; предложено двухслойное конструктивное решение изделия вместо традиционной единой монолитной конструкции; для изготовления нижнего слоя выбран трикотаж с поролоновой прослойкой, а для верхнего слоя антропологически обоснована многодетальная конструкция из ударопрочного, способного «гасить удар» материала d3o. Вариативность свойств разработанного спортивного наколенника обеспечивается благодаря возможности корректировки функционального назначения изделия и соответствующего изменения параметров объекта проектирования.

### **Параметрическое проектирование противоосколочных комплектов одежды**

В качестве объекта многофункционального назначения рассмотрена одежда специального назначения, воплощающая в себе несколько качественных функций. Предлагаемые конструкторско-технологические решения специальной одежды подлежат регламентированию, так как должны соответствовать требованиям нормативно-технической документации, в связи с чем параметрическая модель их проектирования имеет относительно сложную структуру. Метод проектирования изделий с заданными специальными характеристиками включает:

- ✓ определение основных и дополнительных функций изделия;
- ✓ задание входной информации;
- ✓ формирование технического задания;
- ✓ определение совокупности параметрических характеристик изделия, которые позволят обеспечить однозначное соответствие техническому заданию;
- ✓ проверку соответствия изделия техническому заданию.

Для реализации метода проектирования изделий с заданными специальными характеристиками выбран процесс разработки противоосколочных комплектов одежды, входной параметрической информацией для формирования задания которого является информация об условиях эксплуатации изделий и нормативные требования ГОСТ 11209-2014 и ГОСТ 23167-91 (Рисунок 6.3) [4, 6].



**Рисунок 6.3 – Схема параметрического проектирования противоосколочных комплектов одежды**

Условия формирования технического задания для проектирования одежды, предназначенной для защиты военнослужащих от осколков, регламентированы достаточно жёстко, что обеспечивает возможность использовать в процессе проектирования такой интеллектуальный инструмент, как базу данных готовых конструктивных и технологических решений специальных комплектов одежды, содержащую в своей структуре и рекомендуемые параметры. Введение выбранных конструктивно-технологических узлов в процесс параметрического проектирования обеспечивается в виртуальной среде с помощью использования интегрированных модулей САПР *Eleandr CAD* и специальных программных приложений для параметрического моделирования (*Свидетельства о госрегистрации программы для ЭВМ № 2012610088 и № 2013611419, Приложение Б*) [438, 439]. Проверка соответствия изделия техническому заданию осуществляется посредством модуля 3D визуализации, позволяющему определить необходимость изменения параметров проектирования (см.

Рисунок 1.1). Изменение параметров назначения или функций изделия специального назначения влечет за собой изменение всей информационной цепочки взаимосвязанных параметров от технического задания до рабочей документации.

## **6.2 РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОДЕЖДЫ ИЗ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ПОЛОТЕН ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ДРУГОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

При пассивной форме организации информационного взаимодействия объекта и субъекта проектирования важное значение имеют как определение функциональной составляющей объекта, так и способа её реализации в проектируемом изделии. Инновационные технологии и материалы позволяют проектировать и производить изделия, обладающие более высоким уровнем функциональности по сравнению с уже известной продукцией, что особенно важно для изделий, одной из функций которых является защита человека от внешних воздействий окружающей среды.

Обеспечение защиты тела человека от электромагнитного излучения, в том числе радиочастотного, является значимой функциональностью как для специальных изделий, так и локальных участков повседневной одежды, например, в качестве защиты передней части поверхности тела человека, работающего за компьютером, фартуком; защиты участка тела под карманом, предназначенном для мобильного устройства и т.п. Для защиты здоровья человека от воздействия высоковольтных линий электропередач применяются специальные комплекты одежды, помогающие сохранять работоспособность и выполнять профессиональные задачи в течение установленного промежутка времени. Таким образом, исходной информацией для проектирования изделий с функцией защиты от электромагнитного излучения выступает конкретизация данных о реализации основной функции изделия.

Защита организма человека и других объектов от действия электромагнитного излучения осуществляется путем применения технических средств, позволяющих снизить интенсивность излучения до допустимого уровня, установленного нормативной документацией [5, 8]. В качестве технических решений предметов одежды для защиты от электромагнитного излучения традиционно применяются устройства-нейтрализаторы и

защитные экраны, кроме того, предлагается использовать специальные текстильные материалы, включая экранирующие и токопроводящие полотна, ткани с напылением. Токопроводящие текстильные полотна изготавливают путем ткачества [155], вязания [150], плетения, введения токопроводящих нитей в структуру [208], вышивкой [340], с помощью печати токопроводящими чернилами [240, 262] или полимерным покрытием [171]. В качестве токопроводящих компонентов, вводимых в структуру текстильного материала, используют *проводящие ток полимеры* [319], включая полиацетилен (РА) [380], полипиррол (РРy) [272, 308], полианилин (РАn) [275], политиофен в форме поли-3,4-этилендиокситиофена (PEDOT) [141], а также микро- и наноструктурированные *частицы и сплавы серебра* (Ag) [149, 170], *модифицированного углерода* (С) [273, 279], *кремния* (Si) [397]; *меди* (Cu) [314, 315], в т.ч. в виде латуни [380]; *никеля* (Ni) [170], в т.ч. в виде сплава *Ni-Ti*, сверхэластичность которого позволяет запоминать и восстанавливать форму ткани [365]; *алюминия* (Al) [380]; *нержавеющей стали* [330, 391]. Возможность выбора методов, способов, средств защиты с учетом их эффективности, экономичности, эргономичности, эксплуатационных характеристик и других параметров должна быть обеспечена в процессе проектирования методами интеллектуализации.

При проектировании защитной оболочки одежды важное значение имеет её относительная замкнутость: чем меньше технических и технологических отверстий, тем ближе показатель ослабления электромагнитного поля самого изделия к эталонному показателю материала, из которого это изделие изготовлено. При разработке конструктивного решения вышеописанного защитного костюма необходимо оперировать актуальной информацией, отображающей:

- ✓ рекомендации по распределению конструктивных прибавок для обеспечения нейтрализации электромагнитного поля в системе «человек-одежда»;
- ✓ топографию зон поверхности тела человека по степени разнородности воздействия электромагнитного излучения;
- ✓ варианты решения и расположения конструктивно-декоративных элементов с функцией защиты;
- ✓ варианты конструктивных членений, обеспечивающих однородность показателей токопроводящих характеристик изделия.

Интеллектуальным инструментом для проектирования одежды повышенной функциональности для защиты от электромагнитного излучения является

информационная база знаний инновационных решений, сформированная с учетом нормативных регламентирующих документов. Информационная база инновационных решений одежды для защиты от электромагнитного излучения включает пополняемые знания о вариантах технических, конструкторских, технологических решений, ассортимента пакетов материала и др. Структурная схема организации информационной базы знаний для проектирования костюмов, защищающих от электромагнитного излучения, представленная на рисунке 6.4, определяет совокупность параметров, влияющих на качество и функциональную составляющую готовых изделий. Важным в организации базы знаний является получение обратного отклика от потребителей, позволяющего пополнять интеллектуальные базы знаний информацией об изменении функциональных характеристик защитной одежды в процессе её использования.

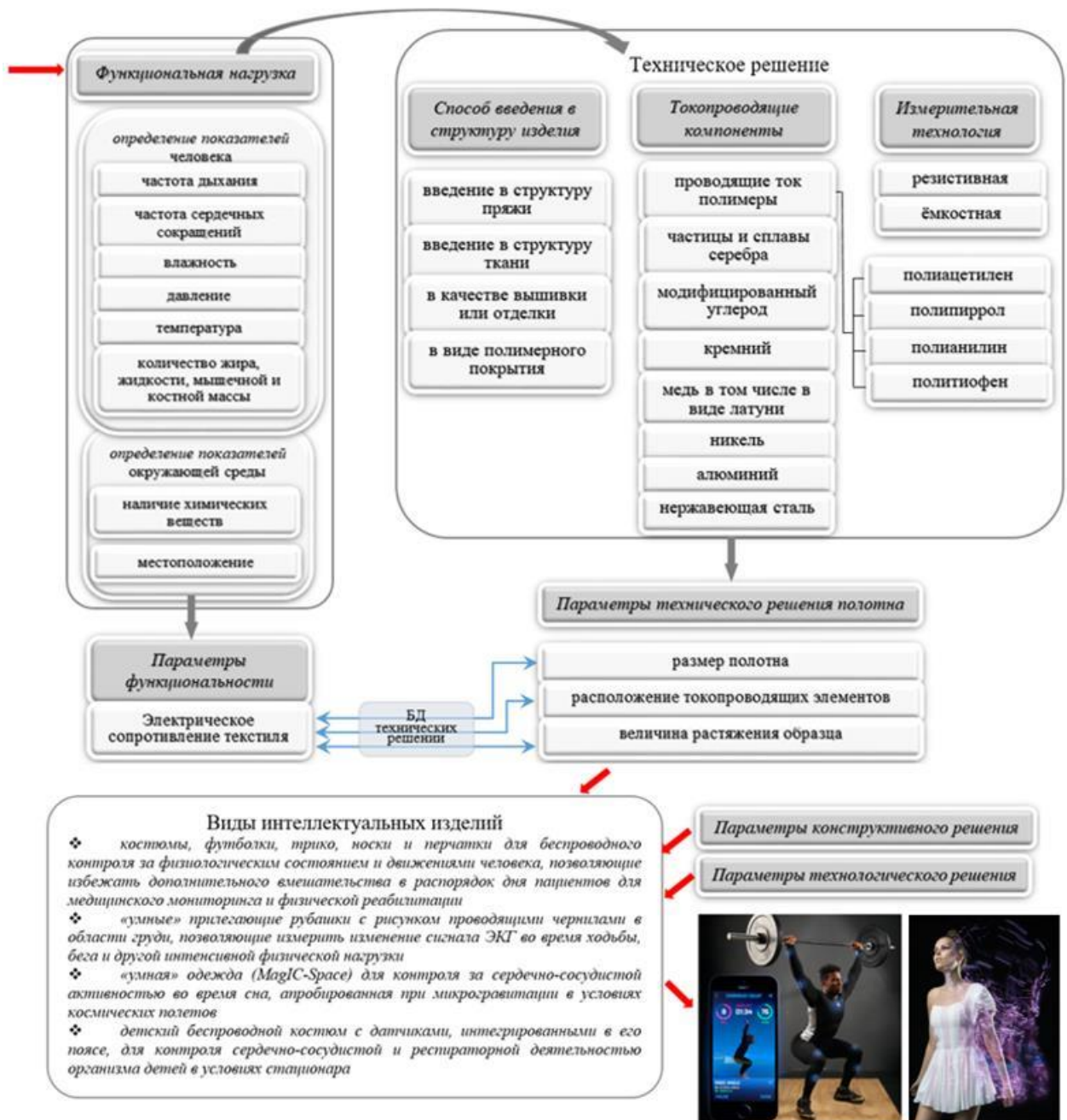


**Рисунок 6.4 – Структура организации базы знаний инновационных решений изделий для защиты от электромагнитного излучения**

Применение токопроводящих текстильных материалов не ограничивается вышеописанным защитным назначением и позволяет существенно расширить функциональность проектируемых предметов одежды благодаря их легкости, эластичности, прочности и наличию электропроводимости. При проектировании изделий с использованием токопроводящих текстильных материалов входные данные включают

параметрическую информацию о функциональной нагрузке изделия (Рисунок 6.5), требующую определения:

- биометрических и биофизиологических характеристик человека;
- условий его реагирования на механические, термальные, химические, электрические, магнитные, оптические и другие изменения окружающей среды.



**Рисунок 6.5 – Схема взаимосвязи параметров при проектировании одежды из токопроводящих текстильных материалов**

По результатам определения функциональной нагрузки в процессе виртуального проектирования устанавливается совокупность параметров, определяющих:

- ❖ способ введения токопроводящего элемента в структуру изделия;



- ❖ определение вида токопроводящего элемента;
- ❖ вид измерительной технологии.

Варьированием любых из этих систем параметров можно получить изделия разных функциональных свойств и разной интеллектуальной направленности.

В процессе проектирования одежды повышенной функциональности необходимо оперировать актуальными знаниями разнородного характера, которые охватывают результаты исследований характеристик «умных» текстильных материалов. Основным принципом проектирования токопроводящих текстильных полотен является минимизация потери сигнала при приёме и отражении. Функциональность токопроводящего текстиля зависит от степени его электропроводимости, обуславливающей скорость, объём и диапазон переносимой электронной информации. На электропроводимость текстильных элементов существенное влияние оказывают ширина, толщина, поверхностное сопротивление токопроводящих путей, расстояние между ними, а также вид переплетения между нитями полотна.

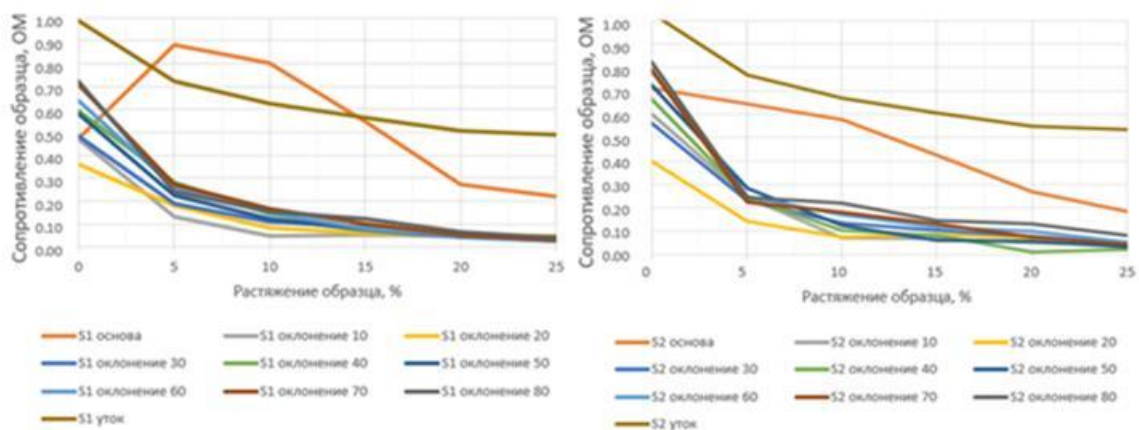
Для текстильных материалов характерна неоднородность структуры, поэтому свойства токопроводящих полотен могут быть как изотропными, так и отличаться плоской и нормальной анизотропией, что обуславливает различное проявление их электрических свойств в зависимости от направления испытания. Для определения электрических свойств материалов используют методы измерения удельного поверхностного и объёмного сопротивления образцов. Электрическое сопротивление текстильного материала зависит от его сырьевого состава, геометрических размеров и внутренней структуры образца, а также от количества и размещения используемых электродов, площади контакта между электродом и образцом. На этапе выбора и ввода исходной информации в процессе проектирования одежды с использованием токопроводящих текстильных материалов важной является информация о влиянии технических параметров полотна на уровень его функциональности в изделии. Данная информация может быть получена экспериментальным путем и введена в систему проектирования в виде базы данных технических решений (см. Рисунок 6.5).

Для изучения способов получения информации о влиянии технических параметров полотна на уровень функциональности готового изделия проведено исследование зависимости электрического сопротивления/ проводимости токопроводящего материала от трёх основных параметров: 1) от размеров используемого полотна; 2) от величины



растяжении полотна; 3) от расположения токопроводящего элемента, например, относительно нитей основы.

Для экспериментального исследования выбрано токопроводящее трикотажное полотно (*Adafruit*, США) с характеристиками: состав материала - 90% хлопок, 7% лайкра, 3% серебро; толщина 0,253 мм; поверхностная площадь полотна 145 г/м<sup>2</sup>; образцы двух размеров: 200×200 м (S1 - образец 1) и 100×100 мм (S2 - образец 2). С помощью метода *Van der Pauw* измерено электрическое сопротивление образцов токопроводящего текстильного полотна с токопроводящими элементами, расположенными под разными углами к основе, изменяемыми в диапазоне от 10° до 80° с шагом 10° [361, 362]. Установлено, что величина электрического сопротивления, а также характер его изменения при растяжении полотна не зависят от размеров исследуемого образца [360]. Согласно полученным данным электрическое сопротивление в поперечном направлении полотна больше аналогичной величины, измеренной в продольном направлении. При растяжении трикотажного полотна сопротивление убывает на протяжении всего цикла измерений. При проведении измерений под углом к основе, величина электрического сопротивления при любом, даже незначительном растяжении начинает быстро уменьшаться (Рисунок 6.6).



**Рисунок 6.6 – Зависимость электрического сопротивления полотна от его растяжения для образцов разных размеров (S1 и S2) с разным расположением токопроводящих элементов**

Изменить функциональность изделия из токопроводящего материала возможно и варьированием параметра способа ввода токопроводящего элемента в структуру изделия [134]. Одной из перспективных технологий введения токопроводящего элемента в изделие является нанесение токопроводящей краски на поверхность материала.

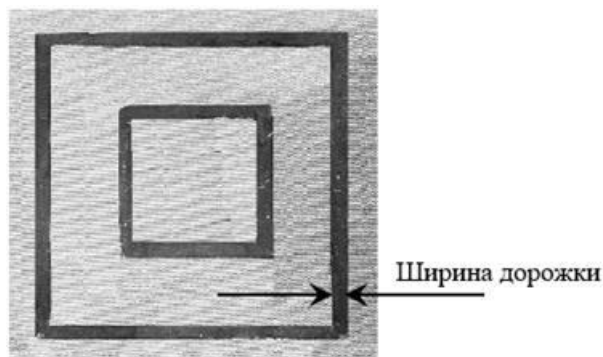
Параметры, характеризующие количество и способ нанесения токопроводящей краски на полотно, влияют на внешнюю форму проектируемого изделия, его эргономические свойства и функциональность (Рисунок 6.7), в связи с этим исследована взаимосвязь между электропроводностью токопроводящего материала и:

- его структурными характеристиками;
- шириной дорожки нанесённой токопроводящей краски;
- количеством слоёв покрытия.



**Рисунок 6.7 – Схема параметризации изделий из токопроводящих полотен**

Для экспериментального исследования выбраны образцы плащевой ткани с мембранной пропиткой (Т1, арт. 78БПЛ06), плащевой ткани без пропитки (Т2, арт. 78БПЛ03), неопрена (Т3, арт., 548БН02ХС07), подкладочной сетки для спортивных изделий (Т4, арт. АА879ТКРТР12), хлопчатобумажной ткани пике (Т5, арт. 119Т214СТ01). Покрытие токопроводящей краской [137] сделано на лицевой и изнаночной сторонах в виде контактных дорожек шириной 4 и 8 мм (Рисунок 6.8).



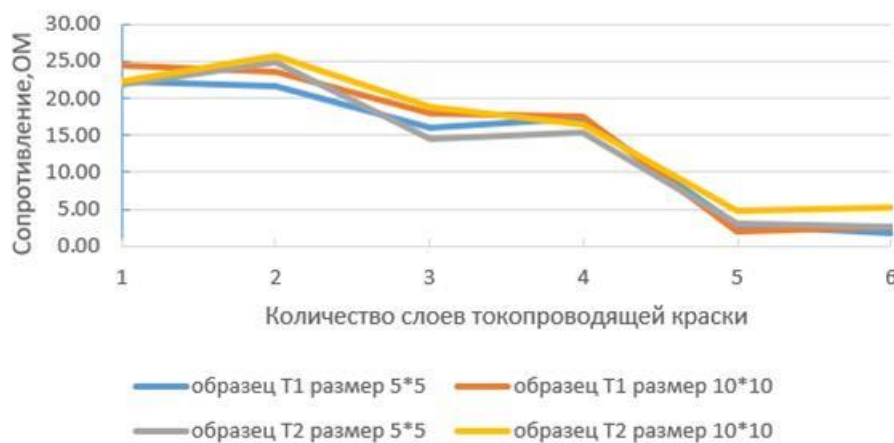
**Рисунок 6.8 – Схема нанесения токопроводящей краски**

Измерения проведены в продольном направлении по основе (O) и в поперечном направлении по утку (У) мультиметром СЕМ DT 9969 (Таблица 6.1).

**Таблица 6.1 – Электрическое сопротивление материалов с учетом ширины и направления токопроводящих дорожек**

Образец	Сопротивление образца R, Ом							
	Ширина дорожки, мм/размер образца, см/направление							
	4/5*5/О	4/10*10/О	8/5*5/О	8/10*10/О	4/5*5/У	4/10*10/У	8/5*5/У	8/10*10/У
3	4	5	6	7	7	8	9	10
T1	22,3	21,8	16,5	16,7	21,7	24,9	16,1	16,4
T2	24,5	22,4	17,9	17,2	23,5	25,7	17,2	17,8
T3	11,7	12,6	7,4	8,1	8,1	8,7	6,4	5,9
T4	9,4	9,8	6,1	6,2	9,5	9,2	6,3	6,4
T5	7,8	8,2	5,5	5,8	10,1	10,5	7,7	7,9

Влияние количества слоев покрытия исследовано на примере покрытия образцов T1 и T2 последовательно от 1 до 6 слоев (Рисунок 6.9)



**Рисунок 6.9 – Зависимость электрического сопротивления токопроводящей ткани от количества нанесенных слоев краски**

Для проектирования и изготовления одежды с использованием токопроводящих элементов, полученных нанесением специальной краски, сформулированы следующие рекомендации:

- полотна, имеющую сложную структуру переплетений (как, например, трикотажная сетка T4 и хлопок пике T5), характеризуются нестабильностью проявления функциональности в связи с нарушением однородности токопроводящей области, исходя из чего их лучше не использовать в качестве базового материала для нанесения токопроводящих элементов;
- плотные плащевые ткани отличаются высоким значением и стабильностью электрического сопротивления, что свидетельствует об их пригодности для нанесения токопроводящих элементов и проектирования одежды повышенной функциональности;

- при покрытии полотен токопроводящей краской эффективно использование графитового порошка в пять слоев, при том, что дальнейшее увеличение слоев краски не приводит к значительному изменению функциональности ткани.

Исходя из результатов исследования следует заключить, что электропроводность токопроводящих элементов в структуре ткани можно регулировать изменением их размера и характера расположения, а также плотностью покрытия токопроводящей краской.

### **Разработка текстильных сенсоров для «умной» компрессионной спортивной одежды**

Важным параметром функциональности спортивной одежды является информация о влиянии характеристик изделия на комфорт человека, для определения которой необходимы специфические инструменты измерения, учитывающие особенности эксплуатации одежды, наиболее характерные движения человека, его психофизиологические ощущения. Использование спортсменами компрессионной одежды позволяет улучшать результативность их физической активности благодаря интенсификации мышечной оксигенации [159, 181] и увеличению кровоснабжения органов [277], улучшению проприоцепции [276], динамического равновесия [285], мышечной координации [180] и экономичности движений [214, 367], ослаблению тремора и повышению выносливости [207], профилактике травматизма [157]; а также оказывать положительное воздействие на восстановление организма после физических нагрузок благодаря уменьшению отека и болезненности мышц [182, 243, 246], ускорению удаления продуктов метаболизма и регенерации повреждений мышц [175].

При проектировании компрессионных изделий важное значение имеет уровень их давления на тело человека, предопределяющего особенности биокинематических и эргономических показателей качества спортивной одежды. Функциональность компрессионной одежды обусловлена возможностью задавать величину давления изделия по участкам тела человека, обеспечивая сохранение его значений в рекомендуемом диапазоне [356], составляющем  $9,5 \div 20,0$  мм рт. ст. в области коленного сустава, на лодыжке  $8,0 \div 30,0$  мм рт. ст., на голени  $17,6 \div 25,0$  мм рт. ст., на нижнем участке бедра  $11,2 \div 20,0$  мм рт. ст., на верхнем участке бедра  $9,1 \div 18,0$  мм рт. ст.

Для измерения и контроля за давлением компрессионных изделий требуются специальные гибкие датчики небольшой толщины, способные соответствовать изгибам тела человека и фиксировать результаты измерений. С этой целью совместно с *Тюриным И.Н.* и др. разработано сенсорное устройство, состоящее из композитного материала на текстильной основе, на которую нанесены пористые проводящие полимеры, удельное объемное сопротивление которых изменяется под воздействием давления [135]. Значение сопротивления фиксируется цифровым мультиметром путем присоединения электродов к одежде. Преимуществом предлагаемого сенсорного инструмента является возможность измерения давления текстильных оболочек непосредственно на тело одетого человека, при этом полученные значения имеют интегральный характер благодаря равномерному распределению проводящих элементов в структуре полотна.

Знания об индивидуальной топографии распределения и уровне давления компрессионной одежды на тело человека позволяют интеллектуализировать как процесс его тренировок, восстановления и соревновательной деятельности, так и процесс проектирования спортивных изделий, учитывающий сложные взаимосвязи параметров прилегания одежды к фигуре человека, конструктивных особенностей, структуры и физико-механических свойства материала и др.

### **6.3 РАЗРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СВОЙСТВАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОИНКАПСУЛЯЦИИ**

Изменения, происходящие в социальной сфере жизни общества, непосредственно сказываются на восприятии человеком своих потребностей и окружающего мира, на стремлении к увеличению собственного комфорта и экологичности среды. В связи с чем потребителями формулируется более широкий перечень требований к приобретаемым предметам одежды, возникает заинтересованность как в новых свойствах изделий, так и в повышении их эргономических и экологических характеристик, значимых для обеспечения повседневного комфорта. Важную роль в удовлетворении требований к одежде играют материалы, используемые для её изготовления, от свойств которых во многом зависит возможность изготовления интеллектуальных швейных изделий, а также переменность и диапазон их характеристик (Рисунок 6.10).



**Рисунок 6.10 – Схема параметризации процесса проектирования изделий с регулируемыми свойствами**

Для целенаправленного программирования свойств материала применяют разнообразные волокна, виды обработки полотен, в структуру которых вводятся дополнительные элементы разного состава. Для производства защитной одежды используют арамидные, полиэтиленовые, полипропилен-сульфидные, новолоидные волокна, полиэфирэфиркетон, р-фенилен-2.6-бензодиоксол и другие волокна, характеризующиеся широким спектром функциональных характеристик, обуславливающих их потенциал в производстве «умного» текстиля (Рисунок 6.11).

Для бактериологической защиты и приобретения антимикробных, антисептических и дезинфицирующих функций в материалы включаются наночастицы серебра и палладия [114], которые также позволяют сформировать дополнительную функцию изделий по самоочистке, помогая поверхности одежды не задерживать частицы пыли и грязи [188]. Использование фторополимерного покрытия текстильных полотен также предотвращает их загрязнение [151]. Углеродные наночастицы придают текстильным волокнам высокую электропроводность, обеспечивая защиту от электромагнитного излучения [316]. Введение в состав ткани волокон с химическими соединениями оксида цинка, олова, никеля, диоксида титана улучшает их антистатические свойства [419]. Технология введения микрогранул, микрокапсул, наночастиц и наноэмульсий в волокна текстильных материалов позволяет создавать ткани с регулируемыми свойствами.



**Рисунок 6.11 – Фрагмент базы функциональных характеристик специальных волокон, используемых в производстве «умных» текстильных материалов**

### **Разработка «умной» терморегулируемой одежды из материалов с изменяемым фазовым состоянием**

Высокие потери тепла тела человека приводят к физиологическому напряжению механизмов терморегуляции организма и нарушению состояния его здоровья [7], для предотвращения которых в холодной окружающей среде человеку необходима одежда, основной функцией которой является буферизация тепла и влажности для сохранения допустимых тепловых ощущений тела человека [209].

Возможность управления индивидуальной терморегуляцией одежды позволяет улучшить её теплозащитные свойства благодаря использованию материалов с элементами, изменяющими фазовое состояние [359], или возобновляемых источников

энергии таких, как солнечная энергия [354], энергия ветра, звуковой волны, движений человека и других [370].

Материалы с изменяемым фазовым состоянием используются преимущественно в форме капсул, характеризующихся скрытой тепловой энергией, которая выделяется при охлаждении благодаря переходу из жидкого состояния в кристаллическое [191] и поглощается при последующем нагревании благодаря переходу из кристаллического состояния в жидкое [227]. В терморегулируемых тканях аккумуляция и хранение скрытой теплоты происходит изотермически, то есть температура материала остается постоянной независимо от изменения фазового состояния его компонентов.

Изменение физического и термического состояния материалов для одежды должно происходить в течение определенного времени в приемлемом диапазоне температур, составляющем от 15 до 43°C [307] в соответствии с предельными значениями температуры кожи на локальных участках тела [210]. Исследователями из *Kansas State University* рекомендуется использовать для одежды терморегулируемые компоненты материалов с температурой плавления в пределах от 15 до 35°C [333]. Температуру пододежного микроклимата можно повысить больше чем на 9°C относительно необработанной ткани [327].

Технология инкапсуляции основана на погружении веществ с изменяемым фазовым состоянием в оболочку, толщина стенок которой многократно уступает диаметру ядра, а температура плавления, наоборот, значительно превышает. Термические свойства капсул зависят от химического состава ядра и оболочки, их среднего диаметра. Для инкорпорирования в текстильные материалы используют микрокапсулы преимущественно размером 1÷10 мкм, а для введения в субстрат набивной печати – размером 20÷40 мкм [174], реже применяют нанокapsулы размером менее 1 мкм [237, 239, 320].

В производстве терморегулируемого текстиля для одежды используют технологию инкапсуляции активных органических и неорганических веществ, заключенных в защитную оболочку. В качестве подходящих для одежды органических веществ, способных изменять свое фазовое состояние [287], можно выделить парафиновые соединения ( $C_nH_{2n+2}$ ) с температурой плавления от 6 до 76°C и скрытой теплотой от 170 до 269 кДж/кг, величина которых возрастает с ростом числа атомов углерода и длины их цепи [274]. Также следует выделить полиэтиленгликоль [238, 307], эйкозан [335],



гексадекан [297], октадекан [242] и нонадекан. А среди неорганических веществ с изменяемым фазовым состоянием можно отметить гидратированные неорганические соли [312, 383].

К микрокапсулам, предназначенным для введения в структуру текстильных материалов, предъявляются следующие требования:

- ✓ унифицированный размер при максимизации соотношения размеров ядра и оболочки;
- ✓ устойчивость к механическим воздействиям;
- ✓ соответствие заданному диапазону показателей химических и термических свойств.

Для синтезирования микрокапсул с изменяемым фазовым состоянием используют такие физико-химические методы, как сложная коацервация, межфазная поликонденсация, упаривание летучего растворителя, высушивание распылением, напыление в псевдооживленном слое и другие [211, 299]. Выбор технологии инкапсулирования в первую очередь зависит от химического состава ядра и оболочки микрокапсулы, однако для эффективного применения в промышленных условиях больше подходит метод высушивания распылением, заключающийся в измельчении вещества ядра в растворе оболочки и последующим распылением полученного раствора под нагретым воздухом до испарения растворителя и образования плотной оболочки, внутри которой равномерно распределяется вещество ядра.

Для введения микрокапсул в текстиль применяют разные методы, каждый из которых эффективен по-своему. В зависимости от метода инкорпорирования, состава и массового содержания компонентов полимерной смеси можно регулировать прочность, воздухопроницаемость, термические и физические свойства модифицируемого текстильного материала.

По нашему мнению, для введения микрокапсул в процессе производства одежных тканей в наибольшей степени подходит *метод прядения терморегулируемых нитей*, заключающийся в добавлении микрокапсул в раствор полимера перед традиционным скручиванием волокон. К достоинствам этого метода следует отнести возможность получать не отличимые по внешнему виду нити с относительно более высоким терморегулирующим эффектом благодаря использованию электропрядения и получению наноструктурированных волокон меньшего диаметра [320]; можно отметить

дополнительную защиту функциональных микрокапсул не только оболочкой, но и структурой самих нитей и волокон, а также возможность прядения комбинированных и композитных нитей. К недостаткам метода прядения терморегулируемых нитей можно отнести ухудшение их механических свойств после инкасулирования и краткосрочность эффекта терморегуляции, которая может быть компенсирована высокой удельной теплотой плавления в условиях резкого изменения температуры окружающей среды.

К преимуществу инкорпорирования микрокапсул *методом позднего впрыска* можно отнести большую прочность закрепления микрокапсул в структуре материала, улучшающую его эксплуатационные свойства. Этот метод применяется для производства достаточно прочных и мягких антимикробных волокон *Amicor* [287] и заключается в более поздней загрузке микрокапсул в волокна, что позволяет их лучше блокировать.

Для производства тканей и одежды специального и технического назначения больше подходят методы инкорпорирования микрокапсул *покрытием* [307] и *ламинированием* [304], заключающихся в нанесении полимерной пленки на изнаночную сторону текстильного полотна, среди преимуществ которых можно отметить относительно высокую концентрацию микрокапсул на единицу площади, низкую себестоимость и легкость производимых изделий.

К менее эффективному инкорпорированию микрокапсул в текстиль следует отнести имеющие промышленное внедрение методы *печати* [158] и *погружения в расплав* [144, 152, 234, 238, 336, 383]. К достоинствам метода *печати*, используемого для производства набивного текстиля, относят широкую область терморегуляции благодаря наибольшему диапазону температур фазовых переходов микрокапсул, а к недостаткам - уменьшение воздухопроницаемости и увеличение жесткости, что требует оптимизации толщины покрытия. Для метода инкорпорирования микрокапсул *погружением в расплав* характерен узкий температурный диапазон фазовых переходов.

На уровень терморегулирующего эффекта текстильного материала в первую очередь влияют такие *параметры*, как химический состав, количество и ёмкость инкорпорированных микрокапсул [317], сырьевой состав и площадь инкасулирования текстильного полотна [326, 338, 352, 384], различие температур плавления и кристаллизации [222], определяющие объем высвобождаемой или поглощаемой энергии [190, 338, 341], изменение которых позволяет обеспечить заданные температурные интервалы фазовых переходов и соответственно реализацию функций обогрева и

охлаждения. Так, если вводить микрокапсулы, находящиеся в состоянии вершины пика поглощения, текстиль приобретает охлаждающие свойства.

«Умная» терморегулирующая одежда с элементами, изменяющими фазовое состояние, обеспечивает комфорт пододёжного пространства при защите от экстремальных температур [154, 293, 297, 331, 382], так как создавая достаточную изоляцию, может поглощать избыток теплоты, выделяемой организмом человека при повышении его активности.

Для параметризации проектирования «умной» теплозащитной одежды помимо антропометрических характеристик потребителя следует учитывать *параметры*, описывающие *характер, продолжительность и интенсивность физической активности человека*; а также параметры внешней среды, включая уровень воздействия холода или тепла, отражаемый *температурой, влажностью, скоростью ветра окружающей среды и продолжительностью в ней пребывания*. Для интеллектуального проектирования терморегулируемых изделий, включающих элементы, инкорпорированные микрокапсулами с изменяемым фазовым состоянием, важны *параметры*, обуславливающие задаваемую функциональность проектируемой одежды, включая *химический состав ядра и оболочки инкорпорированных капсул, их количество, размер, ёмкость, расположение, диапазон температур плавления и кристаллизации, сырьевой состав и инкапсулированная площадь основного текстильного материала*. В рамках предлагаемого метода параметрического проектирования представлен многослойный комплект теплозащитной одежды, включающий куртку, а также термобелье и термоноски из инкапсулированного трикотажа (Рисунок 6.12). Конструктивно-технологическое решение термоизделий разработано с учетом экономических соображений, исходя из которых инкапсулированные трикотажные детали позиционировали на участках тела человека, требующих первоочередного согревания при снижении уровня температуры поверхности его тела.

Интеллектуализация процесса проектирования позволяет, исходя из условий эксплуатации разработанных изделий и отклика потребителей, уточнить как проектное решение готовых изделий, так и технологию изготовления инкапсулированного трикотажа и химическую технологию синтеза микрокапсул с изменяемым фазовым состоянием.



**Рисунок 6.12 Теплозащитный комплект одежды с зональным инкапсулированием термобелья и термоносков элементами с изменяемым фазовым состоянием**

### **Разработка спортивных изделий с применением технологии ароматической микроинкапсуляции**

Зарубежными учеными (*Ogura T. et al., 2018; Kaur R. et al., 2018; Wang X. et al., 2020*) доказано, что ароматы обладают функцией нервной регуляции, которая реализуется в изделиях, предназначенных для снятия беспокойства, напряжения, стресса и обладающих релаксационным или лечебным эффектом [241, 298, 373, 374]. Контролируемое высвобождение ароматизированных частиц оказывает регулирующее воздействие на центральную нервную систему человека, уменьшая её напряжение, что подтверждено изменением уровня дофамина, ацетилхолина и гамма-аминомасляной кислоты [373]. Хорошо известна ароматерапия с помощью эфирных масел лаванды, розмарина и сосны, применяемая для лечения бессонницы и головной боли [337]. В качестве антимикробного средства, предотвращающего появление неприятных запахов, успешно зарекомендовала себя ароматизация текстиля эфирными маслами лаванды, шалфея, розмарина, жасмина, чампы, сандалового дерева, розовой воды и эвкалипта, которую в настоящее время производят как с помощью непосредственного нанесения ароматизатора на поверхность полотна, так и путем его микрокапсулирования, в том числе в оболочку из меламиноформальдегидных форполимеров [301, 309, 310, 401]. Ароматизаторы могут адсорбироваться тканью из жидкой ароматической эссенции, а также улавливаться из ароматического газа, а выпускаться, как правило, путем

распыления [241]. В качестве инкапсулируемого анитимикробного ароматизатора используют также и растительные экстракты имбиря, алоэ вера, китайской горькой тыквы, кумина, заключаемые в оболочку из камеди акации [196]. Благодаря использованию технологии инкапсулирования можно регулировать уровень ароматизации текстильных изделий, обеспечиваемый поглощением и хранением ароматических веществ в оболочке из полимеров или пористых органических материалов, а также интенсивность выпускаемого аромата [241].

В случае нанесения ароматизаторов непосредственно на волокна и ткани, аромат сохраняется не более двух циклов стирки, в то время как микроинкапсуляция ароматов обеспечивает высокую долговечность ароматизации полотен за счет образования химических или электростатических связей с тканью [337]. Ароматизированная обработка хлопчатобумажных тканей нанокapsулами существенно повышает устойчивость ароматов к стиркам по сравнению с микрокапсулами, так как в поры между нитями проникает и удерживается большее количество капсул меньшего размера [267]. Для повышения долговечности проявления аромата в процессе инкапсуляции используют Бета-циклодекстрин ( *$\beta$ -cyclodextrin*) и светоотверждаемую смолу (*UV curing resin*) [301].

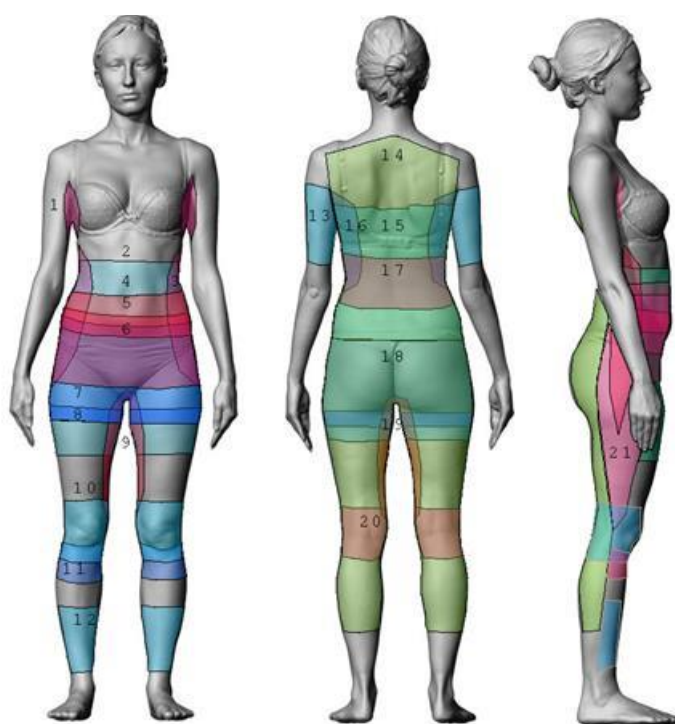
Время сохранения и интенсивности проявления аромата зависит от скорости высвобождения ароматического компонента из капсулы [374]. Микрокапсулы, инкорпорированные в структуру ткани, отличаются достаточной устойчивостью к механическим повреждениям, тем не менее роль фактора, высвобождающего аромат, может играть давление, оказываемое на ткань [344]. Для управления интенсивностью проявления аромата в качестве ароматических компонентов, используемых в процессе финишной отделки тканей, используют L-ментол, линалоол, D-лимонен, которые смешивают с учетом различной гидрофобности и молекулярной архитектуры [298]. Так, например, ароматизированные катионные наночастицы, инкапсулированные линалоолом, обладают чувствительностью к *pH* среды, высвобождая аромат в кислой окружающей среде и подавляя его высвобождение в щелочной среде [373].

Учитывая, что для снижения уровня стресса применяют физические упражнения, предложено улучшать атмосферу низкоинтенсивных тренировок с помощью подходящей одежды, помогающей снимать напряжение путем управляемого освежающего и энергетического воздействия ароматизированного текстиля. При высокой интенсивности физических тренировок использование ароматизированной спортивной одежды не

целесообразно из-за негативного эффекта смешивания запахов естественного потоотделения, эфирных масел и других [133]. Исходя из вышесказанного, можно говорить об актуальности разработки одежды, ароматизированной микрокапсулами, для таких спортивных релаксационных практик, как йога, пилатес, тренировки по растяжке мышц тела.

Для реализации ароматических функций в спортивной одежде выбран способ высвобождения ароматов из микрокапсул под воздействием таких механических нагрузок, как давление или трение, которые возникают в процессе фактического использования одежды и приводят к разрушению инкорпорированных в структуру полотна микрокапсул и последующему рассеиванию молекул аромата в воздухе. Таким образом, в проектировании ароматизированной спортивной одежды следует учитывать контактное воздействие на структуру инкапсулированной поверхности швейного изделия.

Проведенный анализ участков плотнооблегающей одежды, наиболее подверженных трению в процессе выполнения релаксационных упражнений, подобных выполняемым в комплексах йоги, позволил выделить 21 область (Рисунок 6.13). Таким образом, установлено, что для нанесения ароматических микрокапсул целесообразно проектировать участки конструкции спортивной одежды в области талии, бёдер и нижней часть спины.



**Рисунок 6.13 – Зоны наибольшего трения плотноприлегающей одежды**

В качестве ароматизированной субстанции выбраны экстракты сосны, сандалового дерева и лаванды, заключенные в полимерную пористую оболочку микрокапсул, для инкорпорирования в структуру эластичного ароматерапевтического трикотажа. В соответствии с результатами вышеописанного исследования разработаны конструктивно-технологические решения спортивных костюмов, реализующих функцию ароматизации и состоящих из плечевых и поясных изделий, различающихся зонами ароматизированного инкапсулирования и степенью покрытия поверхности тела человека (Рисунок 6.14).



**Рисунок 6.14 – Релаксационные спортивные костюмы с функцией ароматизации**

Интеллектуализация процесса проектирования одежды с использованием технологии ароматической микроинкапсуляции решает задачи:

- выявления разнообразного ассортимента одежды, подходящего для использования функции ароматического воздействия на окружающую среду;
- определении локальных областей одежды для ароматизированного инкапсулирования;
- предложения и выбора вариантов проектных решений одежды, обладающей функцией ароматизации.

Следует отметить, что дальнейшего решения в этом направлении требуют проблемы слишком быстрого и слишком сильного высвобождения аромата, которые могут вызывать дискомфорт в организме потребителя или негативную реакцию окружающих.

## 6.4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ФУНКЦИЕЙ ПАМЯТИ ФОРМЫ

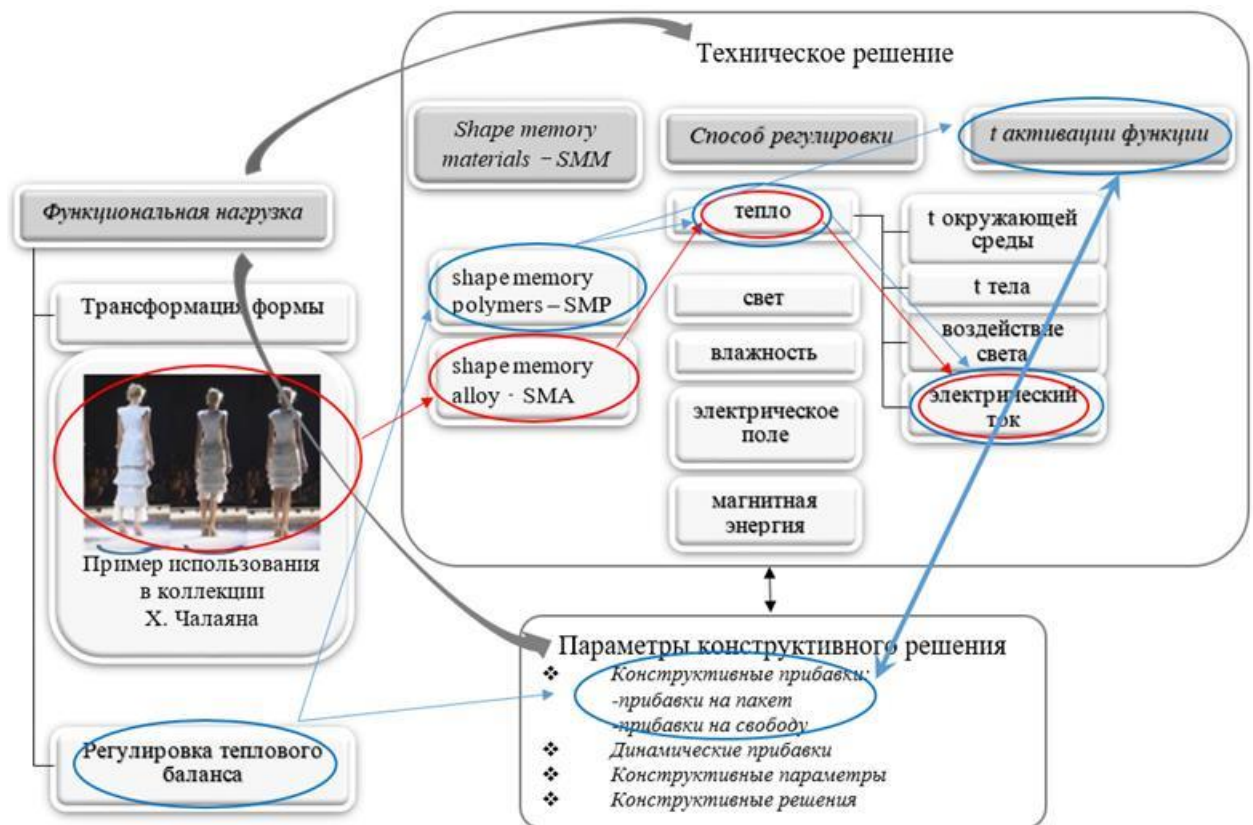
Среди современных видов интеллектуальной одежды следует отметить изделия из материалов с функцией памяти формы (*shape memory materials/ SMM*), способных запоминать и восстанавливать запрограммированную деформацию после внешнего стимулирования путём химического, теплового, светового, электрического, магнитного, pH и других видов воздействия [160, 165, 199, 365, 402]. Таким образом, *эффектом памяти формы* называется способность «запоминать» свою форму, например, при высокой температуре в процессе их модификации к более низкой температуре и затем полностью восстанавливать исходную форму при нагревании. В качестве материалов с функцией памяти формы могут быть использованы полимеры (*shape memory polymers/ SMP*), имеющие органическое происхождение, и сплавы (*shape memory alloy/ SMA*) неорганического происхождения. Сплавы с памятью формы чаще всего используют в виде отдельных нитей или интегрируют в состав комбинированной пряжи, полимеры с памятью формы обычно используют в качестве покрытия или ламинирования текстильных поверхностей [172, 365].

Исходя из сравнения результативности полимеров и сплавов с функцией памяти формы, к преимуществам сплавов следует отнести способность полностью возвращаться к своей исходной форме (суперупругость), силу и скорость восстановления формы, высокую прочность, хорошую энергопоглощающую и демпфирующую способности [160], к недостаткам – небольшое упругое растяжение (до  $8\div 10\%$ ) [270], высокую цену, низкую технологичность и сложность программирования памяти. Основными достоинствами полимеров с памятью формы для швейной промышленности являются относительно высокое восстанавливаемое удлинение (до 400%), возможность «запоминать» до трёх стабильных форм, простота обработки и интеграции с текстилем, низкий вес, приятная на ощупь текстура, экономичность, [402], в то время как их ключевым недостатком является слабая рециркуляционная способность.

С помощью полимеров и сплавов с памятью формы создают интеллектуальную одежду как саморегулируемый объект, способный динамически модифицировать свою форму в зависимости от условий окружающей среды.



В процессе интеллектуализации проектирования одежды осуществляют не только выбор используемого материала с памятью формы (*SMM*) для реализации определённой функции в одежде, но и задают как *изменяемые конструктивные параметры одежды*, в частности объём, длину и ширину, так и *параметры модификации материала* под ожидаемым внешним воздействием. Таким образом, в процессе проектирования изделий с функцией памяти формы параметрами, влияющими на формирование функциональной составляющей изделия, являются технические характеристики, отражающие принцип реализации функции материалом, режим и метод активации этой функции (Рисунок 6.15).



**Рисунок 6.15 – Взаимосвязь параметров проектирования одежды с функцией памяти формы**

Для текстильной и швейной промышленности *полимеры с памятью формы* могут изготавливаться в виде макро-, микро- и нановолокон, растворов, пленок и пен и применяться для производства тканей, трикотажа, нетканых материалов, их отделки, покрытия и ламинирования [219, 233, 283, 291, 399]. Полимеры с памятью формы (*SMP*) представляют собой материалы, способные фиксировать временно деформированную форму (конфигурацию или размер) и возвращаться в исходную форму под воздействием внешних факторов [282, 284]. Одним из наиболее характерных видов *SMP* является полиуретан, имеющий достаточно широкий диапазон температуры перехода для

восстановления своей формы, высокую деформацию восстановления (до 400%), регулируемые физические свойства [351].

В уникальной структуре полимеров с памятью формы присутствуют твердые кристаллические сегменты, составляющие не менее 25÷40%, и мягкие аморфные сегменты [219, 220], которые характеризуются микрофазовыми неоднородностями в цепях молекул, обуславливающими возможность смены обратимой аморфной фазы размягчения и фиксируемой кристаллической фазы отверждения, что обуславливает широкий диапазон упругой деформации, хорошие биофизические, термомеханические и формоизменяющие свойства. На морфологию полимеров с памятью формы влияют такие *параметры*, как химическое состояние, состав, процентное содержание твердых сегментов, молекулярная масса [288]. Чем больше процентное содержание полимерных волокон с памятью формы в нитях, тем выше в них функциональный эффект [268]. Универсальность структуры и свойств полимеров с памятью формы связана с простотой регулирования температур фазового перехода между температурами стеклования ( $T_g$ ) и плавления ( $T_m$ ) путем выбора подходящего состава компонентов полимеризации, отличающихся доступностью большого количества вариантов с разной структурой и свойствами, а также с его различными формами: волокно, эластомер, термопластик, пена [221]. Следует отметить, что температура фазовых переходов формы у полимеров ближе к температуре тела человека, чем у сплавов. Для *описания эффекта памяти формы полимерных материалов* используют следующие *параметры*: температура перехода (*transition temperature*,  $T_{trans}$ , как правило, равная температуре стеклования  $T_g$  для аморфных полимеров или плавления  $T_m$  для кристаллических), фиксируемая деформация (*shape fixity*,  $R_f$ ), восстанавливаемая деформация (*shape recovery ratio*,  $R_r$ ), скорость восстановления (*recovery rate*), максимальная восстанавливаемая деформация ( $e_{max}$ ) и максимальное напряжение восстановления ( $\sigma_{max}$ ) [396].

Поперечное сечение волокон из полимеров с памятью формы может изменяться в зависимости от температуры окружающей среды, приобретать полую форму полумесяца в жаркую погоду и замкнутую - в холодную погоду [173]. Волокна с памятью формы могут быть переработаны в нити для производства тканей и трикотажа [219, 220], из которых можно производить швейные изделия, реагирующие на изменение температуры с помощью усадки (уменьшения длины и/или ширины), изгиба или увеличения толщины. В отличие от одежды из эластомерных волокон одежда из волокон с памятью формы

лучше принимает форму тела потребителя, не оказывая дополнительного давления, что делает такую одежду более комфортной. Полимерные нити с памятью формы используют для изготовления медицинских чулок с регулируемым диапазоном давления для интеллектуального ухода за ранами и другими поражениями конечностей с помощью компрессионной терапии [248, 291], а также для изготовления корсетов, женского нижнего белья, носков, спортивной одежды, нарядных и повседневных платьев [220].

Полиуретаны с памятью формы имеют большое количество и малый размер микропор, позволяющих предотвратить прохождение капель воды через волокно, но легко выводить молекулы водяного пара, что обеспечивает физиологический комфорт в «дышащей» влагозащитной одежде в условиях дождя и снега [172, 289]. Термо- и влагочувствительные полимеры с памятью формы применяются для увеличения функциональных возможностей одежды, в первую очередь её эргономических, защитных и эстетических свойств, улучшающихся благодаря обеспечению хорошей гидроизоляции, паропроницаемости [232, 289] и проектированию конструктивных элементов, размер и форма которых могут регулироваться в зависимости от температуры окружающей среды [168].

Функциональность применения полимерных пленок с памятью формы при ламинировании текстильных материалов обусловлена возможностью придания одежде водонепроницаемости и паропроницаемости, свойства расправлять или фиксировать складки [268].

*Сплавы с памятью формы (SMA)* чаще всего используют в виде проволочных нитей, запрограммированных на выполнение определенных функций, которые как сердечник оплетают текстильными волокнами (в основном полиэстером, вискозой, полиамидом), чтобы интегрировать их в виде нитей в ткани, трикотаж, одежду [366]. Наиболее распространенными промышленными сплавами с памятью формы являются никель-титановые и медные сплавы, включая медно-алюминиево-никелевые и медно-цинково-алюминиево-никелевые.

Эффект памяти формы в сплавах проявляется благодаря мартенситному превращению, представляющему собой процесс фазового перехода из исходного твердого, кристаллографически более упорядоченного состояния (аустенит) в кристаллографически менее упорядоченное твердое состояние (мартенсит) и происходящему в зависимости от изменения температуры или напряжения. Сплавы с

памятью формы могут изменять свою форму, размер или внутреннюю структуру под воздействием того или иного стимула. При одностороннем эффекте памяти материал может переходить из состояния А в состояние В и наоборот. С помощью термомеханической обработки сплавов можно запрограммировать получение двустороннего эффекта памяти формы (*two-way memory shaped alloys/ TWSMA*) [384], при котором элемент из сплава принимает две стабильные формы, например, одну при высокой температуре и другую при низкой температуре, переход между которыми является обратимым. Основными параметрами описания эффекта памяти сплавов являются скорость восстановления деформации (*recovery rate*) и величина фиксируемой деформации (*shape fixity, R<sub>f</sub>*).

Несмотря на высокую жесткость, сверхупругую нитевидную проволоку из нитинола (*NiTi*) можно перерабатывать на текстильных станках для изготовления ткани и трикотажа [365], для этого предварительно запрограммированные нитиноловые нити толщиной менее 100 мкм оплетают текстильными волокнами. Увеличение количества или толщины металлизированных нитей в текстильном материале ухудшает тактильное восприятие его текстуры и ведет к увеличению его стоимости. При проектировании одежды используют как нитиноловую проволоку толщиной 100-300 мкм, так и изготовленные из неё спиралевидные пружины.

Интеллектуализация текстильных материалов путем реализации способности воспринимать и реагировать на внешние воздействия привела к развитию эстетической инженерии, направленной на творческое проектирование динамических изделий, способных управляемо изменять свою форму, как, например, динамические портьеры варьирующие заданную форму своей драпировки при изменении температуры благодаря включения в их тканую структуру пряжи с нитинолом [165].

Для реализации функции самопроизвольного разглаживания складок и заминов ткани без применения какой-либо нагревательной/ охлаждающей обработки предложено использовать комбинированные нити, включающие сердечник из нитинола (сплав *Ni-Ti* с содержанием  $Ni\ 55,8\pm 0,5\%$ ) и текстильную оболочку, которые вводили как по основе, так и по утку с расстоянием между ними 5 см, чтобы обеспечить возможность восстановления после сминания во всех направлениях, составляющего от 40 до 120 градусов углов восстановления заминов [365]. Программируемое «запоминание» формы нитями из нитинола позволяет как разглаживать замины, так и наоборот сохранять и фиксировать

складки. Функция восстановления формы после деформации может быть востребована в таком ассортименте изделий, как палатки, шторы, сумки, саморазглаживающаяся одежда и др. [365].

Никель-титановые сплавы чувствительны к изменению своей формы в диапазоне температуры человеческого тела, что делает их пригодными для разработки интеллектуальной одежды с саморегулируемыми функциями. Из нитинола с односторонней памятью изготавливают застежки-липучки, текстильные сенсоры для автоматического регулирования температуры тела или освещения помещений, а из нитинола с двусторонней памятью проектируют одежду с саморегулируемыми термоизоляционными свойствами.

Благодаря использованию сплавов с памятью формы создаются новые концепции дизайна, повышающие эстетическую привлекательность и функциональность одежды и применяемые в различных областях, включая медицинский текстиль, защитную и спортивную одежду. Способность сплавов с функцией памяти формы поглощать энергию удара успешно используется при проектировании и изготовлении бронежилетов. Известно применение сплавов с  $NiTi$  в качестве формосохраняющих элементов в бюстгальтерах и футболках «*iron*», позволяющих благодаря их суперупругости предотвратить деформации, возникающие в процессе стирки и сушки [402]. Для изготовления медицинских изделий с регулируемой компрессионной способностью из нитинола ( $NiTi$ ) с памятью формы создано активное носимое устройство на текстильной основе, способное обеспечивать контролируемое пульсирующее сжатие с динамическим давлением до 5,5 кПа, прилагаемом при термическом стимулировании, путем генерирования восстанавливаемых деформаций до 75% удлинения.

С применением сплавов с памятью формы разработаны рубашки, у которых уменьшается длина рукавов при увеличении температуры тела потребителя в жаркую погоду; предложены прототипы повседневных платьев, подол которых может кинетически подниматься при различных температурах и возвращаться к первоначальной длине, опускаясь под действием силы тяжести [402]. Материалы с памятью формы применяются для изготовления кинетических нарядных платьев, части которых можно запрограммированно перемещать, что демонстрируется в показах модных коллекций, например, *Х. Чалаяном* (см. Рисунок 6.15, на котором *красным цветом* выделена номенклатура параметров, за счет которых был достигнут динамический эффект

визуального уменьшения длины и изменения силуэта платья). В этом случае способ активации динамического перемещения низа платья вверх основан на интегрировании в структуру платьев гибких печатных плат, которые пропускали ток через каркас изделий, изготовленный из нитей, металлизированных сплавами с памятью формы. Подобные технические решения предоставляют возможность динамической вариации формы и силуэта моделей, длины изделия, трансформации декоративных элементов.

В результате проведенного нами исследования предложено техническое решение анимированного текстильного декоративного элемента, предназначенного для обрамления горловины или плечевого пояса платья и демонстрирующего визуальный эффект «оживающих» цветов, который происходит за счёт стягивания лепестков друг другу и вызывается сокращением длины нитиноловых нитей, введенных в ткань, при изменении температуры окружающей среды или напряжения электрического поля (Рисунок 6.16).



**Рисунок 6.16 – Кинетический эффект памяти формы в текстильном декоре платья**

Сплав *NiTi*, имеющий двунаправленную память формы, позволяет обеспечивать терморегуляцию среды и предметов одежды для защиты как от недостатка, так и от избытка тепла. Так, например, с помощью специальных элементов, представляющих собой спиралевидно закрученную нитиноловую проволоку, можно регулировать

воздушный зазор между слоями пакета одежды (Yoo S. et al., 2008), растягиваясь на 10-15 мм в холодную погоду, увеличивая толщину воздушной прослойки и соответственно теплоизоляцию одежды, а в более теплую погоду – их уменьшая [384].

Наибольшее количество зарубежных исследований о практическом применении сплавов с памятью формы посвящено разработке интеллектуальной одежды для защиты от таких термических факторов, как пламя, тепловое излучение, брызги расплавленного металла [154]. Основной функцией такой «умной» защитной одежды является обнаружение в окружающей среде чрезмерного теплового воздействия и мгновенное реагирование собственным обратимым физическим изменением, например, увеличением толщины и соответственно теплового сопротивления. Такая термозащитная одежда предназначена для защиты от ожоговых травм у пожарных, спасателей, гонщиков, экипажей танков и любых работников, которые могут случайно подвергнуться сильному нагреву.

При интенсивном воздействии тепла лишний вес и громоздкость одежды подвергает её владельца дополнительному тепловому стрессу, поэтому вне воздействия термических факторов одежда должна иметь минимально возможную толщину и вес, чтобы обеспечить более высокий уровень её эргономичности. Сплавы с памятью формы включают в одежду, чтобы динамически разделять слои одежды и увеличивать воздушный зазор между ними для улучшения её термоизоляции. Применение в одежде конструктивных элементов, содержащих сплавы с памятью формы, позволило использовать существенно более легкие и тонкие материалы для обеспечения заданного уровня защиты, обеспечивая увеличение воздушных зазоров в пакете материалов и увеличении толщины на 13 мм для обеспечения стойкости к тепловому излучению, на 17 мм – к брызгам расплавленного железа, на 41 мм - к воспламенению. Учитывая условия использования защитной одежды, предполагается, что изменение формы сплавов и увеличение толщины одежды должно начинаться при повышении температуры окружающей среды выше 60°C, чтобы температура кожи человека оставалась ниже болевого порога (44°C), поэтому мартенситный переход сплавов с памятью формы, применяемых в термостойкой одежде должен происходить в диапазоне температур от 50 до 60°C [154], чему соответствует, например, сплав с химическим составом [Ni (55,6%), Ti (44,3929%), Cr (0,0001%), Cu (0,0005%), Fe (0,0065%)].

Для улучшения теплоизоляции противопожарной одежды и защиты кожи человека от ожогов или перегрева (*Lah A.S. et al., 2019*) в качестве прокладочного слоя используют трикотажное полотно из переплетающихся слоев с полыми участками из нитиноловых монокристаллов с памятью формы диаметром 0,1 мм, которое первоначально отжигали при температуре 500°C для достижения температуры аустенитного перехода 75°C. Затем для придания нитиноловым тканям заданной выпуклой формы используют специальные стальные и алюминиевые куполы разной высоты, и проводят 15-циклового тренировочный процесс в нагретой камере при температуре 100°C для достижения двустороннего эффекта памяти формы. При резком возрастании температуры окружающей среды «умный» стеганный материал мгновенно меняет свою двумерную форму на трехмерную, увеличивая воздушный зазор и улучшая локальную теплоизоляцию одежды. Кроме того, для этого можно применять спиралевидно закрученную нитиноловую проволоку, чаще всего в виде конуса, которую вшивают в одежду (*Bartkowiak G. et al., 2020*), чтобы при нормальной температуре удерживать плотно сложенные слои ткани, а при её повышении самопроизвольно расширять воздушную прослойку внутри одежды [154].

Апробация терморегулируемой одежды с сильфонным карманом, имеющим гофрированные складки и содержащим конические нитиноловые пружины, показала, что при повышении температуры до 50°C воздушный зазор между слоями кармана увеличивается на 35 мм, обеспечивая повышение локальной теплоизоляции одежды. Интеллектуальные терморегулируемые куртки с встроенными пружинами высотой 6 мм из сплава с памятью формы (*Lee J.Y. et al., 2010*) позволяют повысить теплоизоляцию за счет увеличения воздушной прослойки в пакете материалов до 20 мм и существенно улучшить физиологический комфорт, исходя из тепловых и влажностных ощущений, по сравнению с аналогичными куртками без элементов SMA [257]. Введение пружин из сплавов с памятью формы в защитную одежду (*White J., 2012*) позволяет увеличить эффективность защиты от тепловых факторов примерно на 30-50% по сравнению со стандартной противопожарной одеждой [154], при этом степень тепловой защиты зависит от расположения и размера пружин. Таким образом, на основе материалов с функцией памяти формы проектируют интеллектуальную одежду, обладающую переменной степенью теплоизоляцию в зависимости от уровня выделения или поглощения тепла.



В результате проведенного нами исследования предложено техническое решение противопожарного костюма, в котором предлагается проектировать толщину подшлемника, нарукавников и карманов из материалов с памятью формы для обеспечения герметизации в экстремальных условиях (Рисунок 6.17)



**Рисунок 6.17 – Интеллектуальный противопожарный костюм с подшлемником, перчатками и карманами, меняющими толщину в зависимости от температуры**

Разработки в области полимеров и сплавов с памятью формы предполагают широкое применение для производства интеллектуальных текстильных и швейных изделий, включая повседневную, специальную и спортивную одежду, технический и медицинский текстиль.

## **6.5 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ОДЕЖДЫ С ФУНКЦИЯМИ УПРАВЛЕНИЯ**

Одним из направлений интеллектуализации предметов одежды является добавление ей функций, позволяющих управлять объектами внешней среды, например,

поиска, зарядки и управления смартфоном. Для проектирования изделий с функцией управления элементами внешней среды следует решить ряд задач, а именно:

- определить элементы управления, которыми будет наделен предмет одежды;
- определить способ технического управления этой функцией человеком;
- найти технологическое решение одежды с функцией управления (Рисунок 6.18).



**Рисунок 6.18 – Варианты технологических решений одежды с функцией управления**

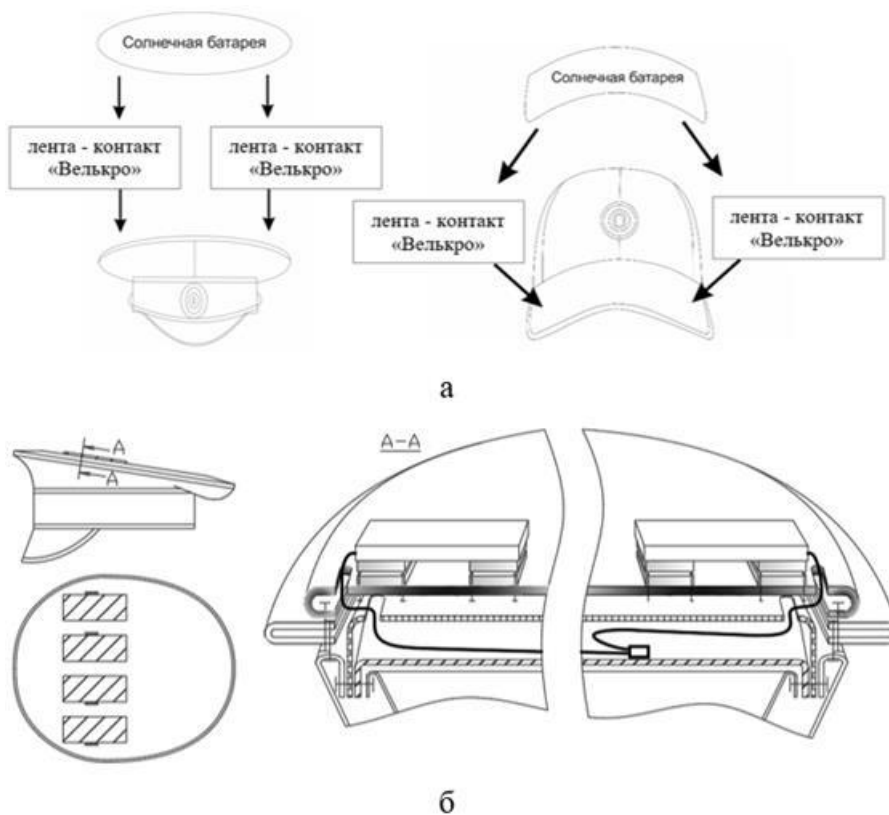
В качестве технологического решения для реализации функции зарядки носимых электронных устройств предложено использовать солнечные батареи (Рисунок 6.19).



**Рисунок 6.19 – Варианты одежды со встроенными солнечными панелями**

Использование данной технологии в специальной одежде и одежде для военных позволяет решать разнообразные технические проблемы, например, экстренной зарядки электроприборов в местах, не доступных для проведения электросетей. Варианты расположения элементов солнечных батарей предложены для фуражки и бейсболки (Патент №194487, Приложение Б) [428] (Рисунок 6.19, а). Дополнительной функцией разработанных головных уборов является обеспечение возможности зарядки

портативных приборов. В предложенных технических, конструктивных и технологических решениях фуражки и бейсболки с элементами солнечных батарей учтена необходимость обеспечения удобства использования и хранения (Рисунок 6.20, б).



**Рисунок 6.20 – Проектное решение фуражки: а) схема расположения элементов солнечных батарей; б) конструктивно-технологическое решение**

## **6.6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТОВ ОДЕЖДЫ С СИГНАЛЬНЫМИ ФУНКЦИЯМИ**

Использование сигнальных функций в одежде является одним из перспективных направлений интеллектуализации предметов костюма, развитию которой способствует внедрение в повседневную жизнь человека электронных носимых устройств, развитие искусственного интеллекта и цифровой среды. Среди сигнальных предметов или деталей одежды можно выделить:

- сенсорные элементы, передающие информацию о физиологическом состоянии пациента в лечебном учреждении или с профилактическими терапевтическими целями;

- спортивные изделия и их элементы, предназначенные для аккумуляции и анализа параметров состояния человека в процессе физической активности;
- элементы изделия, обладающими повышенными визуальными функциями, позволяющими привлечь внимание окружающих, например, в дорожно-транспортной среде или в ночное время;
- элементы костюма, помогающие людям с ограниченными возможностями, комфортнее адаптироваться во внешней среде, получая объективную информацию о ней;
- многие другие виды принципиально нового ассортимента одежды.

В зависимости от функции изделия разрабатывается его техническое решение, опираясь на:

- ✓ выбор основного материала для его изготовления;
- ✓ определение основных аспектов конструктивного решения;
- ✓ выбор технических элементов для реализации функции;
- ✓ корректировку конструктивного решения и определение способа интегрирования технического элемента в конструкцию изделия;
- ✓ разработку технологического решения изделия.

В рамках существующих вариантов технического решения одежды с сигнальными функциями производителям можно предложить:

- интеграцию *Bluetooth*-гарнитуры в изделие;
- использование специальных устройств для хранения и передачи информации (*RFID*-метки, *NFS*-метки);
- использование сенсоров и датчиков считывания информации;
- интеграцию в одежду вибромоторов и микрокомпьютеров.

Анализ современных разработок одежды с сигнальными функциями показал, что основной функционал технических устройств, интегрируемых в одежду, направлен на получение информации о человеке или управление человеком сторонних устройств. Получение индивидуальной цифровой информации об окружающей среде приобретает особенную актуальность для людей с ограниченными способностями. Совместно с соавторами *Петросовой И.А.* и др. предложен вариант технической реализации данной функции на примере разработки трости для ориентации незрячих и слабовидящих людей (*Патент на изобретение № 2727885*) [421]. Трость имеет тактильный экран-оболочку,

который выполнен с подвижными элементами для создания рельефного изображения за счет вибрации выступающих элементов (Рисунок 6.21). Альтернативным вариантом выполнения тактильного экрана-оболочки является использование технологии излучения электромагнитных импульсов, создающей ощущения при прикосновении. В качестве считывающего устройства можно использовать видеокамеру или другие считывающие устройства. Устройства для считывания информации могут работать в режимах инфракрасного, лазерного и других видов излучения. Передача считываемой информации об окружающей среде в систему распознавания (микроконтроллер) может осуществляться как в проводном, так и в беспроводном режиме (Патент № 193964) [427].

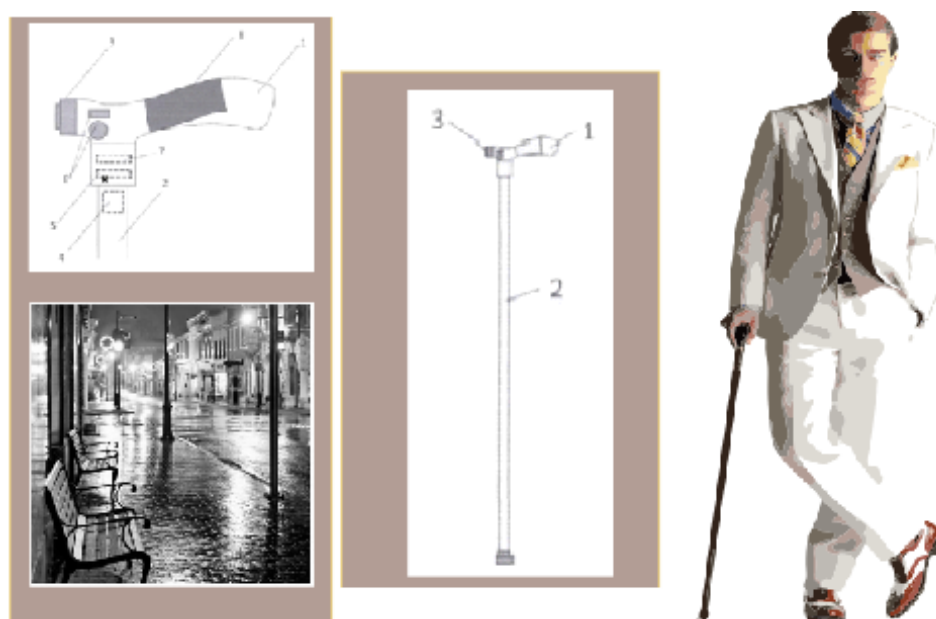
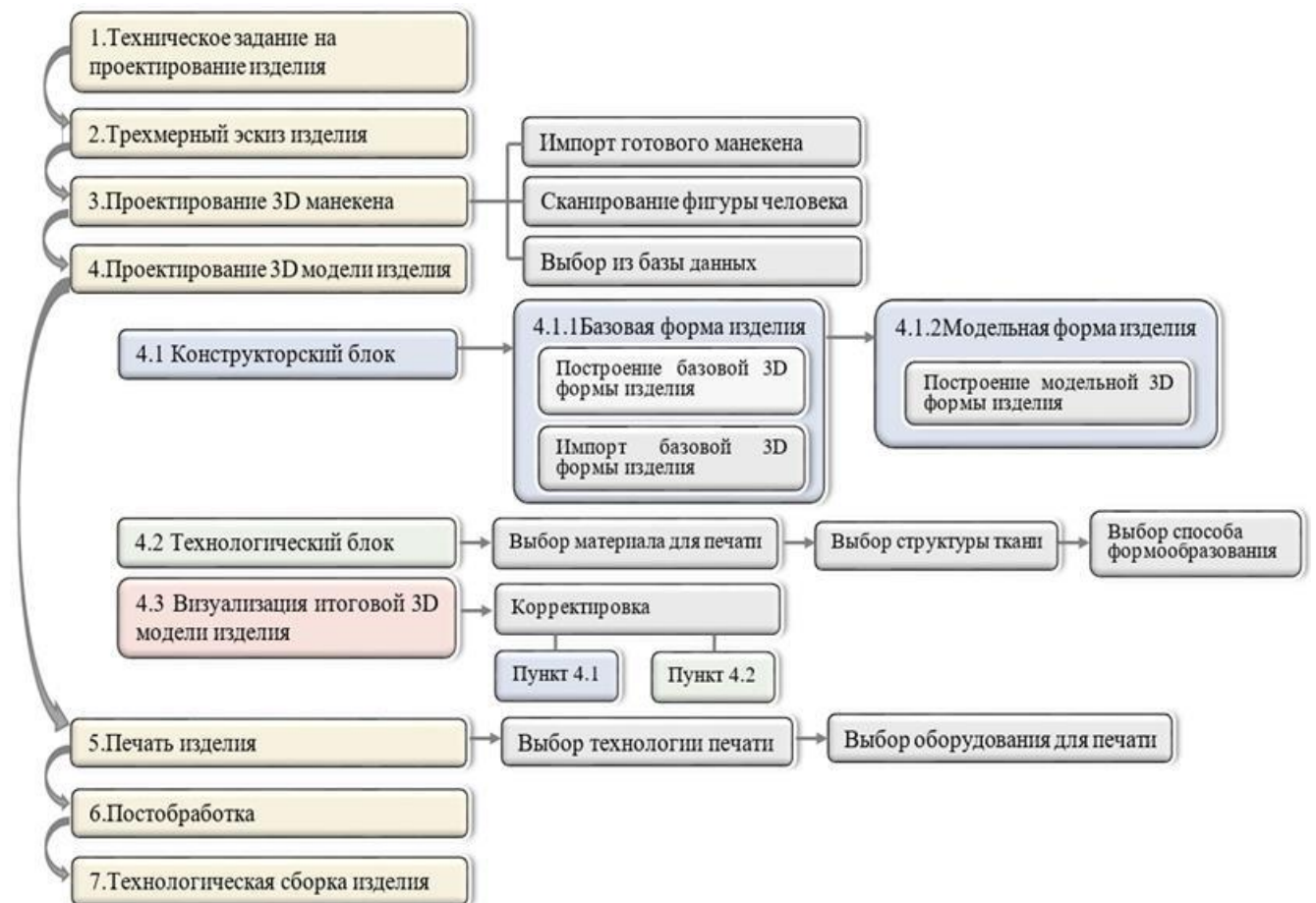


Рисунок 6.21 – Трость с тактильным экраном-оболочкой

## 6.7 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ ТЕКСТИЛЬНО-ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ РАЗНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

Для более широкого внедрения *технологий 3D печати*, называемых *аддитивными технологиями*, для изготовления одежды целесообразно предоставить более активную роль в её проектировании потребителям, что требует более подробной детализации их ожиданий, на основании которых можно однозначно обозначить свойства проектируемого изделия и реализовать их путем интеллектуального управления его

техническими, конструктивными и технологическими параметрами. Нами выделены семь основных этапов проектирования и изготовления одежды с использованием 3D печати (Рисунок 6.22), среди которых этапы 1-4.1 соответствуют традиционному подходу к проектированию, методология и инструменты которого описаны в предыдущих главах. Однако, проектирование технологического решения изделий в большей степени зависит от особенностей выбранного метода 3D печати.



**Рисунок 6.22 – Модель процесса проектирования и 3D печати одежды**

В результате проведенных исследований в качестве перспективных направлений реализации технологии 3D печати для изготовления одежды выделены следующие:

- ✚ изготовление изделий с жесткой структурой, способных сохранять заданную первоначальную форму, таких как корсетные изделия;
- ✚ изготовление изделий с подвижной структурой в виде звеньев;
- ✚ поверхностная отделка материалов для усиления их декоративных или функциональных свойств;
- ✚ использование технологии печати в бесшовных вязаных изделиях;

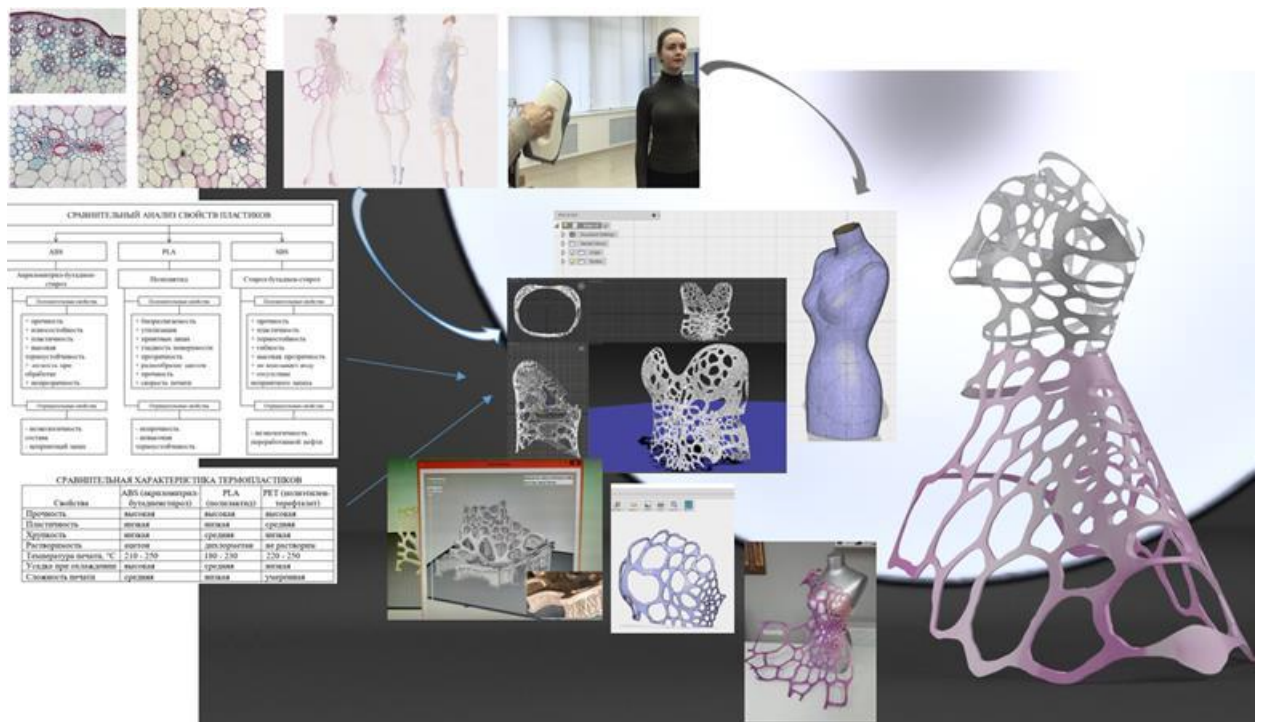


создание высокофункциональных изделий, свойства которых могут динамически изменяться, что позволяет их программировать и регулировать.

### Проектирование аддитивного изготовления одежды с жесткой структурой

Исходной информацией для проектирования конструкции одежды, имеющей жесткую структуру, и её изготовления методом 3D печати является эскиз и информация о внешней форме фигуры потребителя, поэтому начальные этапы сбора данных об антропометрических признаках и параметрах модели идентичны процессу традиционного проектирования. При этом особенностью проектирования в условиях аддитивного производства является необходимость выбора оборудования, методов и материалов для 3D печати. В условиях стремительного развития технологий инструмент для обработки данной информации должен иметь интерактивный характер и возможность пополнения базы данных актуальными сведениями.

При проектировании конструкции одежды первоначально получают информацию о форме и размерах фигуры, после чего её обрабатывают для создания виртуальной модели фигуры человека, для которой и разрабатывается изделие (Рисунок 6.23).



**Рисунок 6.23 – Проектирование одежды с жесткой структурой для 3D печати**

Для разработки виртуальной модели изделия использован шаблон, пространственная форма которого была модифицирована и трансформирована в соответствии с эскизом модели. После завершения поиска внешней формы проводят работу по определению особенностей проектируемой поверхности, включая цветовую

гамму, фактуру, свойства используемого материала. Для изготовления 3D печатью опытного образца нарядного платья был выбран ABS-пластик, исходя из его доступности на рынке, разнообразия цветовой палитры, высокой прочностью и износостойкостью по сравнению с аналогичными материалами. Помимо усиления декоративных функций и улучшения эстетических функций детали с жесткой структурой, изготовленные методом 3D печати, целесообразно использовать в качестве формозадающих каркасов изделий (Рисунок 6.24).



**Рисунок 6.24 – Разработка декоративного формозадающего элемента одежды**

Разработанный конструктивный элемент имеет сложную поверхностную форму и представляет собой каркас, задающий внешнюю форму лёгкого платья и изготовленный из относительно гибкого материала TPU92A-1, отличающегося высокими прочностью, износостойкостью, эластичностью, упругим восстановлением в рамках шкалы температурного режима от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$ .

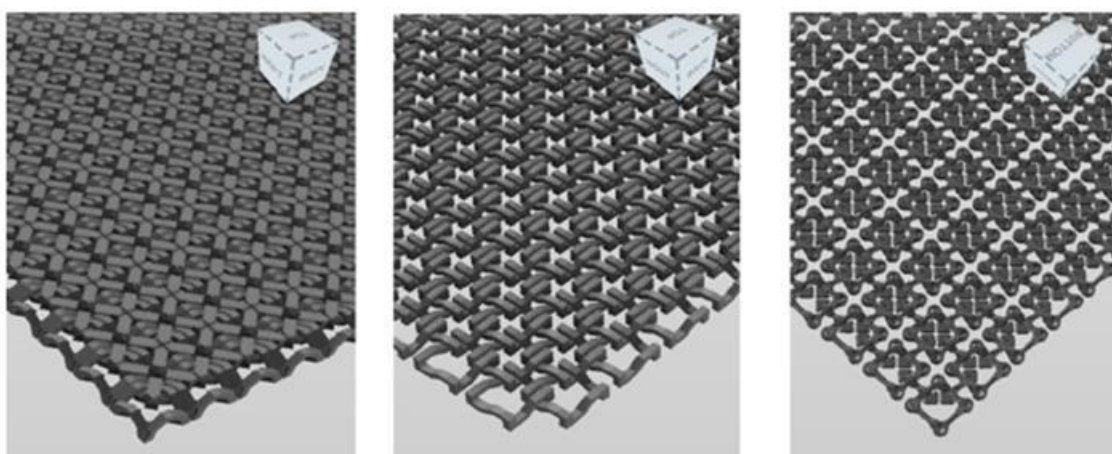
### **Проектирование аддитивного изготовления одежды с подвижной структурой**

Для разработки метода проектирования одежды, имеющей подвижную структуру, и её изготовления по технологии 3D печати сформулированы основные требования и рекомендации к структуре используемых материалов:



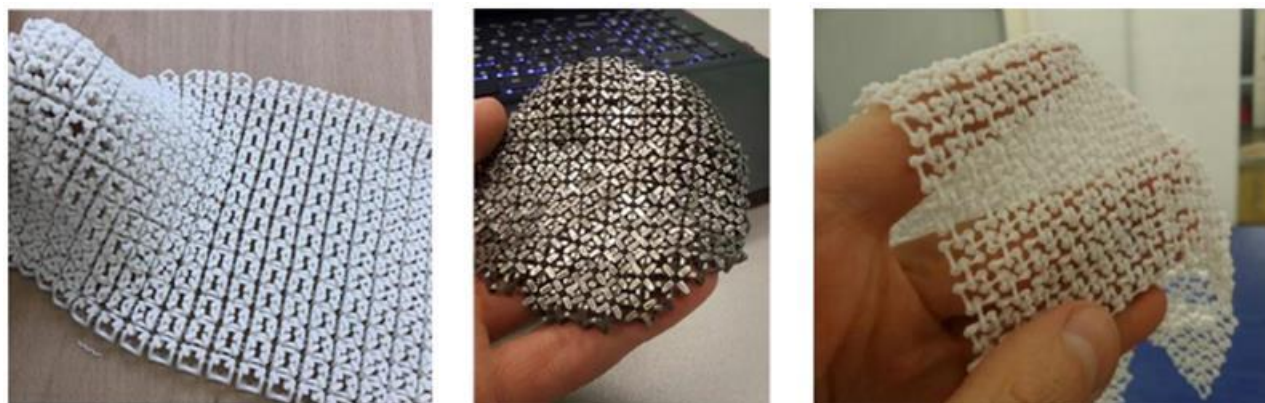
- 1) Структура материала должна состоять из звеньев, отвечающих принципам взаимозаменяемости и комбинаторики.
- 2) Структура материалов должна быть подвижна.
- 3) Расположение структурных звеньев должно обеспечивать большую вариативность формообразования.
- 4) Значения толщины элементов материалов являются регулируемым параметром.

В результате проведенных экспериментальных исследований разработаны три варианта подвижной структуры материала (Рисунок 6.25). Параметрическое описание разработанных материалов базируется на выявлении и определении значений линейных параметров всех структурных элементов материала (Таблица 6.2).



**Рисунок 6.25 – Варианты подвижных структур напечатанного полотна**

На основе трех вариантов разработанных подвижных структур выполнена 3D печать прототипов материалов и получены три образца материала, структура которых представлена на рисунке 6.26, изготовленных с помощью технологий печати SLS и SLM из полиамида PA2200 и из алюминиевого порошка AlSi10Mg.



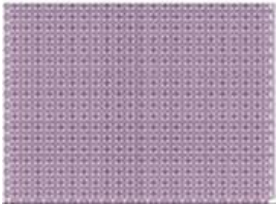

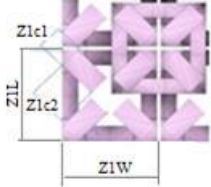


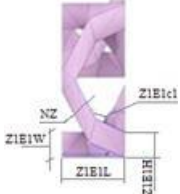
а

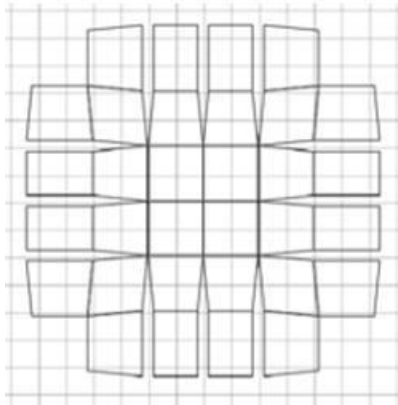
б

в

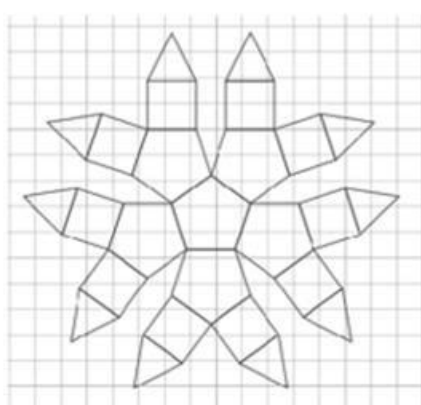
**Рисунок 6.26 – Структуры материалов, полученных по технологии 3D печати: а) SLS из полиамида; б) SLM из алюминиевого порошка; в) SLS из полиамида**

Таблица 6.2 – Параметризация структуры разработанного материала

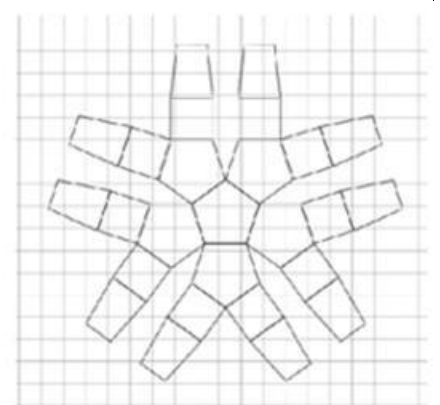
Схема	Наименование параметра	Обозначение	Значение
Схема структуры 	количество видов звеньев	Zx	1
	форма звена	Z1	
		Z2	(значение), схема
		Z3	(значение), схема
	количество звеньев в 1см <sup>3</sup>	ZN1	1,7
		ZN2	(значение), шт
		ZN3	(значение), шт
угол отклонения звеньев друг от друга	R1c1	180 гр	
Схема звена Z1 	количество видов структурных элементов	Z1Ex	2
	форма структурных элементов	Z1E1	
		Z1E2	
		Z1E3	(значение), схема
	количество структурных элементов в звене	Z1E1N	4
		Z1E2N	2
		Z1E3N	(значение), шт
	длина звена	Z1L	(значение), см
	ширина звена	Z1W	(значение), см
	высота звена	Z1H	(значение), см
	угол отклонения от оси 1	Z1c1	(значение), гр
угол отклонения от оси 1	Z1c2	(значение), гр	
Схема структурного элемента №1 	длина элемента	Z1E1L	0,35 см
	ширина элемента	Z1E1W	0,14 см
	высота элемента	Z1E1H	0,08 см
	угол отклонения от оси	Z1E1c1	(значение), гр
	радиус сечения	NZ	(значение), см



а



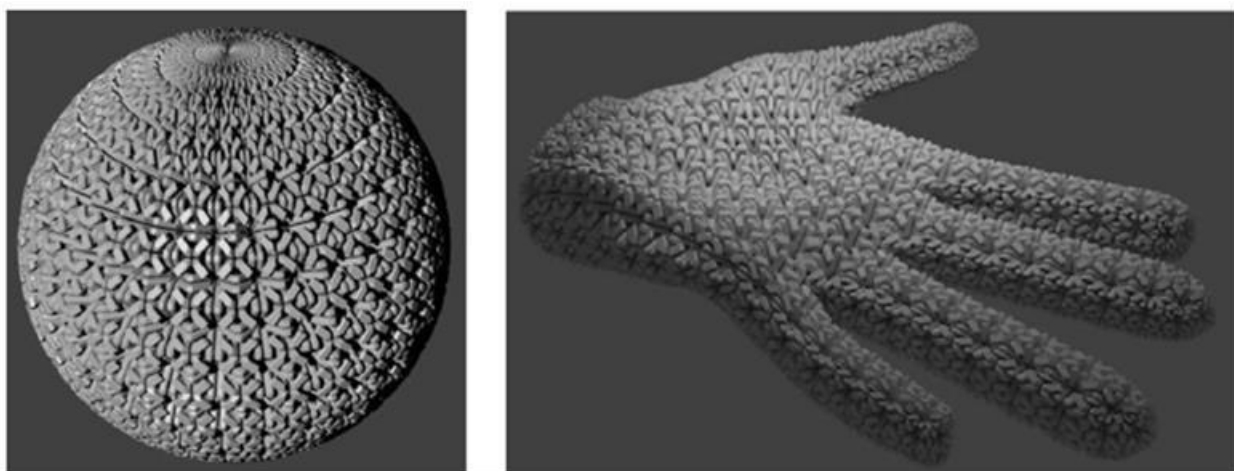
б



в

Рисунок 6.27– Формообразование в аддитивном процессе путем изменения: а) линейных параметров звеньев; б) формы звеньев; в) формы и параметров звеньев

Вариацией технологий, материалов, параметров структуры могут быть заданы различные характеристики тканей (Рисунок 6.27), позволяющие выпускать изделия разной функциональности (Рисунок 6.28).



**Рисунок 6.28 – Аддитивное изготовление изделий разной внешней формы**

## **6.8 ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРСониФИЦИРОВАННОЙ ОДЕЖДЫ**

Разработка высококачественной персонифицированной одежды является сложной многофакторной задачей, традиционно решаемой путем индивидуального пошива. Цифровизация и автоматизация производственных процессов изготовления одежды обеспечили возможность организации «умного» виртуального пространства, позволяющего удовлетворить спрос на индивидуализацию изделий в условиях промышленного производства.

В сфере проектирования одежды процесс создания нового образа и поиска решений для его воплощения является творческой работой, требующей нетривиальных подходов, базирующихся как на опыте и навыках специалистов, так и на способности получать новые знания, которые могут быть использованы в деятельности дизайнеров, конструкторов и технологов. Для решения задачи проектирования нового персонифицированного костюма первоначально требуется определить требования, предъявляемые потребителем к изделию, например, к сценическому костюму, которые отражают прежде всего исходную информацию об изделии и о самом потребителе, обобщаемую в техническом задании. Техническое задание для проектирования

персонализированного изделия включает сведения об особенностях назначения и условий эксплуатации костюма, индивидуальных предпочтений, пожеланий и ожиданий заказчика, которые можно представить в виде схемы (Рисунок 6.29).



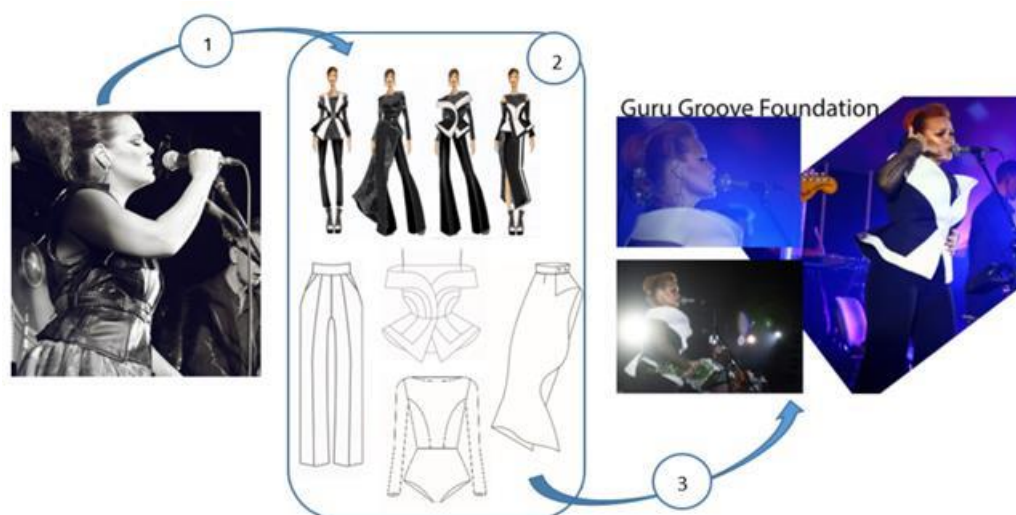
**Рисунок 6.29 - Формирование технического задания для сценического костюма**

Таким образом, процесс проектирования персонализированного изделия можно разделить на три основных блока (Рисунок 6.30):

- блок 1- получение исходной информации (формирование технического задания);
- блок 2 -проектирование (обработка полученной информации);
- блок 3 – оценка конечного результата.

При этом обязательным условием успешности процесса проектирования является соответствие (подобие) исходной информации (см. Рисунок 6.30, блок 1) и конечного результата (см. Рисунок 6.29, блок 3), реализация этого условия должна быть обеспечена на всех этапах разработки изделия (см. Рисунок 6.30, блок 2).





**Рисунок 6.30 – Блоки разработки персонифицированного сценического костюма**

Исходя из вышеизложенного, хотелось бы отметить перспективность развития и применения методов интеллектуализации для создания принципиально новых проектных и конструкторско-технологических решений, а также для разработки и совершенствования новаторских технологий, материалов, дизайна. В этом направлении особую значимость приобретает методология параметризации проектируемой одежды в качестве управления не только параметрами геометрического объекта сложной пространственной формы, но и в параметров реализуемой этим объектом функции (не в традиционном узком понимании функционального назначения изделия, а в более широком понимании параметрически регулируемого комплекса свойств изделия, позволяющего как существенно модифицировать характеристики проектируемого объекта, так и управлять параметрами технологий создания сырья, материалов и других технических систем, используемых для производства этого объекта). Таким образом, методология интеллектуализации, реализуемая средствами параметризации с помощью инструментов автоматизации в цифровой виртуальной среде, позволяет придавать проектируемым моделям одежды принципиально новые, ранее не присущие им свойства, и предлагать оригинальные конструкторско-технологические решения, которые в наибольшей степени будут отвечать явным, скрытым и перспективным потребностям общества.

## **ВЫВОДЫ ПО ШЕСТОЙ ГЛАВЕ**

1. Сформулировано определение интеллектуальной одежды, разработка которой является перспективным направлением проектирования швейных изделий, обладающих

повышенной функциональностью, отвечающих явным, скрытым и потенциальным потребностям общества, ориентированных на создание и развитие принципиально новых технологий, материалов и продуктов.

2. Предложен алгоритм проектирования принципиально новых проектных решений предметов одежды на основе описания функции объекта, потребности им удовлетворяемой и технического решения, интегрирующего достижения и возможности развития технологий, материалов, оборудования, дизайна.

3. Разработан метод проектирования изделий повышенной функциональности, включающий определение основных и дополнительных функций изделия на основе его назначения и потенциала технико-технологических ресурсов; выявление явных и скрытых предпочтений потребителей с использованием средств интеллектуализации; использование пополняемых баз знаний конструктивно-технологических решений и экспертных рекомендаций; установление совокупности параметрических характеристик изделия, варьированием которых регулируется соответствие показателей качества изделия предъявляемым требованиям.

4. Предложен способ изготовления предметов одежды с применением токопроводящих текстильных материалов, электропроводность которых можно регулировать изменением характера расположения и размера токопроводящих элементов в структуре ткани, а также плотностью покрытия токопроводящей краской, применимый для производства интеллектуальных текстильных сенсорных предметов для контроля за физиологическим состоянием человека и костюмов для защиты от электромагнитного излучения.

5. Разработан способ изготовления терморегулируемой одежды, определенные слои или зоны которой проектируются из материалов, инкорпорируемых микрокапсулами с изменяемым фазовым состоянием, чтобы обеспечить выделение тепла при снижении температуры пододёжного пространства и поглощения тепла в обратном случае путем варьирования совокупности параметров условий эксплуатации, физической активности потребителя, конструктивного решения одежды и особенностей синтеза материала.

6. Разработан способ изготовления спортивной релаксационной одежды, в конструкции которой используются детали, инкорпорируемые ароматизированными микрокапсулами, реагирующими на фрикционное или температурное воздействие путем выделения запланированного аромата, позволяющего уменьшить напряжение

центральной нервной системы человека и/ или оказывающего антимикробное воздействие, что осуществляется благодаря варьированию совокупности параметров структуры и состава материала, антроподинамических характеристик, психофизиологического состояния и режима физической активности потребителя, особенностей художественно-конструктивного решения одежды.

7. Разработан способ проектирования изделий, способных запрограммированно изменять и полностью восстанавливать свою внешнюю форму при термическом или электрическом воздействии путем заданного обратимого изменения длины, ширины, толщины или изгиба материала, для существенного улучшения эргономических, эстетических и защитных функций, реализованный при изготовлении кинетических декоративных элементов одежды и саморегулируемых термоизоляционных костюмов, мгновенно реагирующих изменением своих конструктивных параметров на изменение температуры окружающей среды.

8. Разработан способ проектирования предметов одежды, обладающих функцией управления другими объектами, реализованный с помощью интеграции в костюм специальных технических устройств, таких как элементы солнечных батарей, способные осуществлять подзарядку электронных устройств, или тактильные экраны, способные распознавать поступающие сигналы от внешней среды или тела потребителя, что предоставляет человеку персонифицированную возможность получения дополнительного функционального ресурса.

9. Предложен способ проектирования и аддитивного изготовления изделий сложной формы, отличающихся жесткой структурой, для создания декоративных и формозадающих элементов одежды, или подвижной структурой, образуемой варьированием элементов и формы её звеньев, для создания гибких поверхностей различных текстур и кривизны, реализация которого основана на обоснованном выборе технологии, оборудования и материалов для 3D печати.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной результат диссертационного исследования заключается в разработке и реализации научной концепции интеллектуализации процесса проектирования и изготовления одежды на основе методологии параметризации с помощью средств автоматизации и цифровизации. К основным выводам по работе можно отнести следующие:

1. Предложена и реализована научная концепция интеллектуального виртуального проектирования одежды, направленная на интенсификацию творческой деятельности и разработку высококонкурентных швейных изделий благодаря интеллектуальной технической поддержке, позволяющей аккумулировать наиболее успешные конструкторско-технологические решения и научно-технические достижения, создавать принципиально новые и оригинальные продукты, предугадывать явные, скрытые и перспективные ожидания потребителей и воплощать их в соответствующем функционале изделий.
2. Разработана обобщённая концептуальная модель интеллектуализации интегрированных САПР одежды, включающая модули процессов эскизирования, конфекционирования, конструирования и технологической подготовки производства с возможностью использования экспертных рекомендаций, интеллектуальной поддержки принятия решений, технологий искусственного интеллекта и интеллектуального анализа больших данных о предпочтениях разных групп потребителей, аккумулируемых в соответствующих подмодулях системы.
3. Разработана методология трехмерного параметрического проектирования пространственной формы одежды и её двухмерной развёртки на основе единой системы взаимосвязанных параметров, включая размерные признаки фигуры, конструктивные прибавки, проекционные зазоры и другие конструктивные параметры, изменение любого из которых ведёт к изменению всех взаимосвязанных параметров, что одновременно отражается на построении и виртуальной визуализации графических изображений моделей фигуры человека и надетого на неё изделия.
4. Разработана иерархическая структура информационных потоков, обеспечивающих цифровое описание проектируемого изделия в процессе его преобразования от формирования технического задания на этапе ввода исходной информации до создания



технического решения и формирования полного цифрового пакета документов для изготовления изделия.

5. Систематизирована исходная антропометрическая информация для 3D параметризации данных о пространственном расположении информативных точек фигуры и разработки интерактивной параметрической модели описания поверхности женских и мужских фигур, позволяющей редактировать размерные признаки, задавать характеристики фигуры потребителя и визуализировать её внешнюю форму.

6. Разработан инструментарий распознавания параметрических характеристик художественного и технического эскизов одежды, включающий эталонную масштабную сетку, систему коэффициентов преобразования значений проекционных зазоров между поверхностями фигуры человека и изделия в конструктивные параметры, направленный на формализацию информации, заданной в творческом виде, для последующей алгоритмизации построения конструкции одежды.

7. Разработана математическая модель описания пространственной формы одежды на основе параметрической модели фигуры человека и значений параметров проекционных зазоров между поверхностями фигуры и надетого на неё изделия, для расчета которых использована информация о значениях и распределении конструктивных прибавок и математические зависимости их преобразования в проекционные зазоры.

8. Разработан инструментарий распознавания структурных характеристик проектируемого изделия в виде набора базовых графических элементов, отображающих его геометрическую форму и способ формообразования, для создания множества вариантов графических решений моделей одежды.

9. Разработан метод параметрического моделирования одежды сложных форм на основе использования визуализации трехмерных графических прототипов базовой формы изделий, имеющих однозначно установленные исходные параметры и определяющих расположение проектируемых изделий относительно выбранных фигур.

10. Разработаны математические модели, описывающие зависимость внешней формы одежды от различных факторов, основанные на выявлении параметров, однозначно определяющих как проектируемую форму, так и характер воздействия на неё, адекватность которых экспериментально проверена путём сопоставления натуральных и виртуальных образцов, созданных с помощью предложенного математического инструментария.

11. Разработаны средства интеллектуальной поддержки конструктивного моделирования одежды, включая экспертные рекомендации пользователю для выбора значений отдельных параметров по умолчанию», базы данных формообразующих параметров различных материалов, базу визуальных и метрических данных поверхностей сложной конфигурации, таких как складчатые, что позволяет повысить эффективность и качество проектных работ.

12. Предложен алгоритм проектирования принципиально новых проектных решений предметов одежды на основе описания функции объекта, потребности им удовлетворяемой и технического решения, интегрирующего достижения и возможности развития технологий, материалов, оборудования, дизайна.

13. Предложены способы изготовления сенсорных предметов одежды с токопроводящими элементами; терморегулируемой одежды; спортивной релаксационной одежды; изделий, способных запрограммированно изменять и полностью восстанавливать свою внешнюю форму при термическом или электрическом воздействии; предметов одежды, обладающих функций управления другими объектами, разработка которых основана на комплексном управлении параметрами функционального назначения и технологии изготовления изделий.

14. Предложен способ проектирования и аддитивного изготовления изделий сложной формы, отличающихся как жесткой структурой для создания формозадающих элементов одежды, так и подвижной структурой для создания гибких поверхностей различных текстур и кривизны, реализуемого путём обоснованного выбора технологии, оборудования и материалов для 3D печати.

15. Разработана интегрированная САПР одежды, включающая программные модули виртуального эскизного, конструктивного и технологического проектирования, позволяющая формировать рабочую документацию для изготовления изделий на основе их цифрового описания, внедрение которой в швейную промышленность 17 регионов России и Белоруссии позволило получить экономический эффект более 100 млн. руб. за счет сокращения затрат времени на подготовку проектной конструкторско-технологической документации на новые модели и ускорения запуска в производство промышленных коллекций одежды.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- БД - база данных
- БК - базовая конструкция проектируемого изделия
- БФ - базовая форма проектируемого изделия
- БЭ - базовые элементы технического эскиза
- ГФ - геометрическая (силуэтная) форма изделия
- ДР - дополнительные рельефные линии передней и задней поверхности фигуры
- ДЭ – декоративный элемент изделия
- ИСППР - интеллектуальные системы поддержки принятия решений
- ИМ – информационный массив
- КДЭ - конструктивно-декоративный элемент
- КМ - конструктивное моделирование одежды
- КЭ - конструктивные элементы технического эскиза
- МФ - модельная форма проектируемого изделия
- ОБ - обхват бедер
- ОГЗ - обхват груди третий
- Оп - обхват плеча
- Пт - конструктивная прибавка к обхвату талии
- Пб - конструктивная прибавка к обхвату бедер
- ПгЗ - конструктивная прибавка к обхвату груди третьему
- Поп - конструктивная прибавка к обхвату плеча
- ПСi - поперечные сечения торса фигуры
- Пспр – прибавка на свободу проймы
- Пцг - конструктивная прибавка к расстояниям между центрами груди
- Пшп - конструктивная прибавка к ширине переда
- Пшпр - конструктивная прибавка к ширине проймы
- Пшс - конструктивная прибавка к ширине спинки
- Пм1б - конструктивная прибавка к расстояниям между центрами лопаток
- Р - рост человека
- РП - размерные признаки фигуры человека
- САПР - система автоматизированного проектирования
- СГ2 - полуобхват груди второй
- СБ – полуобхват бедер
- СУБД - система управления базами данных
- ТЗ - топографические зоны поверхности фигуры
- ТФ - топографические фрагменты поверхности фигуры
- ФА - фрагменты вертикальных рельефных линий фигуры
- ФА d - фрагменты вертикальных рельефных линий изделия
- ФДЭ - функционально-декоративный элемент изделия
- ФОЭ - функционально-отделочные элементы технического эскиза
- ШИ – швейное изделие
- Шизб – ширина изделия по линии бедер

- Шизг – ширина изделия по линии груди
- Шизт – ширина изделия по линии талии
- Шс - ширина спины
- AI (Artificial Intelligence) - методы искусственного интеллекта
- AR - технологии дополненной реальности
- const - постоянный параметр
- ChRP - система характеристик описания готового изделия
- DM (Data Mining) - технология интеллектуального анализа данных
- DSS (Decision Support Systems) - система поддержки принятия решений
- h - высота/ расстояние от нулевой горизонтали до информативной точки фигуры человека
- H<sub>i</sub> - высота/ расстояние от нулевой горизонтали до информативной точки изделия
- h<sub>ди</sub> - длина изделия
- KDD (Knowledge Discovery in Databases) - технология выявления знаний в базах данных
- m - расстояние от сагиттальной плоскости до информативной точки на поверхности спины, не лежащей на контуре спины на виде сбоку
- M<sub>i</sub> - расстояние от сагиттальной плоскости до информативной точки на задней поверхности изделия, не лежащей на заднем контуре спины на виде сбоку
- OLAP (On-Line Analytical Processing) - технология оперативной аналитической обработки данных
- R<sub>хп</sub> - система параметров, описывающих изделие на этапе художественного проектирования
- R<sub>кп</sub> - система параметров, описывающих изделие на этапе конструктивного проектирования
- р<sub>i</sub> - проекционный зазор
- r<sub>пз</sub> - расстояние от фронтальной плоскости до информативной точки фигуры человека
- R<sub>пзи</sub> - расстояние от фронтальной плоскости до информативной точки изделия
- r<sub>поп</sub> - расстояние от сагиттальной плоскости расстояние от сагиттальной плоскости до до информативной точки фигуры человека
- R<sub>попи</sub> - расстояние от сагиттальной плоскости расстояние от сагиттальной плоскости до информативной точки изделия
- Var - изменяющийся параметр информационных точек изделия в пространстве
- VR - технологии виртуальной реальности
- 3Ди - параметры трехмерной формы изделия
- 3Дф - параметры трехмерной формы фигуры человека

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Нормативно-правовые акты*

1. Федеральный закон РФ «О промышленной политике в Российской Федерации» N 488-ФЗ от 31 декабря 2014 г. (с изм. и доп. от 2 августа 2019 г.)
2. Паспорт национального проекта «Цифровая экономика Российской Федерации»/ утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам от 4 июня 2019 г. N 7.
3. Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2024 года и на период до 2035 года/ утв. Распоряжением Правительства РФ от 6 июня 2020 г. N 1512-р.
4. ГОСТ 11209-2014 Ткани для специальной одежды. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2015. -14 с.
5. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. - М.: Стандартинформ, 2006. - 3 с.
6. ГОСТ 23167-91 Фигуры военнослужащих типовые. Размерные признаки для проектирования военной одежды. – М.: Стандартинформ, 1992. -364 с.
7. ГОСТ Р ИСО 11079-2015 Эргономика термальной среды. Определение холодового стресса и его интерпретация на основе показателей требуемой термоизоляции одежды и локального охлаждающего воздействия. - М.: Стандартинформ, 2016.- 35 с.
8. МУК 4.3.677-97 Определение уровней электромагнитных полей на рабочих местах персонала радиопредприятий, технические средства которых работают в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах: Методические указания Минздрава РФ. – М.: Интерсэн, 1998. – 23 с.

### *Книги, монографии, учебные пособия*

9. *Алексеев Г.В., Жарикова Н.Б.* Основы теории решения изобретательских задач. - СПб.: СПбГУНиПТ, 2004. - 205 с.
10. *Андреева Е.Г., Петросова И.А.* Методология оценки качества проектных решений одежды в виртуальной трехмерной среде. - М.: МГУДТ, 2015. - 131 с.
11. *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 рег. № 01201270764, 2012. - 195 с.
12. *Андреева Е.Г., Петросова И.А., Чупикин Д.А., Гетманцева В.В., Бояров М.С.* Разработка систем автоматизированного проектирования конкурентоспособных текстильных изделий// Отчет о НИОКР по Госконтракту Минпромторга РФ рег. №01201163900, 2011. – 205 с.
13. *Башмаков А.И., Башмаков И.А.* Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пос. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 302 с.
14. *Бровкова М.Б.* Интеллектуализация автоматизированного машиностроительного производства. - Саратов: СГТУ, 2004. - 75 с.
15. *Валькман Ю.Р., Суворов А.И.* Проблемы интеллектуализации информационных технологий научных исследований сложных объектов: Метод. реком. - Киев: Знание, 1990. - 14с.
16. *Волкова Г.Д.* Методология автоматизации интеллектуального труда. - М.: Янус-К, 2013. - 104 с.
17. *Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И.* Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы. - СПб.: Высшая школа менеджмента, 2008. - 488 с.

18. *Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.* Базы знаний интеллектуальных систем. - СПб.: Питер, 2000. - 384 с.
19. *Головицына М.В.* Интеллектуальные САПР для разработки современных конструкций и технологических процессов. - М.: ИНТУИТ, 2016. - 250 с.
20. *Горбатов В.А., Огиренко А.Г., Смирнов М.И.* Искусственный интеллект в САПР: учеб. пос. - М.: МГГУ, 1994. - 183 с.
21. *Горин Ю.В., Голубовский В.В., Нелюдов А.Д.* Основы теории решения изобретательских задач: учебник. - Пенза: ПензГТУ, 2015. - 117 с.
22. *Городецкий А.Е., Дубаренко В.В., Тарасова И.Л.* Интеллектуальные средства автоматизированного проектирования и производства. - СПб.: СПбГТУ, 1999. - 85 с.
23. *Джонс Дж.К.* Методы проектирования/ пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 386 с.
24. *Добряков А.А.* Методы интеллектуализации САПР: Обеспечение творческих форм деятельности в САПР силовых конструкций: Учебник. - М.: Наука, 1992. - 286 с.
25. *Дорохов И.Н., Меньшиков В.В.* Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химико-технологических процессов и производств. - М.: Наука, 2005. - 584 с.
26. *Дрейзин В.Э., Захаров И.С.* Основы научных исследований и инженерного творчества. Кн.4: Анализ технических объектов и решений, методы интенсификации инженерного творчества. - Курск: КГТУ, 2005. - 258 с.
27. *Евменов В.П.* Интеллектуальные системы управления. - М.: URSS, 2009. - 300 с.
28. *Евсюков В.Н., Евсюков В.Н., Килов А.С.* Основы изобретательского творчества. - Оренбург: ОГУ, 2009. - 275 с.
29. *Ездаков А.Л.* Экспертные системы САПР: учеб. пос. - М.: Форум, 2009. - 159 с.
30. *Ивахненко А.Г., Лана В.Г.* Кибернетические предсказывающие устройства. - Киев: Наукова думка, 1965. - 213 с.
31. Интеллектуализация сложных систем. Язык схем радикалов: методы и алгоритмы/ *Архипкин А.С.* и др.; под ред. *А.В. Чечкина.* - М.: Радиотехника, 2008. - 96 с.
32. *Кондусов А.Д., Лютахин Ю.И.* Основы инженерного творчества. - Самара: СГТУ, 2009. - 82 с.
33. *Королев Е.Н.* Интеллектуализация построения объектно-ориентированных распределенных обучающих систем. - Воронеж: ВГТУ, 2006. - 135 с.
34. *Королева Л.А.* Интеллектуализация процесса автоматизированного проектирования одежды. - Владивосток: Дальнаука, 2011. - 195 с.
35. *Крысова И.В.* Интеллектуальные САПР: учеб. пос. - Омск : Изд-во ОмГТУ, 2014. - 95 с.
36. *Кудрявцев А.В.* Методы интуитивного поиска технических решений. - М.: Метод, 1992. - 111 с.
37. *Кудрявцев А.В.* Обзор методов создания новых технических решений: Конспект лекций. - М.: ВНИИПИ, 1989. - 52 с.
38. *Мартынова А.И., Андреева Е.Г.* Конструктивное моделирование одежды: Учеб. пос. - М.: МГАЛП, 2006. - 216 с.
39. *Машкин М.Н., Романов О.Т.* САПР и интеллектуальные системы: Лекции. - М.: Поток, 2000. - 121 с.
40. *Михайлов В.А., Горев П.М., Утёмов В.В.* Научное творчество: методы конструирования новых идей на основе ТРИЗ. - М.: URSS, 2016. - 141 с.
41. *Муштаев В.И., Токарев В.Е.* Основы инженерного творчества. - М.: Дрофа, 2005. - 254 с.

42. *Мюллер И.* Эвристические методы в инженерных разработках/ пер. с нем. - М.: Радио и связь, 1984. - 144 с.
43. *Паринов А.В., Федорков Е.Д.* Интеллектуальные подсистемы САПР: учеб. пос. - Воронеж: Воронеж.ГТУ, 2007. - 118 с.
44. *Петров В.М.* Основы теории решения изобретательских задач - ТРИЗ. - М.: МЭСИ, 2014. - 280 с.
45. *Петросова И.А. Андреева Е.Г.* Разработка технологии трехмерного сканирования для проектирования виртуальных манекенов фигуры человека и 3D моделей одежды. - М.: МГУДТ, 2015.-181 с.
46. *Половинкин А.И.* Основы инженерного творчества: Учеб. пос. - СПб.: Лань, 2007. - 360 с.
47. Прикладные интеллектуальные системы, основанные на мягких вычислениях/ *М.С. Азов* и др.; под ред. *Н.Г. Ярушкиной.* - Ульяновск: УлГТУ, 2005. - 138 с.
48. Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологического проектирования производства электронной аппаратуры/ *Григорьев В.П., Камышина Э.Н., Нестеров Ю.И., Никитин С.А.* - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. - 47 с.
49. *Романов О.Т., Машкин М.Н.* Интеллектуализация систем автоматизированного проектирования автоматизированных систем обработки информации летательных аппаратов. - М.: Изд-во МАИ, 2014. - 159 с.
50. *Столяров А.М.* Эвристические приемы и методы активизации творческого мышления: Учеб. пос./ под ред. *А.В. Зимина.* - М.: ВНИИПИ, 1988. - 80 с.
51. *Суворов В.В.* Интеллект и креативность в постнеклассической науке. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. - 374 с.
52. Техническое творчество: теория, методология, практика: Энцикл. словарь-справочник/ под ред. *А.И. Половинкина, В.В. Попова.* - М.: Информ-система, 2002. - 410 с.
53. *Ханна Т.* Восстание тел. Основы соматического мышления. – М.: Центр гуманитарных инициатив, 2016. - 280 с.
54. *Шестопал Ю.Т., Моисеев В.Б., Дорофеев В.Д.* Основы интеллектуальных САПР технологии. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1995. - 241 с.

### *Диссертации, авторефераты*

55. *Аль-шайх Х.* Исследования и разработка автоматизированной подсистемы параметризации конструкторских чертежей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12/ СПбГЭИ (ЛЭТИ). - СПб., 2012. - 146 с.
56. *Барков И.А.* Моделирование конструкторской семантики в интеллектуальных САПР: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.12, 05.13.18/ Ижев.ГТУ. - Ижевск, 2007. – 446 с.
57. *Беляев А.В.* Прогнозирование твердости сварных соединений деталей машин на основе параметризации структур: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.09/ Кам. гос. инженер.-эконом. акад. - Казань, 2011. - 130 с.
58. *Березняцкий А.В.* Интеллектуализация конструирования информационных систем на базе адаптивных агентных моделей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11. - Томск, 2004. - 148 с.
59. *Бескорвайная Г.П.* Научные основы проектирования гармоничной и композиционно-целостной одежды: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.04/ МГУС, М., 2004.- 413 с.

60. *Бетелин А.Б.* Исследование и реализация методов и алгоритмов параметризации двумерных геометрических объектов в машиностроительных САПР: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. - М., 1990. - 154 с.
61. *Бояров М.С.* Разработка метода параметрического проектирования пространственной формы мужских плечевых изделий: дис.. канд. техн. наук: 05.19.04. М.: МГУДТ, 2013. - 153 с.
62. *Варшавский П.Р.* Методы и программные средства поиска решения на основе аналогий в интеллектуальных системах поддержки принятия решений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11/ МЭИ. - М., 2005. - 20 с.
63. *Власов М.Ю.* Параметризация инфографических моделей в автоматизированном документировании инженерных объектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. - М., 1994. - 151 с.
64. *Волков В.Я.* Теория параметризации и моделирования геометрических объемов многомерных пространств и ее приложения: дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01. - Омск, 1982. - 292 с.
65. *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.
66. *Гетманцева В.В.* Разработка методов интеллектуализации процесса автоматизированного проектирования женской одежды: дис. ... канд.техн.наук: 05.19.04/ МГУДТ, М., 2006. – 244 с.
67. *Гречин И.В.* Разработка экспертной системы на основе эволюционных методов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12: Таганрог, 2003. - 200 с.
68. *Гусев С.А.* Теоретические и методологические основы формирования концепции интеллектуализации управления функционированием логистических систем: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05/ СГТУ им. Ю.А. Гагарина, Саратов, 2013. - 37 с.
69. *Гусева М.А.* Совершенствование метода трёхмерного проектирования элементов конструкции плечевой одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, М., 2007. – 238 с.
70. *Добренко Н.В.* Методы и алгоритмы интеллектуализации проектирования технических систем посредством тематической сегментации текстов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06/ СПбНИУИТМО. - СПб., 2018. - 130 с.
71. *Дьяченко Д.Е.* Интеллектуализация экспертно-диагностического процесса на основе нейросетевого моделирования и нечеткой логики: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. - Воронеж, 2004. - 125 с.
72. *Ермаков Е.С.* Принципы многоуровневой параметризации при формировании объектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. - Н. Новгород, 2007. - 170 с.
73. *Ершов А.А.* Модель и методы интеллектуализации разработки АСУ для сложных производственно-технических систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01/ СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, СПб., 2013.- 148 с.
74. *Жебрун Н.Н.* Интеллектуализация управления бизнес-процессами предприятия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01/ Владимир. гос. ун-т. - Владимир, 2007. - 19 с.
75. *Запорожец Д.Ю.* Разработка и исследование подсистемы биоинспирированного поиска оптимальных решений в САПР: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12/ Юж. федер. ун-т. - Таганрог, 2015. - 16 с.
76. *Захарова Г.Б.* Интеллектуализация средств логико-компилятивного проектирования РЭА: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12/ Урал. политехн. ин-т. - Екатеринбург, 1993. - 18 с.



77. *Зыкина А.В.* Параметризация и обратная дополнителность в моделировании и решении оптимизационных задач: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 05.13.18/ Челяб. гос. ун-т. - Омск, 2007. - 296 с.
78. *Ивакин Я.А.* Методы интеллектуализации промышленных геоинформационных систем на основе онтологий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06/ СПбГЭУ "ЛЭТИ". - СПб., 2009. – 40 с.
79. *Казанский Д.С.* Разработка интеллектуальной графической подсистемы САПР технологических процессов ковки ступенчатых валов на молотах: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. - Екатеринбург, 2007. - 126 с.
80. *Калякулин С.Ю.* Система автоматизированной конструкторско-технологической параметризации процессов изготовления деталей типа тел вращения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06/ Моск. ГТУ "Станкин". - М., 2016. – 185 с.
81. *Карпов Е.В.* Адаптация и интеллектуализация компонентов математического и программного обеспечения конструкторских САПР микроэлектронных устройств: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12/ Воронеж. политехн. ин-т. - Воронеж, 1993. - 17 с.
82. *Киселева М.В.* Разработка параметрического метода 3–D моделирования женских поясных изделий: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, Москва, 2011. – 232 с.
83. *Кисель Е.Б.* Моделирование оценки и выбора средств интеллектуализации для принятия решений в системах управления НИР: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13/ Акад. управления им. Серго Орджоникидзе. - М., 1993. - 21 с.
84. *Козырев М.А.* Автоматизация проектирования систем интеллектуального анализа данных: В сфере энергетики и регионального управления: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12, 05.13.01. - Иваново, 2004. - 212 с.
85. *Курьшева В.Н.* Разработка эмпирического метода одевания трехмерной поверхности тканью: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04. - М., МГУДТ, 2006. - 214 с.
86. *Ландовский В.В.* Моделирование процесса сборки трехмерных изделий из плоских заготовок: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. Новосибирск, 2007. - 117 с.
87. *Линник Ю.В.* Разработка метода трехмерного проектирования сопряжения сложных поверхностей плечевой одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, М., 2008. – 199 с.
88. *Максимова М.Т.* Разработка метода гибкой параметризации конструкции одежды, проектируемой в 2D САПР: дис. канд. техн. наук: 05.19.04 / МГУДТ, М., 2011. – 172 с.
89. *Малыхина Г.Ф.* Разработка методов и средств интеллектуализации измерения в задачах определения свойств технических объектов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.16/ СПбГТУ. - СПб., 1996. - 30 с.
90. *Петровский М.И.* Исследование и разработка алгоритмов поиска исключений в системах интеллектуального анализа данных: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. - М., 2003. - 145 с.
91. *Подшивалова А.В.* Совершенствование автоматизированного проектирования одежды на основе интеллектуализации процесса конфекционирования материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ ВГУЭС. - Владивосток, 2011.- 20 с.
92. *Раздомахин Н.Н.* Теоретические основы и методическое обеспечение трехмерного проектирования одежды: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.04/ СПГУТД, СПб, 2004. – 364 с.
93. *Рогожин А.Ю.* Разработка методов проектирования швейных изделий в системе САПР: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04. – М., 1985. - 188 с.

94. *Сильчева Л.В.* Совершенствование технологии проектирования конструкций одежды на начальных стадиях проектных работ: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУС, М., 2006. - 265 с.
95. *Синицына А.С.* Разработка методов параметризации контейнерных терминалов на основе принципов логистики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08/ МГУПС. - М., 2001. - 24 с.
96. *Снигур О.В.* Параметризация технологии контрейлерных перевозок внешнеторговых грузов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08/ МГУПС. - М., 2006. - 24 с.
97. *Струневич Е.Ю.* Разработка метода преобразования творческого эскиза в модельную конструкцию при автоматизированном проектировании женской одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ МГУДТ, М., 2008.- 240 с.
98. *Таран А.Н.* Формализация способа выполнения адаптационного анализа женской одежды: дис. ... канд. техн. наук/ 05.19.04. - М., 2004. - 340 с.
99. *Требухин А.Г.* Интеллектуальная САПР схем автоматизации с развивающейся базой знаний: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12/ Тверь.ГТУ. - Тверь, 2013. - 243 с.
100. *Уланов А.С.* Интеллектуализация информационного обеспечения САПР РЭУ на основе мировых сетей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. - М., 2005. - 16 с.
101. *Умнова С.Г.* Исследование задачи структуризации и параметризации АСПР: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13. - М., 1984. - 179 с.
102. *Филинова Н.Г.* Разработка методов автоматизированного проектирования конструктивно-декоративных элементов одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ М., МГУДТ, 2013. -186 с.
103. *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.
104. *Харин В.В.* Разработка метода синтеза и параметризации трехмерных геометрических моделей в концептуальном дизайне: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. - Ижевск, 2005. - 159 с.
105. *Хлопкова О.А.* Методы и алгоритмы интеллектуализации принятия решений в условиях неопределенности на базе аппарата нейронных сетей и эволюционного моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17/ МГУП им. Ивана Федорова. - М., 2016. - 18 с.
106. *Цыканова М.А.* Разработка метода синтеза эвристических приемов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12/ ВГТУ, Волгоград, 2013.- 273 с.
107. *Частикова В.А.* Оптимизация процессов поиска решений в интеллектуальных системах обработки экспертной информации на основе генетических алгоритмов: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01: Краснодар, 2005. - 186 с.
108. *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, М., 2008.- 229 с.
109. *Черняева А.А.* Разработка метода комплексного проектирования силуэтной формы женской одежды: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04/ М., МГУДТ, 2013. - 263 с.
110. *Яцюк О.Г.* Мультимедийные технологии в проектной культуре дизайна: гуманитарный аспект: дис. ... д-ра иск.: 17.00.06/ ВНИИТЭ. - М., 2008.- 444 с.

*Российская периодическая литература*

111. *Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Петросова И.А., Белгородский В.С., Трухачев В.И.* Особенности виртуального проектирования одежды на основе универсальной и специализированной среды ELEANDR CAD// *Текстильная и лёгкая промышленность.* – 2019, №2-3. – С.14-16.
112. *Батищев С.В., Искварина Т.В., Скобелев П.О.* Методы и средства построения онтологий для интеллектуализации сети Интернет// *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* - 2002, Т.4, №1. - С.91-103.
113. *Боргест Н.М., Коровин М.Д., Спирина М.О.* Подход к параметризации трехмерных моделей для решения задач автоматизации предварительного проектирования самолета// *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем.* - 2015, №5. - С.421-424.
114. *Бузов Б.А., Жихарев А.П., Мишаков В.Ю., Белгородский В.С., Баранов В.Д.* Наноматериалы и их применение в производстве антимикробных материалов на волокнистых носителях// *Швейная промышленность.* - 2007, №3. - С.35-36.
115. *Гетманцева В.В., Андреева Е.Г.* Обобщенная модель процесса параметрического проектирования одежды// В сб. науч. трудов Междунар. науч.-техн. симпозиума «Современные задачи инженерных наук». - М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. - С.86-90.
116. *Дозорцев В.М.* О термине «интеллектуализация» в применении к средствам и системам управления ТП// *Автоматизация в промышленности.* - 2006, №6. - С.8-9.
117. *Едовина Т., Тишина Ю.* Искусственному интеллекту ищут законное место: Минэкономики пересчитало правовые барьеры для его внедрения// *Газета "Коммерсантъ"* №127 от 21.07.2020. - С.2.
118. *Ермин Д.А., Сурженко Е.Я.* Восприятие изображений российского военного костюма: концепция семантических слоев// *Дизайн. Материалы. Технология.* - 2015, №3 (38). - С.79-84.
119. *Ермин Д.А., Сурженко Е.Я.* Исследование возможностей оптико-компьютерных технологий для регистрации параметров восприятия изображений российского военного костюма// *Известия вузов. Технология легкой промышленности.* - 2011, Т.13, №3. - С.92-95.
120. *Корнилова Н.Л., Игнатьев К.Б., Никифорова Е.Н., Новикова А.П.* FashionNet - новая концепция развития индустрии моды// *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* - 2017, №6 (372). - С.190-194.
121. *Корнилова Н.Л., Салкуцан С.В., Болсуновская М.В., Горелова А.Е., Васильев Д.А.* PLM-систем для создания цифровых фабрик в швейной промышленности// *Известия вузов. Технология текстильной промышленности.* - 2018, №4 (376). - С.103-106.
122. *Королева Л.А., Подшивалова А.В., Номоконова Н.Н.* О концепции интегрированной САПР одежды на основе принципов интеллектуализации// *Швейная промышленность.* - 2012, №4. - С.45-48.
123. *Масленников Е.В.* Принципы формирования концептуальной модели предмета исследования в методологическом контексте социологического измерения// *Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология.* - 2011, №3. - С.116-133.
124. *Москвина М.А., Кильдячкова Е.С., Москвин А.Ю., Сурженко Е.Я.* Виртуальная реконструкция формообразующих изделий поясной одежды 1950-х гг.// *Известия вузов. Технология легкой промышленности.* - 2019, Т.44, №2. - С.40-46.
125. *Оболенская Г.Д., Андреева Е.Г., Борисов Е.А.* Роль технологических САПР в швейной промышленности// *Швейная промышленность.* – 2005, № 2. -С.34-37.

126. *Пэн С., Кузьмичев В.Е.* Применение технологии eye-tracking для разработки критериев посадки одежды на фигуре// Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). - 2020, №1. - С.667-671.
127. *Пэн С., Кузьмичев В.Е.* Прогнозирование качества посадки одежды на виртуальных двойниках женских фигур// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2019, №4 (382). - С.121-127.
128. *Раздомахин Н.Н., Сурженко Е.Я.* Параметры формообразования фигуры человека в технологии трехмерного проектирования одежды// Швейная промышленность. - 2007, №4. - С.57-58.
129. *Семенов Н.А., Бурдо Г.Б., Исаев А.А.* Интеллектуальные процедуры проектирования технологических процессов в интегрированных САПР// Программные продукты и системы. - 2014, №1. - С.60-64.
130. *Сильченко Е.В., Николаев С.Д.* Новая ткань для защиты человека от воздействия электромагнитных полей // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2015, № 6 (360). - С. 59-64.
131. *Сурженко Е.Я., Москвина М.А.* Проектирование одежды на основе силуэтных форм прототипов в среде 3D САПР// Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 2016, Т.32, №2. - С.27-32.
132. *Телегина С.В., Оболенская Г.Д.* Интеллектуальная система технологического проектирования швейного изделия// Дизайн и технологии. - 2010, №15 (57). - С.64-68.
133. *Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г.* Исследование ароматической отделки текстильных материалов для проектирования спортивных изделий на их основе// Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). - 2018, №1-1. - С.232-236.
134. *Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С.* Исследование проводимости контактных дорожек для проектирования гибких печатных плат на текстильной основе// Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 2019, Т.44, №3. - С.25-28.
135. *Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С.* О влиянии компрессионных изделий спортивного назначения на состояние человека// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2018, №6(378) - С.131-140.
136. *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.
137. *Цогоев И.Х., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Голованов Д.Н., Тюрин И.Н., Белгородский В.С.* Токопроводящие контактные дорожки для проектирования умной одежды с биометрическими функциями// Костюмология. - 2019, Т.4, №4. - С.7.
138. *Черунова И.В., Стефанова Е.Б., Таипулатов С.Ш.* Техническое обеспечение исследований разрывных характеристик охлажденных текстильных материалов для одежды// Костюмология. - 2020, Т.5, №1. - С.19.
139. *Ярушкина Н.Г.* Интеллектуализация автоматизированного проектирования сложных технических систем в условиях неопределенности// Автоматизация процессов управления. - 2011, №1 (23). - С.13-19.

*Зарубежные книги и статьи*

140. *Acharya A., Singh S.K., Pereira V., Singh P.* Big data, knowledge co-creation and decision making in fashion industry// *International Journal of Information Management*. - 2018, Vol.42, No.5. - P.90-101.
141. *Achilli A., Bonfiglio A., Pani D.* Design and characterization of screen-printed textile electrodes for ECG monitoring// *IEEE Sensors Atalay Journal*. - 2018, Vol.18, Is.10. - P.4097-4107.
142. *Aksoy A., Öztürk N.* Design of an intelligent decision support system for global outsourcing decisions in the apparel industry// *Journal of the Textile Institute*. - 2016, Vol.107, Is.10. - P.1-14.
143. *Aksoy A., Ozturk N., Sucky E.* A decision support system for demand forecasting in the clothing industry// *International Journal of Clothing Science and Technology*. - 2012, Vol.24, No.4. - P.221-236.
144. *Alay S., Alkan C., Göde F.* Steady-state thermal comfort properties of fabrics incorporated with microencapsulated phase change materials// *The Journal of The Textile Institute*. - 2012, Vol.103, Is.7.- P.757-765.
145. *Almond K.* Insufficient allure: The luxurious art and cost of creative pattern cutting// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2010, Vol.3, Is.1. - P.15-24.
146. *Anderson L.J., Warfield C., Barry M., Emery C.* Toward a national model of an electronic decision support system for domestic sourcing of textiles and apparel// *Clothing & Textiles Research Journal*. - 1997, Vol.15, No.2. - P.65-75.
147. *Applin S.* Amazon's Echo Look: Harnessing the power of machine learning or subtle exploitation of human vulnerability?// *IEEE Consumer Electronics Magazine*. - 2017, Vol.6, Is.4. - P.125-127.
148. *Ariyatun B., Holland R., Harrison D., Kazi T.* The future design direction of Smart Clothing development// *The Journal of The Textile Institute*. - 2005, Vol.96, Is.4. - P.199-210.
149. *Atalay O., Tuncay A., Husain M.D., Kennon W.R.* Comparative study of the weft-knitted strain sensors// *Journal of Industrial Textiles*. - 2017, Vol.46, Is.5. - P.1212-1240.
150. *Atalay O.* Textile-based, interdigital, capacitive, soft-strain sensor for wearable applications// *Materials*. - 2018, Vol.11, Is.5. - P.768.
151. *Baima M., Andrew T.L.* Fluoropolymer-wrapped conductive threads for textile touch sensors operating via the triboelectric effect// *Fibers*. - 2018, Vol.6, Is.2. - P.41.
152. *Baltušnikaitė J., Valasevičiūtė L., Sankauskaitė A., Dubinskaitė K.* Investigation of thermo-regulating properties of multilayer textile package// *Medžiagotyra*. - 2015, Vol.21, No.3.- P.419-424.
153. *Barabáš J., Balogová L., Gala M., Babusiak B.* Conductive paths and influence of their interconnection on transmission of electric signal in smart clothing// *Vlakna a Textil*. - 2017, Vol.24, No.4. - P.9-14.
154. *Bartkowiak G., Dabrowska A., Marszałek A.* Analysis of thermoregulation properties of PCM garments on the basis of ergonomic tests// *Textile Research Journal*. - 2013, Vol.83, Is.2. - P.148-159.
155. *Bashir T., Ali M., Persson N.K., Ramamoorthy S.K., Skrifvars M.* Stretch sensing properties of conductive knitted structures of pedot-coated viscose and polyester yarns// *Textile Research Journal*. - 2013, Vol.84, Is.3. - P.323-334.

156. *Beckmann L., Neuhaus C., Medrano G., Jungbecker N., Walter M., Gries T., Leonhardt S.* Characterization of textile electrodes and conductors using standardized measurements setups// *Physiological Measurement*. - 2010, Vol.31, Is.2. - P.233-247.
157. *Beliard S., Chauveau M., Moscatiello T., Cros F., Ecartot F., Becker F.* Compression garments and exercise: no influence of pressure applied/ // *Journal of Sports Science & Medicine*. - 2015, Vol.14, Is.1.- P.75-83.
158. *Bhatkhande P.S.* Development of thermo-regulating fabric using phase change material (PCM)// *Theses PhD, Eastern Michigan University*, 2011.- 55 p.
159. *Born D.-P., Sperlich B., Holmberg H.-C.* Bringing light into the dark: Effects of compression clothing on performance and recovery// *International Journal of Sports Physiology and Performance*.- 2013, Vol.8, Is.1.- P.4-18.
160. *Boussu F., Bailleul G., Petitniot J., Vinchon H.* Development of shape memory alloy fabrics for composite structures// *Autex Research Journal*. - 2002, Vol.2, No.1. - P.1-7.
161. *Brito P.Q, Soares C., Almeida S., Monte A., Byvoet M.* Customer segmentation in a large database of an online customized fashion business// *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. - 2015, Vol.36. - P.93-100.
162. *Carpí F., De Rossi D.* Electroactive polymer-based devices for e-textiles in biomedicine// *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. – 2005, Vol.9, Is.3. – P.295-318.
163. *Castano L.M., Flatau A.* Smart fabric sensors and e-textile technologies: A review// *Smart Materials and Structures*. - 2014, Vol.23, Is.5. - P.053001.
164. *Catrysse M., Puersa R., Hertleer C., Van Langenhove L., Van Egmondc H., Matthys D.* Towards the integration of textile sensors in a wireless monitoring suit// *Sensors and Actuators A: Physical*. – 2004, Vol.114, No.2-3. – P.302-311.
165. *Chan Y.* Investigating smart textiles based on shape memory materials// *Textile Research Journal*. - 2007, Vol.77, Is.5. - P.290-300.
166. *Chen C.-H.* The expression of active atructural Network in intellectual environment design// *Procedia Engineering*. - 2012, Vol.37, No.7. - P.13.
167. *Chen M.-K., Wang Y.-H., Hung T.-Y.* Establishing an order allocation decision support system via learning curve model for apparel logistics// *Journal of Industrial and Production Engineering*. - 2014, Vol.31, No.5. - P.274-285.
168. *Chen Y., Liu Y., Fan H.J., Li H., Shi B., Zhou H., Peng B.Y.* The polyurethane membranes with temperature sensitivity for water vapor permeation// *Journal of Membrane Science*. - 2007, Vol.287, Is.2. - P.192-197.
169. *Cherenack K., Van Pieteron L.* Smart textiles: Challenges and opportunities// *Journal of Applied Physics*. - 2012, Vol.112, Is.9. - P.1-14.
170. *Cho G., Jeong K., Paik M.J., Kwun Y., Sung M.* Performance evaluation of textile-based electrodes and motion sensors for smart clothing// *IEEE Sensors Journal*. - 2011, Vol.11, No.12. - P.3183-3193.
171. *Cho G., Lee S., Cho J.* Review and reappraisal of smart clothing// *International Journal of Human-Computer Interaction*. - 2009, Vol.25, Is.6, P.582-617.
172. *Cho J.W., Jung Y.C., Chun B.C.* Water vapor permeability and mechanical properties of fabrics coated with shape-memory polyurethane// *Journal of Applied Polymer Science*. - 2004, Vol.92, Is.5. - P.2812-2816.
173. *Cook F.L., Jacob C.I., Polk M., Pourdeyhimi B.* Shape memory polymer fibers for comfort wear// *National Textile Center Annual Report*. - N. C. State University, 2005. – 7 p.
174. *Cox R.* Synopsis of the new thermal regulation fiber Outlast// *Chemical Fibers International*. - 1998, Vol.48, No.6.- P.475-479.

175. *Davies V., Thompson K.G., Cooper S.M.* The effects of compression garments on recovery// *Journal of Strength and Conditioning Research.* - 2009, Vol.23, Is.6. - P.1786-1794.
176. *D'Avolio E., Bandinelli R., Rinaldi R.* Improving new product development in the fashion industry through product lifecycle management: a descriptive analysis// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education.* - 2015, Vol.8, Is.2. - P.108-121.
177. *De Rossi D., Carpi F., Lorussi F., Mazzoldi A., Paradiso R., Scilingo E. P., Tognetti A.* Electroactive fabrics and wearable biomonitors device// *Autex Research Journal.* - 2003, Vol.3, No.4. – P.180-185.
178. *De Silva R.K., Rupasinghe T.D., Apeagyei P.* A collaborative apparel new product development process model using virtual reality and augmented reality technologies as enablers// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education.* - 2019, Vol.12, Is.1. - P.1-11.
179. *Dietterich T.G.* Ensemble learning// *Handbook of Brain Theory and Neural Networks.* - 2012, Vol.2. - P.110-125.
180. *Doan B.K., Kwon Y., Newton R.U., Shim J., Popper E.M., Rogers R.A., Bolt L.R., Robertson M., Kraemer W.J.* Evaluation of a lower-body compression garment// *Journal of Sports Sciences.*- 2003, Vol.21, No.8.- P.601-610.
181. *Driller M.W., Halson S.L.* The effects of wearing lower body compression garments during a cycling performance test// *International Journal of Sports Physiology and Performance.*- 2013, Vol.8, Is.3.- P.300-306.
182. *Duffield R., Cannon J., King M.* The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high-intensity sprint and plyometric exercise// *Journal of Sports Science & Medicine.* - 2010, Vol.13, Is.1.- P.136-140.
183. *Dunne L.* Smart clothing in practice: Key design barriers to commercialization// *Fashion Practice.* - 2010, Vol.2, Is.1. - P.41-65.
184. *Eckert C., Kelly I.A.N., Stacey M.* Interactive generative systems for conceptual design: An empirical perspective// *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing.* - 1999, Vol.13, No.4. - P.303-320.
185. *Eiloart T.* Fanning the flame of innovation// *New Scientist.* - 1969, Vol.43, No.11. - P.536-538.
186. *Eiloart T.* Teaching creativity// *Theoria to Theory.* - 1978, Vol.12, No.3. - P.175-190.
187. *Eizentals P., Katashev A., Okss A., Pavare Z., Balcuna D.* Detection of excessive pronation and supination for walking and running gait with smart socks// *IFMBE Proceedings "World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering"*. - Singapore: Springer, 2018, Vol.68/2, No.12.
188. *El-Khatib E.M.* Antimicrobial and self-cleaning textiles using nanotechnology// *Research Journal of Textile and Apparel.* - 2012, Vol.16, No.3. - P.156-174.
189. *Farrington J.* Wearable electronics and clothing from Philips and Levi// *Technical Textiles International.* 2001, Vol.10, Is.8. - P.22-24.
190. *Fengzhi L.* Numerical simulation for effect of microcapsuled phase change material (MPCM) distribution on heat and moisture transfer in porous textiles// *Modern Physics Letters.* - 2009, Vol.23.- P.501-504.
191. *Floros M.C., Kaller K.L.C., Kosheela Devi P.P., Narine S.S.* Lipid derived diamide phase change materials for high temperature thermal energy storage// *Solar Energy.* - 2016, № 139. - P. 23-28.
192. *Forster S.* 3D printable recycled textiles: material innovation and a resurrection of the forgotten “shoddy” industry// *Journal of Textile Design Research and Practice.* - 2017, Vol.5, Is.2. - P.138-156.

193. *Fougères A.-J., Ostrosi E.* Intelligent agents for feature modelling in computer aided design// *Journal of Computational Design and Engineering*. - 2018, Vol.5, Is.1. - P.19-40.
194. *Frydrysiak M., Tęsiński Ł.* Textile capacitive humidity sensors made by printing technique// *Industria textilă*. - 2016, Vol.67, No.6. - P.402-406.
195. *Fujioka J., Yoshida Y., Ise T., Seki H.* Measurement and analysis of human behavior using wearable sensors made of conductive knit// *Journal of Textile Engineering*. - 2018, Vol.64, No.1. - P.19-27.
196. *Ganesan P.* Microencapsulation of copper enriched herbals for curative garments// *Indian Journal of Traditional Knowledge*. - 2012, Vol.11, No.3. - P.532-536.
197. *Ghosh A., Guha T., Bhar R.B., Das S.* Pattern classification of fabric defects using support vector machines// *International Journal of Clothing Science and Technology*. - 2011, Vol.23, No.2. - P.142-151.
198. *Giri C., Jain S., Zeng X., Bruniaux P.* A detailed review of artificial intelligence applied in the fashion and apparel industry// *IEEE Access*. - 2019, Vol.7. - P.95376-95396.
199. *Gök M., Bilir M., Gürcüm B.* Shape-memory applications in textile design// *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. - 2015, Vol.195. - P.2160-2169.
200. *Gordon W.J.J.* *Synectics: The development of creative capacity*. - NY: Harper & Brothers, 1961. - 180 p.
201. *Gu X., Gao F., Tan M., Peng P.* Fashion analysis and understanding with artificial intelligence// *Information Processing & Management*. - 2020, Vol.57, Is.5. - P.102276.
202. *Guo Z.X., Wong W.K., Guo C.* A cloud-based intelligent decision-making system for order tracking and allocation in apparel manufacturing// *International Journal of Production Research*. - 2014, Vol.52, Is.4. - P.1100-1115.
203. *Guo Z.X., Wong W.K., Leung S.Y., Li M.* Applications of artificial intelligence in the apparel industry: A review// *Textile Research Journal*. - 2011, Vol.81, No.18. - P.1871-1892.
204. *Guruprasad R., Behera B.K.* Genetic algorithms and its application to textiles// *Textiles Asia*. - 2009, Vol.40, No.4-5. - P.35-38.
205. *Hallnäs L.* The all-important difference: Concepts of creativity in the fashion design process// *The Nordic Textile Journal*. - 2009, No.1. - P.55-82.
206. *Hamad M., Thomassey S., Bruniaux P.* A new sizing system based on 3D shape descriptor for morphology clustering// *Computers & Industrial Engineering*. - 2017, Vol.113, Nov. - P.683-692.
207. *Hamlin M.J., Mitchell C.J., Ward F.D., Draper N., Shearman J.P., Kimber N.E.* Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players// *Journal of Strength and Conditioning Research*. - 2012, Vol.26, Is.11. P.2975-2982.
208. *Hardy D.A., Moneta A., Sakalyte V., Connolly L., Hughes-Riley T.* Engineering a costume for performance using illuminated LED-yarns// *Fibers*. - 2018, Vol.6, Is.2. - P.35.
209. *Havenith G.* The interaction of clothing and thermoregulation// *Exogenous Dermatology*. - 2002, Vol.1.- P.221-230.
210. *Havenith G., Smith C., Fukazawa T.* The skin interface - meeting point of physiology and clothing science// *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*. - 2008, Vol.1.- P.93-98.
211. *Hawllader M.N.A., Uddin M.S., Khin, M.M.* Microencapsulated PCM thermal-energy storage system// *Applied Energy*. - 2003, Vol.74, No.1-2.- P.195-202.
212. *Hebb D.O.* *The Organization of behaviour: A neuropsychological theory*. NY: Wiley, 1949. - 335 p.
213. *Hertleer C., Van Langenhove L., Rogier H.* Printed textile antennas for off-body communication// *Advances in Science and Technology*. - 2008, Vol.60, Jan. - P.64-66.



214. *Hill J., Howatson G., Van Someren K., Leeder J., Pedlar C.* Compression garments and recovery from exercise-induced muscle damage: a meta-analysis// *British Journal of Sports Medicine*. - 2014, Vol.48, Is.18. - P.1340-1346.
215. *Hoffmann T., Eilbrecht B., Leonhardt S.* Respiratory monitoring system on the basis of capacitive textile force sensor// *IEEE Sensors Journal*. 2011, Vol.11, No.5. - P.1112-1119.
216. *Hopfield J.J.* Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities// *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. - 1982, Vol.79, Is.8. - P.2554-2558.
217. *Hsiao S.-W., Lee C.-H., Chen R.-Q., Yen C.-H.* An intelligent system for fashion colour prediction based on fuzzy C-means and gray theory// *Color Research and Application*. - 2017, Vol.42, No.2. – P.273-285.
218. *Hsu C.-H.* Data mining to improve industrial standards and enhance production and marketing: An empirical study in apparel industry// *Expert Systems with Applications*. - 2009, Vol.36, No.3, part.1. - P.4185-4191.
219. *Hu J., Zhu Y., Huang H., Lu J.* Recent advances in shape-memory polymers: Structure, mechanism, functionality, modeling and applications// *Progress in Polymer Science*. - 2012, Vol.37, No.12. - P.1720-1763.
220. *Hu J., Meng H., Li G., Ibekwe S.* A review of stimuli-responsive polymers for smart textile applications// *Smart Materials and Structures*. - 2012, Vol.21, No.5. – P.1-23.
221. *Hu J., Yang Z., Yeung L., Ji F., Liu Y.* Crosslinked polyurethanes with shape memory properties// *Polymer International*. - 2005, Vol.54, Is.5. - P.854-859.
222. *Hu Y., Huang D., Qi Z.* Modeling thermal insulation of firefighting protective clothing embedded with phase change material// *Heat Mass Transfer*.- 2013, Vol.49.- P.567-573.
223. *Hu Z.-H., Wei C., Yu X.-K.* Apparel distribution with uncertain try-on time by evolutionary algorithm// *International Journal of Clothing Science and Technology*. - 2015, Vol.27, No.1. - P.75-90.
224. *Hui P.C.L., Chan K.C.C., Yeung K.W., Ng F.S.F.* Application of artificial neural networks to the prediction of sewing performance of fabrics// *International Journal of Clothing Science and Technology*. - 2007, Vol.19, No.5. - P.291-318.
225. *Husain M.D., Naqvi S., Atalay O., Hamdani S.T.A., Kennon R.* Measuring human body temperature through temperature sensing fabric// *AATCC Journal of Research*. - 2016, Vol.3, No.4. - P.1-12.
226. *Intelligent CAD systems I: Theoretical and methodological aspects/* by ed. *P. ten Hagen, T. Tomiyama*. - Springer, 2011. - 374 p.
227. *Iqbal K.* Experimental and numerical studies of thermoregulating textiles incorporated with phase change materials: Thesis of PhD. - Edinburgh, UK: Heriot-Watt University, School of Textiles and Design, 2016. - 178 p.
228. *Istrat V., Lalić N.* Association rules as a decision making model in the textile industry// *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. - 2017, Vol.25, No.4. - P.8-14.
229. *Jakubas A., Łada-Tondyra E.* A study on application of the ribbing stitch as sensor of respiratory rhythm in smart clothing designed for infants// *Journal of the Textile Institute*. - 2018, Vol.109, Is.9. - P.1208-1216.
230. *James A.M., Roberts B.M., Kuznia A.* Transforming the sequential process of fashion production: Where zero-waste pattern cutting takes the lead in creative design// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2016, Vol.9, Is.2. - P.142-152.
231. *Januar T., Rabi A., Prasetya D.* Integration of smart class control system using Amazon Echo Dot with artificial neural networks// *Senatik*. - 2019, Vol.5. - P.177-186.

232. *Jeong H.M., Ahn B.K., Kim B.* Temperature sensitive water vapour permeability and shape memory effect of polyurethane with crystalline reversible phase and hydrophilic segments// *Polymer International*. - 2000, Vol.49, Is.12. - P.1714-1721.
233. *Ji F.L., Zhu Y., Hu J., Liu Y., Yeung L. Ye G.D.* Smart polymer fibers with shape memory effect// *Smart Materials and Structures*. - 2006, Vol.15, No.6. - P.1547-1554.
234. *Kadem F.D., Saraç E.G.* An experimental application on denim garment to give thermal regulation property// *The Journal of The Textile Institute*. - 2017, Vol.108, Is.3.- P.353-360.
235. *Kang M., Kim S.* Fabrication of 3D printed garments using flat patterns and motifs// *International Journal of Clothing Science and Technology*. - 2019, Vol.31, No.5. - P.653-662.
236. *Kao H.-L. C., Ajilo D., Anilionyte O., Dementyev A., Choi I., Follmer S., Schmandt C.* Exploring interactions and perceptions of kinetic wearables// *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems (DIS '17)*, 2017. - P.391-396.
237. *Karthikeyan M., Ramachandran T.* Review of thermal energy storage of micro- and nanoencapsulated phase change materials// *Materials Research Innovations*. - 2014, Vol.18, Is.7.- P.541-554.
238. *Karthikeyan M., Ramachandran T., Shanmuga Sundaram O.L.* Nanoencapsulated phase change materials based on polyethylene glycol for creating thermoregulating cotton// *Journal of Industrial Textiles*. - 2013, Vol.44, No.1.- P.130-146.
239. *Karthikeyan M., Ramachandran T., Shanmuga Sundaram O.L.* Synthesis, characterization, and development of thermally enhanced cotton fabric using nanoencapsulated phase change materials containing paraffin wax// *The Journal of The Textile Institute*. - 2014, Vol.105, Is.12.- P.1279-1286.
240. *Kazani I., De Mey G., Hertleer C., Banaszczyk J., Schwarz A., Guxho G., Van Langenhove L.* About the collinear four-point probe technique's inability to measure the resistivity of anisotropic electroconductive fabrics// *Textile Research Journal*. - 2013, Vol.83, No.15. - P.1587-1593.
241. *Kaur R., Kukkar D., Bhardwaj S., Kim K.H. Deep A.* Potential use of polymers and their complexes as media for storage and delivery of fragrances// *Journal of Controlled Release*. - 2018, Vol.285, Is.10. - P.81-95.
242. *Kim J., Cho G.* Thermal storage/ release, durability, and temperature sensing properties of thermostatic fabrics treated with octadecane-containing microcapsules// *Textile Research Journal*. - 2002, Vol.72.- P.1093-1098.
243. *Kim J., Kim J., Lee J.* Effect of compression garments on delayed-onset muscle soreness and blood inflammatory markers after eccentric exercise: a randomized controlled trial// *Journal of Exercise Rehabilitation*. - 2017, Vol.13, Is.5 - P.541-545.
244. *Kohonen T.* *Self-organization and associative memory*. - Berlin: Springer-Verlag, 1984. - 255 p.
245. *Koller R.* *Konstruktionsmethode für den maschinen-, geräte- und apparatebau*. - Berlin: Springer, 1976. - 200 p.
246. *Kraemer W.J., Flanagan S.D., Comstock B.A., et al.* Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women// *Journal of Strength and Conditioning Research*. - 2010, Vol.24, No.3. - P.804-814.
247. *Kumar S.V., Poonkuzhali S.* Improvising the sales of garments by forecasting market trends using Data Mining techniques// *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. - 2018, Vol.119, No.7. – P.797-805.
248. *Kumar B., Hu J., Pan N.* Memory bandage for functional compression management for venous ulcers// *Fibers*. - 2016, Vol.4, No.1. - P.10.

249. *Kuo C.-F., Lee C.-L., Shih C.-Y.* Image database of printed fabric with repeating dot patterns part (I) – image archiving// *Textile Research Journal*. - 2017, Vol.87, No.17. - P.2089-2105.
250. *Laplume A.O., Petersen B., Pearce J.M.* Global value chains from a 3D printing perspective// *Journal of International Business Studies*. - 2016, Vol.47, Is.5. - P.595-609.
251. *Lau T.W., Hui P.C.L., Ng F.S.F., Chan K.C.C.* A new fuzzy approach to improve fashion product development// *Computers in Industry*. - 2006, Vol.57, No.1. - P.82-92.
252. *Le K.* Virtual textiles: Making realistic fabrics in 3D// *AATCC REVIEW*. – 2017, Vol.17, Is.3. -P.31-37.
253. *Lee C.K.H., Choy K.L., Ho G.T.S., Chin K.S., Law K.M.Y., Tse Y.K.* A hybrid OLAP-association rule mining based quality management system for extracting defect patterns in the garment industry// *Expert Systems with Applications*. - 2013, Vol.40, No.7. - P.2435-2446.
254. *Lee C.K.H., Choy K.L., Ho G.T.S., Lam C.H.Y.* A slippery genetic algorithm-based process mining system for achieving better quality assurance in the garment industry// *Expert Systems with Applications*. - 2016, Vol.46, Is.C. - P.236-248.
255. *Lee C.K.H., Ho G.T.S., Choy K.L., Pang G.K.H.* A RFID-based recursive process mining system for quality assurance in the garment industry// *International Journal of Production Research*. - 2014, Vol.52, No.14. - P.4216-4238.
256. *Lee C.K.H., Tse Y.K., Ho G.T.S., Choy K.L.* Fuzzy association rule mining for fashion product development// *Industrial Management & Data Systems*. - 2015, Vol.115, No.2. - P.383-399.
257. *Lee J.S., Jirousek C.* The development of design ideas in the early apparel design process : a pilot study// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2015, Vol.8, Is.2. - P.151-161.
258. *Leist S.K., Zhou J.* Current status of 4D printing technology and the potential of light-reactive smart materials as 4D printable materials// *Virtual and Physical Prototyping*. - 2016, Vol.11, Is.4. - P.249-262.
259. *Leng J., Lan X., Liu Y., Du S.* Shape-memory polymers and their composites: Stimulus methods and applications// *Progress in Material Science*. - 2011, Vol.56, Is.7. - P.1077-1135.
260. *Li B.-R., Wang Y., Wang K.-S.* A novel method for the evaluation of fashion product design based on data mining// *Advances in Manufacturing*. - 2017, Vol.5, No.4. - P.370-376.
261. *Li J., Ye J., Wang Y., Bai L., Lu G.* Fitting 3D garment models onto individual human models// *Computers and Graphics*. - 2010, Vol.34, Is.6. - P.742-755.
262. *Li L., Au W.M., Wan K.M., Wan S.H., Chung W.Y., Wong K.S.* A resistive network model for conductive knitting stitches// *Textile Research Journal*. - 2010, Vol.80, Is.10. - P.935-947.
263. *Li Y., Torah R., Wei Y., Grabham N., Tudor J.* Dispenser-printed sound-emitting fabrics for applications in the creative fashion and smart architecture industry// *Journal of the Textile Institute*. - 2019, Vol.110, Is.1. - P.1-9.
264. *Liu K., Wang J., Kamalha E., Li V., Zeng X.* Construction of a prediction model for body dimensions used in garment pattern making based on anthropometric data learning// *Journal of the Textile Institute*. - 2017, Vol.108, No.12. - P.2107-2114.
265. *Liu K., Zeng X., Bruniaux P., Wang J., Kamalha E., Tao X.* Fit evaluation of virtual garment try-on by learning from digital pressure data// *Knowledge-based Systems*. - 2017, Vol.133, Oct. - P.174-182.
266. *Liu Y., Geng Z.* Three-dimensional garment computer aided intelligent design// *Journal of Industrial Textiles*. - 2003, Vol.33, Is.1. - P.43-54.

267. *Liu X., Huang L., Chen H., Qian M.C., Ji H.* Pore size matching up: A novel insight into cotton textile aromatic finishing// *Flavour and Fragrance Journal*. - 2020, Vol.35, Is.2. - P.149-156.
268. *Liu X., Hu J., Babu M., Wang S.* Elasticity and shape memory effect of shape memory fabrics// *Textile Research Journal*. – 2008, Vol.78, Is.12. - P.1048-1056.
269. *Lo W.-S., Hong T.-P., Jeng R.* A framework of E-SCM multi-agent systems in the fashion industry// *International Journal of Production Economics*. - 2008, Vol.114, No.2. - P.594-614.
270. *Lomov S., Moesen M., Stalmans R., Trzcinski G., Van Humbeeck J., Verpoest I.* Finite element modelling of SMA textiles: superelastic behaviour// *The Journal of The Textile Institute*. - 2011, Vol.102, Is.3. - P.232-247.
271. *Lorussi F., Scilingo E.P., Tesconi M., Tognetti A., De Rossi D.* Strain sensing fabric for hand posture and gesture monitoring// *IEEE transactions on information technology in biomedicine*. - 2005, Vol.9, Is.3. - P.372-381.
272. *Lu M., Xie R., Liu Z., Zhao Z., Xu H., Mao Z.* Enhancement in electrical conductive property of polypyrrole-coated cotton fabrics using cationic surfactant// *Journal of Applied Polymer Science*. - 2016, Vol.133, Is.32. - app.43601.
273. *Lu Z., Mao C., Zhang H.* Highly conductive graphene-coated silk fabricated via a repeated coating-reduction approach// *Journal of Materials Chemistry*. – 2015, Vol.17, No.3. – P.4265-4268.
274. *Mallow A.M.* Stable paraffin composites for latent heat thermal storage systems// *A Thesis MS*. - Atlanta, US: Georgia Institute of Technology, 2015.- 120 p.
275. *Maráková N., Humpolíček P., Kašpárková, V., Capáková Z., Martinková L., Bober P., Trchová M., Stejskal J.* Antimicrobial activity and cytotoxicity of cotton fabric coated with conducting polymers, polyaniline or polypyrrole, and with deposited silver nanoparticles// *Applied Surface Science*. - 2017, No.396. P.169-176.
276. *Marqués-Jiménez D., Calleja-González J., Arratibel-Imaz I., Delextrat A., Uriarte F., Terrados N.* Influence of different types of compression garments on exercise-induced muscle damage markers after a soccer match// *Research in Sports Medicine*. - 2018, Vol.26, Is.1. - P.27-42.
277. *McRae B.A., Cotter J.D., Laing R.M.* Compression garments and exercise: Garment considerations, physiology and performance// *Sports Medicine*. - 2011, Vol.41, No.10.- P.815-843.
278. *Matchett E.* Fundamental design method. Frankfurt: IFR Press, 2009. - 130 p.
279. *Mazzoldi A., De Rossi D., Lorussi F., Scilingo E.P., Paradiso R.* Smart textiles for wearable motion capture systems// *Autex Research Journal*. - 2002, Vol.2, No.4. - P.199-204.
280. *McCulloch W., Pitts W.* A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity// *Bulletin of Mathematical Biophysics*. - 1943, No.5. - P.115-133.
281. *McQuillan H.* Digital 3D design as a tool for augmenting zero-waste fashion design practice// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2020, Vol.13, Is.1. - P.89-100.
282. *Meng H., Hu J.* A brief review of stimulus-active polymers responsive to thermal, light, magnetic, electric, and water/ solvent stimuli// *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. – 2010, Vol.21, Is.9. – P.859-885.
283. *Meng Q., Hu J.* A temperature-regulating fiber made of PEG-based smart copolymer// *Solar Energy Materials and Solar Cells*. - 2008, Vol.92, No.10. - P.1245-1252.
284. *Meng H., Li G.* A review of stimuli-responsive shape memory polymer composites// *Polymer*. - 2013, Vol.54, Is.9. - P.2199-2221.

285. *Michael J.S., Dogramaci S.N., Steel K.A., Graham K.S.* What is the effect of compression garments on a balance task in female athletes?// *Gait Posture.* - 2014, Vol.39, Is.2. - P.804-809.
286. *Minsky M.* A framework for representing knowledge// In: *The Psychology of Computer Visi/* by ed. P. Winston. - N.Y.: McGraw-Hill, 1975. - P.211-277.
287. *Mondal S.* Phase change materials for smart textiles – An overview // *Applied Thermal Engineering.* - 2008, Vol.28, No.11. - P.1536-1550.
288. *Mondal S., Hu J., Yang Z., Liu Y., Szete Y.S.* Shape memory polyurethane for smart garment// *Research Journal of Textile and Apparel.* – 2002, Vol.6, No.2. – P.75-83.
289. *Mondal S., Hu J.* Water vapor permeability of cotton fabrics coated with shape memory polyurethane// *Carbohydrate Polymers.* - 2007, Vol.67, Is.3. - P.282-287.
290. *Mpofu T., Mawere C., Mukosera M.* The impact and application of 3D printing technology// *International Journal of Science and Research.* - 2014, Vol.3, Is.6. - P.2148-2152.
291. *Narayana H., Hu J., Kumar B., Shang S., Han J., Liu P., Lin T., Jia F.L., Zhu Y.* Stress-memory polymeric filaments for advanced compression therapy// *Journal of Materials Chemistry B.* - 2017, Vol.5, Is.10. - P.1905-1916.
292. *Nayak R., Padhye R.* Artificial intelligence and its application in the apparel industry// In book: “Automation in Garment Manufacturing”, Elsevier, 2018. - P.109-138.
293. *Nelson G.* Application of microencapsulation in textiles// *International Journal of Pharmaceutics.* - 2002, Vol.242, No.1-2.- P. 55-62.
294. *Nettleton D.F.* Data mining of social networks represented as graphs// *Computer Science Review.* - 2013, Vol.7, Febr. - P.1-34.
295. *Ngai E.W.T., Peng S., Alexander P., Moon K.K.L.* Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: An academic review of research articles// *Expert Systems with Applications.* - 2014, Vol.41, No.1. - P.81-91.
296. *Ni X., Wong Z.J., Mrejen M., Wang Yu., Zhang X.* An ultrathin invisibility skin cloak for visible light// *Science.* - 2015, Vol.349, Is.6254. - P.1310-1314.
297. *Nuckols M.L.* Analytical modeling of a diver dry suit enhanced with micro-encapsulated phase change materials// *Ocean Engineering.* - 1999, Vol.26, No.6.- P.547-564.
298. *Ogura T., Sato T., Abe M., Okano T.* Small angle X-ray scattering and electron spin resonance spectroscopy study on fragrance infused cationic vesicles modeling scent-releasing fabric softeners// *Journal of Oleo Science.* - 2018, Vol.67, Is.2. - P.177-186.
299. *Onder E., Nihal S., Cimen E.* Encapsulation of phase change material by complex coacervation to improve thermal performances of woven fabrics// *ThermochimicaActa.*- 2008, Vol.467, No.1-2.- P.63-72.
300. *Osborn A.F.* Applied imagination: Principles and procedures of creative problem solving. - NY: Charles Scribner's Sons, 1963. - 417 p.
301. *Pan N.C., Samanta K.K., Ammayappan L., Khan A.* Aroma finishing of textiles// *Man-Made Textiles in India.* - 2017, Vol.45, No.3. – P.93-95.
302. *Paradiso R., De Toma G.M., Mancuso C.* Smart Textile Suit// In book: “Seamless Healthcare Monitoring”. - Springer, 2018. - P.251-277.
303. *Park C.K., Lee D.H., Kang T.J.* Knowledge-base construction of a garment manufacturing expert system// *International Journal of Clothing Science and Technology.* - 1996, Vol.8, No.5. - P.11-28.
304. *Pause B.* Nonwoven protective garments with thermo-regulating properties// *Journal of Industrial Textiles.* - 2003, Vol.33, Is.2.- P.93-99.
305. *Pavlinić D.Z., Geršak J.* Design of the system for prediction of fabric behaviour in garment manufacturing processes// *International Journal of Clothing Science and Technology.* - 2004, Vol.16, No.1-2. - P.252-261.

306. *Perry A.* 3D-printed apparel and 3D-printer: exploring advantages, concerns, and purchases// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2018, Vol.11, Is.1. - P.95-103.
307. *Pervez M.N., Khan A., Khan I.A.* Investigation on the thermo-regulating fabric by using phase change material for modern textile practical application// *American Journal of Polymer Science & Engineering*. - 2015, Vol.3, No.1.- P.1-10.
308. *Petersen P., Helmer R., Pate M., Eichhoff J.* Electronic textile resistor design and fabric resistivity characterization// *Textile Research Journal*. - 2011, Vol.81, Is.13. - 1395-1404.
309. *Petrulyte S., Plascinskiene D., Petrulis D.* Impregnation of microencapsulated aroma oil on ramie blended Terry textile and its bending rigidity// *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. - 2017, Vol.25, Is.4. - P.95-101.
310. *Podgornik B.B., Knez E.* Microencapsulation of essential oils and phase change materials for applications in textile products// *Indian Journal of Fibre and Textile Research*. - 2006, Vol.31, Is.1. - P.72-82.
311. *Post E.L.* Formal reductions of the general combinatorial decision problem// *American Journal of Mathematics*. - 1943, Vol.65, Is.2. - P.197-215.
312. *Potuck A., Meyers S., Levitt A., Beaudette E., Xiao H., Chu C.C.* Development of thermochromic pigment based sportswear for detection of physical exhaustion// *Fashion Practice: The Journal of Design, Creative Process & the Fashion Industry*. - 2016, Vol.8, Is.2.- P.279-295.
313. *Preece S.J., Kenney L.P., Major M.J., Dias T., Lay E., Fernandes B.T.* Automatic identification of gait events using an instrumented sock// *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. - 2011, Vol.8, Is.1. - P.32.
314. *Ramachandran T., Vigneswaran C.* Design and development of copper core conductive fabrics for smart textiles// *Journal of Industrial Textiles*. - 2009, Vol.39, Is.1. - P.81-93.
315. *Rattfält L., Lindén M, Hult P, Berglin L, Ask P.* Electrical characteristics of conductive yarns and textile electrodes for medical applications// *Medical and Biological Engineering and Computing*. - 2007, Vol.45, No.12. - P.1251-1257.
316. *Ren J., Wang C., Zhang X., Carey T., Chen K., Yin Y., Torrisi F.* Environmentally-friendly conductive cotton fabric as flexible strain sensor based on hot press reduced graphene oxide// *Carbon*. - 2017, Vol.111, Jan. - P.622-630.
317. *Renzi A.I., Carfagna C., Persico P.* Thermoregulated natural leather using phase change materials: An example of bioinspiration// *Applied Thermal Engineering*. - 2010, Vol.30, Is.11-12.- P.1369-1376.
318. *Rienzo M.D., Vainio E., Lombardi P.* Development of a smart garment for the assessment of cardiac mechanical performance and other vital signs during sleep in microgravity// *Sensors and Actuators: A Physical*. - 2018, No.3. - P.274.
319. *Rogers J.A., Someya T., Huang Y.* Materials and mechanics for stretchable electronics// *Science*. - 2010, Vol.327, No.5973. - P.1603-1607.
320. *Romeo V., Vittoria V., Sorrentino A.* Development of nanostructured thermoregulating textile materials// *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. - 2008, Vol.8, No.9.- P.4399-4403.
321. *Rong-Chang C., Chih-Chang L., Shiue-Shiun L.* An automatic decision support system based on genetic algorithm for global apparel manufacturing// *International Journal of Soft Computing*. - 2006, Vol.1, No.1. - P.17-21.
322. *Rosenblatt F.* Principles of neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms. - Michigan: Spartan Books, 1962. - 616 p.

323. *Rosenblatt F.* The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain// *Psychological Review*. - 1958, Vol.65, Is.6. - P.386-408.
324. *Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J.* Learning internal representations by error propagation// In: *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition/* by ed. Rumelhart D.E., McClelland J.L. - Cambridge: MIT Press, 1985, Vol.1. - P.318-362.
325. *Rumelhart D.E., McClelland J.L.* *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition: Foundations*. - Cambridge: MIT Press, 1986, Vol.1. - 567 p.
326. *Salaiin F., Devaux E., Bourbigot S., Rumeau P.* Thermoregulating response of cotton fabric containing microencapsulated phase change materials// *Thermochimica Acta*. - 2010, Vol.506, Is.1-2.- P.82-93.
327. *Sánchez-Fernandez M.V., Romero A., Rodríguez J.F., Sánchez-Silva L., Sánchez P.* Development of thermo-regulating textiles using paraffin wax microcapsules// *Thermochimica Acta*. - 2010, Vol.498, Is.1-2. - P.16-21.
328. *Santiago-Santiago K., Laureano-Cruces A.L., Antuñano-Barranco J.M.A., Domínguez-Pérez O., Sarmiento-Bustos E.* An expert system to improve the functioning of the clothing industry: A development methodology// *International Journal of Clothing Science and Technology*. - 2015, Vol.27, No.1. - P.99-128.
329. *Satam D., Liu Y., Lee H.J.* Intelligent design systems for apparel mass customization// *Journal of the Textile Institute*. - 2011, Vol.102, Is.4. - P.353-365.
330. *Schwarz A., Kazani I., Cuny L., Hertleer C., Ghekiere F., De Clercq G., De Meyc G., Van Langenhove L.* Electro-conductive and elastic hybrid yarns – The effects of stretching, cyclic straining and washing on their electro-conductive properties// *Materials and Design*. - 2011, Vol.32, Is.8. - P.4247-4256.
331. *Schwarz A., Van Langenhove L., Guermonprez P., Deguillemont D.* A roadmap on smart textiles// *Textile Progress*. - 2010, Vol.42.- P. 99-180.
332. *Segonds F., Mantelet F., Maranzana N., Gaillard S.* Early stages of apparel design: how to define collaborative needs for PLM and fashion?// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*. - 2014, Vol.7, Is.2. - P.105-114.
333. *Shim H., McCullough E.A., Jones B.W.* The use of phase change materials in clothing // *Textile Research Journal*. - 2001, Vol.71, No.6.- P.495-502.
334. *Shin Y., Kim Y., Kim E.Y.* Automatic textile image annotation by predicting emotional concepts from visual features// *Image and Vision Computing*. - 2010, Vol.28, No.3. - P.526-537.
335. *Shin Y., Yoo D.I., Son K.* Development of thermoregulating textile materials with microencapsulated phase change materials (PCM). II. Preparation and application of PCM microcapsules// *Journal of Applied Polymer Science*. - 2005, Vol.96, Is.6.- P.2005-2010.
336. *Shin Y., Yoo D.I., Son K.* Development of thermoregulating textile materials with microencapsulated phase change materials (PCM). IV. Performance properties and hand of fabrics treated with PCM microcapsules// *Journal of Applied Polymer Science*. - 2005, Vol.97, Is.3.- P.910-915.
337. *Shrimali K., Dedhia E.M.* Microencapsulation for textile finishing// *Journal of Polymer and Textile Engineering*. - 2015, Vol.2, Is.2. - P.1-4.
338. *Siddiqui M.O.R., Sun D.* Computational analysis of effective thermal conductivity of microencapsulated phase change material coated composite fabrics// *Journal of Composite Materials*. - 2015, Vol.49, No.19.- P.2337-2348.
339. *Smart clothing: Technology and applications/* ed. by *G. Cho*. - Boca Raton: CRC Press, 2009. - 275 p.

340. *Song H.Y., Lee J.H., Kang D., Cho H., Cho H.S., Lee J.W., Lee Y.J.* Textile electrodes of jacquard woven fabrics for biosignal measurement// *Journal of the Textile Institute.* - 2010, Vol.101, No.8. - P.758-770.
341. *Souza J.M., Sampaio S., Silva W.C., de Lima S.G., Zille A., Fangueiro R.* Characterization of functional single jersey knitted fabrics using non-conventional yarns for sportswear//*Textile Research Journal.* - 2016, Dec.
342. *Spitas C.* Analysis of systematic engineering design paradigms in industrial practice: Scaled experiments// *Journal of Engineering Design.* - 2011, Vol.22, Is.7. - P.447-465.
343. *Stoppa M., Chiolerio A.* Wearable electronics and smart textiles: A critical review// *Sensors.* - 2014, Vol.14, No.7, P.11957-11992.
344. *Sudha D.S., Neelkanda R.* Microencapsulation: an overview// *Indian Textile Journal.* - 2005, Vol.115, No.12. - P.25-29.
345. *Sun L., Zhao L.* Envisioning the era of 3D printing: A conceptual model for the fashion industry// *Fashion and Textiles Journal.* - 2017, Vol.4, Is.25. - P.1-16.
346. *Sun L., Zhao L.* Technology disruptions: exploring the changing roles of designers, makers, and users in the fashion industry// *International Journal of Fashion Design, Technology and Education.* - 2018, Vol.11, Is.3. - P.362-374.
347. *Tada Y., Amano Y., Sato T., Saito S., Inoue M.* A smart shirt made with conductive ink and conductive foam for the measurement of electrocardiogram signals with unipolar precordial leads// *Fibers.* - 2015, Vol.3, Is.4. - P.463-477.
348. *Tao W., Liu T., Zheng R., Feng H.* Gait analysis using wearable sensors// *Sensors.* - 2012, Vol.12, Is.2. - P.2255-2283.
349. *Tecuci C.* Artificial intelligence// *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics.* - 2012, Vol.4, No.2. - P.168-180.
350. *Tehrani A.F., Ahrens D.* Supervised regression clustering: A case study for fashion products// *International Journal of Business Analytics.* - 2016, Vol.3, No.4. - P.21-40.
351. *Thakur S., Hu J.* Polyurethane: A Shape Memory Polymer (SMP)// In book: "Aspects of Polyurethanes"/ by ed. F. Yilmaz. - Rijeka: InTechOpen, 2017. – P.53-71.
352. *Tjønnås M.S., Færevik H., Sandsund M., Reinertsen R.E.* The dry-heat loss effect of melt-spun phase change material fibres// *Ergonomics.* - 2015, Vol.58, Is.3.- P.535-542.
353. *Tomiyama T.* Intelligent computer-aided design systems: Past 20 years and future 20 years// *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing.* - 2007, Vol.21, Is.1. - P.27-29.
354. *Tong W., Tong A.* Solar-absorbing metamaterial microencapsulation of phase change materials for thermo-regulating textiles// *International Journal of Smart and Nano Materials.* - 2015, Vol.6, No.2,- P.105-112.
355. *Trindade I., da Silva J.M., Miguel R., Santos M.* Design and Evaluation of Novel Textile Wearable Systems for the Surveillance of Vital Signals// *Sensors.* - 2016, Vol.16, No.10.
356. *Troynikov O., Ashayeria E., Burton M., SubicA., F.Alamb F., Marteauc S.* Factors influencing the effectiveness of compression garments used in sports// *Procedia Engineering.*- 2010, Vol.2, Is.2.- P.2823-2829.
357. *Turing A.* Computing machinery and intelligence// *Mind.* - 1950, No.59. - P.433-460.
358. *Tyler D.J.* Textile digital printing technologies// *Textile Progress.* - 2005, Vol.37, Is.4. - P.1-65.
359. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G.* Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials// *Fibre Chemistry.* - 2018, Vol.50, No.1. – P.1-9.
360. *Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G.* Van der Pauw method for measuring the electrical conductivity of smart textiles// *Fibre Chemistry.* - 2019, Vol.51, Is.2. - P. 139-146.



361. *Van der Pauw L.J.* A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape// Philips Research Reports. - 1958, Vol.13, February. - P.1-9.
362. *Van der Pauw L.J.* A method of measuring the resistivity and Hall coefficient on lamellae of arbitrary shape// Philips Technical Review. – 1958, Vol.20, No.8. – P.220-224.
363. *Van Langenhove L.* Smart textiles for medicine and healthcare, Materials, systems and applications. - London: Taylor&Francis, 2007. - 312 p.
364. *Vanderploeg A., Lee S.-E., Mamp M.* The application of 3D printing technology in the fashion industry// International Journal of Fashion Design, Technology and Education. - 2017, Vol.10, Is.2. - P.170-179.
365. *Vasile S., Ciesielska I., Van Langenhove L.* Wrinkle recovery of flax fabrics with embedded superelastic shape memory alloys wires// Fibres and Textiles in Eastern Europe. - 2012, Vol.93, No.4. - P.56-61.
366. *Vasile S., Githaiga J., Ciesielska I.* Comparative analysis of the mechanical properties of hybrid yarns with superelastic shape memory alloys (SMA) wires embedded// Fibres and Textiles in Eastern Europe. - 2011, Vol.19, Is.6. - P.41-46.
367. *Verduyssen F., Gruet M., Colson S.S., Ehrstrom S., Brisswalter J.* Compression garments, muscle contractile function, and economy in trail runners// International Journal of Sports Physiology and Performance. - 2017, Vol.12, Is.1.- P.62-68.
368. *Wang B., Ha-Brookshire J.E.* Exploration of digital competency requirements within the fashion supply chain with an anticipation of industry 4.0// International Journal of Fashion Design, Technology and Education. - 2018, Vol.11, Is.3. - P.333-342.
369. *Wang C., Wang Y., Yuen M.M.* Feature based 3D garment design through 2D sketches// Computer-Aided Design. - 2003, Vol.35, Is.7. - P.659-672.
370. *Wang F., Gao Ch., Kuklane K., Holmér I.* A Review of technology of personal heating garments// International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. - 2010, Vol.16, No.3.- P.387-404.
371. *Wang T.Y., Ceylan D., Popović J., Mitra N.J.* Learning a shared shape space for multimodal garment design// ACM Transactions on Graphics. - 2018, Vol.36, No.4. – P.203.
372. *Wang X.G., Li X.Z., Li Y.* Application of cluster algorithm in clothes shape classifying// Applied Mechanics and Materials. - 2011, Vol.55-57. - P.1058-1062.
373. *Wang X., Lu Z., Shen J., Niu Y., Xiao Z., Liu G., Hao J., Zhang X.* Nano-fragrance with pH-sensitive release property for improvement of central nervous system// Journal of Biomedical Nanotechnology. - 2020, Vol.16, Is.2. - P.193-200.
374. *Wang X., Lu Z., Zhang J., Zhao B., Wang J., Shen J., Niu Y., Xiao Z., Liu G., Hao J., Zhang X.* Cationic nano-fragrance with sustained release property for neuroregulation// Journal of Biomedical Nanotechnology. - 2020, Vol.16, Is.3. - P.344-351.
375. *Wang Y., Hua T., Zhu B., Li Q., Yi W., Tao X.* Novel fabric pressure sensors: design, fabrication and characterization// Smart Materials and Structures. - 2011, Vol.20, Is.6. - P.065015.
376. *Whiting Ch.S.* Creative Thinking. - NY: Reinhold Publishing, 1958. - 168 p.
377. *Wong W.K., Leung S.Y.S.* Genetic optimization of fabric utilization in apparel manufacturing// International Journal of Production Economics. - 2008, Vol.114, No.1. - P.376-387.
378. *Wong W.M., Zeng W.K., Au X.H.* A decision support tool for apparel coordination through integrating the knowledge-based attribute evaluation expert system and the T–S fuzzy neural network// Expert Systems with Applications. -2009, Vol.36, No.2. – P.2377-2390.

379. Wu Y., Chen R., Wang J., Sun X., She M.F.H. Intelligent clothing for automated recognition of human physical activities in free-living environment// The Journal of The Textile Institute. - 2012, Vol.103, Is.8. - P.806-816.
380. Xue P., Tao X., Leung M.Y., Zhang H. Electromechanical properties of conductive fibres, yarns and fabrics/ In book: "Wearable Electronics and Photonics", Cambridge: Woodhead Publishing; Boca Raton: CRC Press, 2005. P.81-104.
381. Yap Y.L., Yeong W.Y. Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review// Virtual and Physical Prototyping. - 2014, Vol.9, Is.3. - P.195-201.
382. Yazdi M.M., Sheikhzadeh M. Personal cooling garments: a review// The Journal of The Textile Institute. - 2014, Vol.105, Is.12.- P.1231-1250.
383. Yi S., Sun S., Deng Y., Feng S. Preparation of composite thermochromic and phase-change materials by the sol-gel method and its application in textiles// The Journal of The Textile Institute. - 2015, Vol.106, Is.10.- P.1071-1077.
384. Yoo H., Lim J., Kim E. Effects of the number and position of phase-change material-treated fabrics on the thermo-regulating properties of phase-change material garments// Textile Research Journal. - 2013, Vol.83, Is.7.- P. 671-682.
385. Yu Y., Choi T.-M., Hui C.-L. An intelligent fast sales forecasting model for fashion products// Expert Systems with Applications. - 2011, Vol.38, No.6. - P.7373-7379.
386. Yu Y., Hui C.-L., Choi T.-M. An empirical study of intelligent expert systems on forecasting of fashion color trend// Expert Systems with Applications. - 2012, Vol.39, No.4. - P.4383-4389.
387. Yuan M., Khan I.R., Farbiz F., Yao S., Niswar A. A mixed reality virtual clothes try-on system// IEEE Transactions on Multimedia. - 2013, Vol.15, No.8. - P.1958-1968.
388. Yuen C.W.M., Wong W.K., Qian S.Q., Chan L.K., Fung E.H.K. A hybrid model using genetic algorithm and neural network for classifying garment defects// Expert Systems with Applications. - 2009, Vol.36, No.2-1. - P.2037-2047.
389. Zadeh L.A. Fuzzy logic, neural networks, and soft computing// Communications of the ACM. - 1994, Vol.37, No.3. - P.77-84.
390. Zhang B.C., Wang H., Zhao Y., Li F., Ou X.M., Sun B.Q., Zhang X.H. Large-scale assembly of highly sensitive Si-based flexible strain sensors for human motion monitoring// Nanoscale. - 2016, Vol.28, No.8 (4). - P.2123-2128.
391. Zhang H., Tao X.M., Yu T.X., Wang S.Y. Conductive knitted fabric as large-strain gauge under high temperature// Sensors and Actuators A: Physical. - 2006, Vol.126, Is.1. - P.129-140.
392. Zhang R.Q., Li J.Q., Li D.J., Xu J.J. Study of the structural design and capacitance characteristics of fabric sensor// Advanced Materials Research. - 2011, Vol.194. - P.1489-1495.
393. Zhang S., Xu J., Gou H., Tan J. A research review on the key technologies of intelligent design for customized products // Engineering. - 2017, Vol.3, Is.5. - P.631-640.
394. Zhang X. Metamaterials for perpetual cooling at large scales// Science. - 2017, Vol.355, Is.6329. - P.1023-1024.
395. Zhao Y., Song J., Montazeri A., Gupta M.M. Mining affective words to capture customer's affective response to apparel products// Textile Research Journal. - 2018, Vol.88, No.12. - P.1426-1436.
396. Zhao Q., Qi H.J., Xie T. Recent progress in shape memory polymer: New behavior, enabling materials, and mechanistic understanding// Progress in Polymer Science. - 2015, Vol.49-50. - P.79-120.
397. Zhu F., Hu J., Zhang H., Yang X. Breathing measurement on the basis of contact resistance of cross-overlapping conductive yarns// Fibers and Polymers. - 2017, Vol.18, No.2. - P.369-375.

398. *Zhu Y., Peng Y., Asl A.B.* Dual adaptive adjustment for customized garment pattern// Scientific Programming. – 2019, ID 8069373.
399. *Zhu Y., Hu J., Yeung L.-Y., Liu Y., Ji F., Yeung K.W.* Development of shape memory polyurethane fiber with complete shape recoverability// Smart Materials and Structures. - 2006, Vol.15, No.5. - P.1385-1394.
400. *Zwicky F.* Discovery invention research through the morphological approach. - London: McMillan, 1969. - 276 p.
401. *Xiao Z., Liu W., Zhu G., Zhou R., Niu Y.* A review of the preparation and application of flavour and essential oils microcapsules based on complex coacervation technology // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2014, Vol.94, Is.8. – P.1482-1494.
402. *Yüce I.* Shape memory polymers and shape memory alloys: use in smart textiles// International Journal of Development Research. - 2017, Vol.7, Is.11. - P.16730-16736.

#### **Патенты, свидетельства**

403. Патент на изобретение № 2019178417 WO. Customized textile measuring, ordering, and manufacturing system/ *B.K. Anger*; опубл. 19.09.2019.
404. Патент на изобретение № 10251438 US. Methods of generating compression garment measurement information for a patient body part and fitting pre-fabricated compression garments thereto/ *M.J. Weiler, N.D. Frank*; опубл. 21.06.2018.
405. Патент на изобретение № 10366175 US. System and method for automated manufacturing of custom apparel/ *N.R. Gupta, P. Eremenko*; опубл. 18.09.2014.
406. Патент на изобретение № 10373373 US Systems and methods for reducing the stimulation time of physics based garment simulations/ *J. Leong, Y.-H. Chen, T.-C. Tsai*; опубл. 09.05.2019.
407. Патент на изобретение № 177374 RU. Устройство для измерения параметров человеческого тела/ *Подшивалов С.А., Таамазян В.А., Матросов М.П.*; опубл.: 19.02.2018.
408. Патент на изобретение № 20120162218 US. Apparatus and method for generating digital clone/ *H.-W. Kim, B.-K. Koo, S.-W. Lee*; опубл. 28.06.2016.
409. Патент на изобретение № 20140358738 US. Garment fitting system and method/ *I. Ohnemus, J. Felber*; опубл. 12.04.2014.
410. Патент на изобретение № 20150154691 US. System and method for online virtual fitting room/ *S.W. Curry, L.A. Sosa*; опубл. 04.06.2015.
411. Патент на изобретение № 2016097732 WO. Methods for generating a 3D virtual body model of a person combined with a 3D garment image, and related devices, systems and computer program products/ *Y. Chen, N. Marks, D. Nikolova, L. Smith, R. Miller, J. Townsend, N. Day, R. Murphy, J. Downing, E. Clay, M. Maher, T. Adeyoola*; опубл. 23.06.2016.
412. Патент на изобретение № 20180374137 US. Online garment design and collaboration system and method/ *I. Sareen*; опубл. 27.12.2018.
413. Патент на изобретение № 2020049358 WO. Clothing having one or more printed areas disguising a shape or a size of a biological feature/ *D. Newman*; опубл. 12.03.2020.
414. Патент на изобретение № 2020081376 WO. Perfity ar/vr platform/ *D. Sharma, K. Vyas, N. Rao*; опубл. 23.04.2020.
415. Патент на изобретение № 2551731 RU. Способ виртуального подбора одежды/ *Караваев К.А.*; опубл. 27.05.2015.
416. Патент на изобретение № 2635294 RU. Способ и система интерактивного создания предметов одежды/ *Кривоносова Н.В.*; опубл. 09.11.2017.
417. Патент на изобретение № 2671187 RU. Способ оценки эргономических свойств элементов боевой индивидуальной экипировки военнослужащих/ *Герегей А.М., Ишутин*

*Д.В., Тимохин Д.П., Бондарук Е.В., Малахова И.С., Ковалёв А.С., Шулепов А.В., Прошина Ю.А.*; опубл. 29.10.2018.

418. Патент на изобретение № 2711059 RU. Трансформируемая куртка для мобильной тепловой защиты человека/ *Черунова И.В., Стенькина М.П., Стефанова Е.Б., Черунов П.В., Коринтели А.М.*; опубл. 15.01.2020.

419. Патент на изобретение №2731767 RU Электропроводящая текстильная пряжа/ *Ташпулатов С.Ш., Акбаров Р.Д., Баймуратов Б.Х., Черунова И.В., Чжен Я., Плеханов А.Ф., Разумеев К.Э., Андреева Е.Г., Кирюхин С.М., Плеханова С.В., Бугримов А.Л., Виноградова Н.А.*; опубл. 08.09.2020.

420. Патент на изобретение № 2718362 RU. Система автоматизированного виртуального проектирования изделия одежды для пользователей и способ ее осуществления/ *Мироненко Е.А., Евдошенко Л.А., Михайлов А.А.*; опубл. 02.04.2020.

421. Патент на изобретение № 2727885 RU. Способ ориентации в пространстве людей с нарушением зрительных функций с помощью трости с тактильным экраном-оболочкой/ *Петросова И.А., Андреева Е.Г., Гусева М.А., Белгородский В.С., Гетманцева В.В.*; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; опубл. 24.07.2020.

422. Патент на изобретение № 6665577 US. System, method and article of manufacture for automated fit and size predictions/ *V.A. Onyshkevych, C.B. Dingle, M.S. Clark, B.J. Carmicino, M.V. Pedersen*; опубл. 26.09.2002.

423. Патент на изобретение № 9870646 US. Three-dimensional model generation based on two-dimensional images/ *M. Khalili, F. Khalili*; опубл. 29.12.2016.

424. Патент на изобретение № 9949519 US. Methods and systems for customized garment design generation/ *C.J. Koh*; опубл. 24.04.2018.

425. Патент на изобретение № 9953460 US. Garment simulation using thread and data level parallelism/ *Chhugani J., Su J., Naware M.*; опубл. 06.10.2016.

426. Патент на изобретение № 102332180 CN Three-dimensional garment modeling and pattern designing method based on draping/ *D. Zhang*; опубл. 25.01.2012.

427. Патент на полезную модель № 193964 RU. Трость с тактильным экраном-оболочкой/ *Петросова И.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Гетманцева В.В., Гусева М.А.*; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; опубл. 21.11.2019.

428. Патент на полезную модель №194487 RU. Фуражка со съёмными элементами питания/ *Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Смирнова Д.С., Крючкова А.А.*; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; опубл. 12.12.2019.

429. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2019620688 RU. Базовые цифровые шкалы формообразующих свойств льносодержащих тканей/ *Белгородский В.С., Смирнова Н.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Разбродин А.В., Разумеев К.Э., Гетманцева В.В., Петросова И.А.*; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; зарег. 26.04.2019.

430. Свидетельство о гос. регистрации базы данных №2019620689 RU. Базовые цифровые шкалы деформационных свойств льносодержащих тканей/ *Белгородский В.С., Смирнова Н.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Разбродин А.В., Разумеев К.Э., Гетманцева В.В., Петросова И.А.*; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; зарег.26.04.2019.

431. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2019621730 RU. Параметрическое проектирование складчатых поверхностей в одежде/ *Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Белгородский В.С., Смирнова Н.А.*; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; зарег. 09.10.2019.

432. Свидетельство о гос. регистрации базы данных №2019621729 Параметризация художественно-конструктивных характеристик шкур овец и изделий из них/ *Гусева М.А.*,

*Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Петросова И.А., Гетманцева В.В., Новиков М.В., Балакирев Н.А., Юлдашбаев Ю.А.*; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; зарег. 09.10.2019.

433. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2007613734 Eleandr-конструктор/ *Мартынова А.И., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г.*; правообладатель: НТЦДТ, зарег. 31.08.2007.

434. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2007615071 Eleandr-градация/ *Мартынова А.И., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Минин А.Г.*; правообладатель: НТЦДТ, зарег. 06.12.2007.

435. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2007615072 Eleandr-КМ/ *Мартынова А.И., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В.*; правообладатель: НТЦДТ, зарег. 06.12.2007.

436. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2008611846 «Eleandr САРР – модуль проектирования технологической последовательности изготовления изделий»/ *Андреева Е.Г., Оболенская Г.Д., Телегина С.В.*; правообладатель: НТЦДТ; зарег. 14.04.2008.

437. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2011612237 RU. Распознавание художественного эскиза модели одежды/ *Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Мурашова Н.Г., Разин И.Б.*; правообладатель: МГУДТ; зарег. 17.03.2011.

438. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012610088. Интерактивная система виртуального проектирования манекена и конструкций женской одежды/ *В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева, Л.О. Гальцова, М.С. Бояров*; правообладатель: Минпромторг РФ, зарег. 10.01.2012.

439. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013611419. Система виртуального моделирования женской одежды/ *В.В. Гетманцева, Е.Г. Андреева, И.А. Петросова, М.С. Бояров*; правообладатель: Минпромторг РФ, зарег. 09.01.2013.

#### *Электронные ресурсы*

440. Lektra. URL: <https://www.lectra.com/> (Дата обращения: 05.07.2020)

441. САПР Comtense. URL: <http://www.comtense.ru/> (Дата обращения: 06.07.2020)

442. САПР Ассоль. URL: <http://assol.org/> (Дата обращения: 07.07.2020)

443. СТАПРИМ. URL: <http://staprim.com/#> (Дата обращения: 24.07.2020)

444. 3D fashion design software CLO 3D. URL: <https://www.clo3d.com> (Дата обращения: 24.07.2020)

445. САПР Assyst. URL: <https://assyst-cis.com/> (Дата обращения: 06.07.2020)

446. Система Julivi: 2D и 3D программы проектирования одежды. URL: <https://julivi.com/> (Дата обращения: 07.07.2020)

447. Gerber Technology. URL: <https://www.gerbertechnology.ru/catalog/sapr/> (Дата обращения: 06.07.2020)

448. GRAFIS CAD Clothing. URL: <https://www.grafis.com/clothing> (Дата обращения: 05.07.2020)

449. i-Designer. URL: <https://i-designer.com/> (Дата обращения: 05.07.2020)

450. TUKATech. URL: <https://tukatech.com/> (Дата обращения: 05.07.2020)

451. V-Stitcher: Design, develop and produce. URL: <https://browzwear.com/products/v-stitcher/> (Дата обращения: 05.07.2020)

452. What life means to *Einstein*: An interview by *George Sylvester Viereck*// Saturday Evening Post. 26.10.1929. URL: [https://www.saturdayeveningpost.com/wp-content/uploads/satevepost/what\\_life\\_means\\_to\\_einstein.pdf](https://www.saturdayeveningpost.com/wp-content/uploads/satevepost/what_life_means_to_einstein.pdf) (Дата обращения: 16.09.2020)

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **Приложение А**

**Акты внедрения и апробации результатов  
диссертационного исследования**



## Центр Инновационных Стратегий

Москва, 105187, ул. Ткацкая д. 42

Тел./факс: +7(495) 369-61-67

Исх. № 01/7 от 17.07.2020

### АКТ О ВНЕДРЕНИИ

**в промышленное производство универсальных модулей САПР одежды «Eleandr»:**  
*«Распознавание художественного эскиза модели одежды», «Eleandr-конструктор»,  
 «Eleandr-КМ», «Eleandr-графика», «Eleandr САПР», «Интерактивная система  
 виртуального проектирования манекена и конструкций женской одежды», «Система  
 виртуального моделирования женской одежды»*

В соответствии с заключенными договорами о приобретении и техническом обслуживании программного обеспечения по автоматизации конструкторско-технологических работ настоящим актом подтверждается внедрение результатов диссертационной работы Гетманцевой В.В. «Научные основы интеллектуализации виртуального проектирования конструкции и технологии изготовления одежды», выполненной на кафедре художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий ХМКиТШИ ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», на швейных предприятиях России и Белоруссии.

Внедрение универсальных модулей системы автоматизированного проектирования (САПР) одежды «Eleandr» проведено в ООО «Техмастер (г. Москва), ООО «БелосКом» (г. Москва), ЗАО «Альпекс Класе» (г. Москва), ОАО «Валерия» (Московская обл., г. Коломна), ООО «ПРАТО» (Московская обл. г. Лобня), ООО «Мирион» (г. Москва), ООО «Аллегро-Классика БЛШ» (Московская обл., г. Королев), ООО «Тримонти» (г. Москва), ООО «Аран» (Московская обл., Раменский р-он, д. Шмеленки), ООО «Швейное объединение Кузбасса» (Кемеровская обл. г. Осинники), ООО «Премьер Мода» (Московская обл., г. Лобня), ООО «Физио» (г. Москва), ИП Жуков М.В. (г. Орел), ЗАО «Производственная коммерческая фирма Центр Моды «Медстильсервис» (г. Москва), ООО «СКАРА» (Новгородская обл., Новгородский р-он, п. Волховец), ООО «Легпроммаркет» (г. Москва), ООО «Спецшшив» (г. Липецк), ОАО «Валерия» (Московская обл.), ООО «Самое Фенш Групп» (г. Москва), ИП Картышева А.С. (Московская обл., Чеховский р-он, п. Любучаны), ИП Правашинский В.В (г. Фрязино, Московская обл.), ЗАО «ПС Рассвет» (Чувашская р-ка, г. Чебоксары), ООО «Квалитет твайс» (г. Самара), ООО «РТМ Сервис» (г. Казань), ОАО «СТАРТ» (г. Москва), ОАО «Сургутнефтегаз» (г. Сургут), ЗАО ПКФ «Эlegant» (г. Ростов-на-Дону), ООО «Бувер Энтерпрайзес» (г. Рязань), ЗАО «Франт» (Московская обл. Можайский р-он, пос. Кольчево), КУПП «Витебчанка» (г. Витебск), ООО «Торговый Дом «МЕУЧЧИ» (Московская обл., г. Лобня), ООО «Азовская швейная фабрика №13» (Ростовская обл. г. Азов), ООО «Бриг» (г. Нижний Новгород), ООО «Вега» (Московская обл., г. Волоколамск), ООС «Мега-Т» (г. Владивосток).

**Суммарный экономический эффект** от внедрения разработанных универсальных модулей САПР одежды за период с 2004 по 2019 год **составил 82 831 тыс. руб.**, в связи с сокращением трудоемкости нормирования затрат времени на технологические операции на 25%; затрат времени на формирование организационно-технологической схемы процесса производства одежды на 14% затрат времени на подготовку проектно-конструкторской документации на новые модели одежды на 50%; затрат времени на запуск в производство промышленных коллекций одежды на 30%.

Зам. генерального директора  
 ООО «Центр инновационных стратегий»



*E. Shinkarenko*

Шинкаренко Е.А.





ООО «Карамелли»  
 ИНН 7724680145, КПП 772401001  
 Почтовый адрес: 119021 г. Москва Комсомольский пр-т.д. 16/2  
 Телефон: (495)737 38 95  
 e-mail: karameLLi@karameLLi.ru  
 Юридический адрес: 119021 г. Москва, Комсомольский пр-т.д. 16/2, стр. 11, пом. 1  
 ОГРН 5087746331349 от 31.10.2008 г.

16 января 2020 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Ген. директор ООО «Карамелли»  
 Макаренко М. А.



#### Акт

### о внедрении результатов разработок на тему: ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ГЛОБАЛЬНЫХ РЫНКАХ

Настоящий акт составлен в том, что в производственных условиях ООО «Карамелли» использованы материалы научных исследований по цифровизации проектирования и изготовления изделий легкой промышленности детского ассортимента в рамках новой индустриальной парадигмы использования цифровых виртуальных технологий для повышения удовлетворенности потребностей все более широкого круга покупателей.

Реализация этой парадигмы осуществлялась путем внедрения следующих разработок:

- ❖ проведение антропометрического исследования российских детских фигур с помощью отечественной технологии трехмерного сканирования фигуры человека для обеспечения наиболее полного соответствия проектируемой одежды ее потребителям;
- ❖ виртуальное конструирование и моделирование деталей детской одежды с помощью универсальных и параметрических модулей САПР как в двумерной, так и в трехмерной среде;
- ❖ разработка последовательности приемов технологической обработки детской одежды с учетом материалов и оборудования, имеющихся на предприятии;
- ❖ методы виртуальной оценки качества посадки готовых изделий с учетом значительной вариабельности свойств используемых материалов путем проведения виртуальных примерок проектируемых моделей одежды на типовых и индивидуальных виртуальных манекенах, отображающих цифровой образ тела человека;



- ❖ система виртуального представления проектируемых моделей с помощью объективной 3D визуализации;
- ❖ организация виртуального взаимодействия с оптовыми и розничными покупателями путем представления в Интернете промышленной коллекции и продвижения ее онлайн-продаж с помощью 3D визуализации готовых изделий на цифровых образах типовых и индивидуальных фигур.

Контроль за преобразованием цифровой информации об изделии в 2D и 3D виртуальной среде проектирования и возможность объективной оценки проектных решений лежат в основе виртуального представления отечественной швейной продукции на глобальных рынках.

*Экономический эффект* от реализации данной работы составил 18, 511 млн. руб. за 2015-2019 гг. для продвижения отечественной продукции на глобальных рынках»

Разработанная продукция соответствует уровню лучших мировых образцов и технологических достижений, что в полной мере позволяет решить задачу обеспечения детского населения эргономичной и функциональной одеждой высокого качества, что способствует повышению конкурентоспособности производителя и помогают решению импортозамещения в РФ.

От ООО «Карамелли»:  
Начальник отдела сбыта  
Главный дизайнер  
Главный инженер-технолог



Кузьмина Л. А.  
Бердникова А. В.  
Черидникова Е. В.

От РГУ им. А.Н. Косыгина:

проф., д-р соц. наук, канд. техн. наук  
доц., канд. техн. наук  
проф., д-р техн. наук  
проф., д-р техн. наук



В.С. Белгородский  
В.В. Гетманцева  
Е.Г. Андреева  
И.А. Петросова



СУДАРЬ

Акционерное общество «Сударь»  
(АО «Сударь»)  
Россия, 601911, Владимирская область  
г. Ковров, Еловая ул., д.100  
Тел. (49232) 3-11-12, факс (49232)5-56-45  
E-mail: [sudar@sudarmen.ru](mailto:sudar@sudarmen.ru)  
<http://www.sudarmen.ru/>  
ОКПО 05000909, ОГРН 1023301952992  
ИНН/КПП 3305005714/330501001  
№ 0119 от 16.01.20.



«УТВЕРЖДАЮ»  
Ген. директор АО «Сударь»  
Степанова Екатерина Константиновна  
16 января 2020 г.

### Акт

о внедрении результатов разработок на тему:

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ГЛОБАЛЬНЫХ РЫНКАХ

Настоящий акт составлен в том, что в производственных условиях швейного предприятия «Сударь» использованы материалы научных исследований по разработке методов проектирования и технологии изготовления инновационной швейной продукции мужского ассортимента, виртуального представления актуальных промышленных коллекций и их продвижения для онлайн-продаж как дистрибьютерам, так и розничным покупателям.

Для реализации результатов исследования систематизирована антропометрическая информация о потенциальных потребителях мужских костюмов с помощью разработанной отечественной технологии трехмерного сканирования, использовано информационное обеспечение модулей виртуального конструирования, моделирования, формирования способов технологической обработки одежды и оценки полученных проектных решений как в двухмерной, так и в трехмерной среде предложенной САПР.

В промышленном производстве апробированы и внедрены:

- технология и система трехмерного сканирования тела человека и объектов сложной формы для получения виртуального отображения цифрового образа индивидуальной фигуры человека;
- система 2D/3D автоматизированного проектирования одежды, включающая как универсальные, так и параметрические модули;
- система оценки качества посадки готовых изделий с учетом значительной вариабельности свойств используемых материалов;

- система конфекционирования материалов с учетом малоизученных свойств текстильных полотен;
- система виртуального представления проектируемых моделей с помощью объективной 3D визуализации;
- система интерактивного виртуального подбора одежды, в наибольшей степени подходящей фигуре потребителя.

Внедрение результатов исследования свидетельствуют об успешном импортозамещении инновационного технологического оборудования, основанном на отечественном программном обеспечении, и об эффективности использования современных цифровых технологий в легкой промышленности.

Экономический эффект от использования результатов исследований составил 21,76 млн. руб. за период с 2016 по 2019 гг. за счет повышения объема продаж выпускаемой продукции и снижения себестоимости ее изготовления за счет внедрения цифровых технологий.

От АО «Сударь»:

Директор по производству



О.А. Максимова

Старший технолог



И.Ю. Гурова

Начальник экспериментального цеха



С.А. Остапышина

От ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина:

проф., д-р соц. наук, канд. техн. наук



В.С. Белгородский

проф., д-р техн. наук



Е.Г. Андреева

проф., д-р техн. наук



И.А. Петросова



«УТВЕРЖДАЮ»  
Генеральный директор ООО «АНИКОМ»

Петухова Светлана Ивановна



19.06.2019 г.

г. Москва

**АКТ  
промышленного внедрения**

**системы автоматизированного проектирования одежды  
«Eleandr-конструктор», «Eleandr-КМ», «Eleandr-градация», «Распознавание  
художественного эскиза модели одежды»**

Комиссией в составе представителей ООО «АНИКОМ» и представителей ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» составлен акт о внедрении модулей интегрированной системы автоматизированного проектирования одежды «*Eleandr-конструктор*», «*Eleandr-конструктор*», «*Eleandr-КМ*», «*Eleandr-градация*», «*Распознавание художественного эскиза модели одежды*» для промышленного проектирования одежды женского и детского ассортимента с 2014 года. Система обеспечивает построение эскизных решений, базовых и модельных конструкций женской и детской одежды, комплекта лекал для промышленного изготовления модельного ряда. Использование САПР Eleandr снижает затраты времени на процесс разработки проектно-конструкторской и проектно-технологической документации на швейные изделия и сроки запуска новых моделей в производство. Благодаря представлению чертежей в цифровом формате обеспечивает возможность оперативного взаимодействия с филиалами предприятия, удалёнными от центрального производственного комплекса.

Представители ООО «АНИКОМ»

Петухова Светлана Ивановна (Генеральный директор)

Представители ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

Ректор проф., д-ра соц. наук, канд. техн. наук. Белгородский Валерий Савельевич

Профессор, д-р. техн. наук, проф. Андреева Елена Георгиевна,

Доцент, канд. техн. наук, доц. Гетманцева Варвара Владимировна

Профессор, д-р. техн. наук, доц. Петросова Ирина Александровна

# ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «РЕМИКС»

✉ 117587, Москва, Варшавское шоссе, д.125 Ж, оф 230  
E-mail: REMIX@REMIXLINE.RU

«УТВЕРЖДАЮ»  
Генеральный директор ООО "Ремикс"  
Казначеев А.В.



27.06.2019 г.

г. Москва

## Акт промышленного внедрения

**системы 2D/ 3D автоматизированного проектирования одежды,  
включая программы для ЭВМ  
«Eleandr-конструктор», «Eleandr-КМ», «Eleandr-градиация», «Распознавание  
художественного эскиза модели одежды»**

Комиссия в составе представителей ООО "Ремикс":

главного инженера Кириллова Алексея Ивановича  
коммерческого директора Алексева Анатолия Викторовича  
главного конструктора, канд. техн. наук Филиновой Натальи Геннадьевны  
главного технолога Климентьевой Ирины Игоревны

и представителей ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

ректора проф., д-ра соц. наук, канд. техн. наук. Белгородского Валерия Савельевича  
профессора, д-ра техн. наук, проф. Андреевой Елены Георгиевны,  
доцента, канд. техн. наук, доц. Гетманцевой Варвары Владимировны  
профессора, д-ра техн. наук, доц. Петросовой Ирины Александровны

составили акт о внедрении модулей системы автоматизированного проектирования одежды «Eleandr-конструктор», «Eleandr-конструктор», «Eleandr-КМ», «Eleandr-градиация», «Распознавание художественного эскиза модели одежды» для промышленного проектирования женской одежды легкого ассортимента с 2018 года. Система обеспечивает построение базовых и модельных конструкций мужской и женской одежды. Использование САПР Eleandr снижает затраты времени на процесс разработки проектно-конструкторской и проектно-технологической документации на швейные изделия и сроки запуска новых моделей в производство. Благодаря представлению чертежей в цифровом формате обеспечивает возможность оперативного взаимодействия с филиалами предприятия, удалёнными от центрального производственного комплекса. Примерный экономический эффект от внедрения вышеуказанных модулей САПР составляет 200000 руб. в год

Кириллов А.И.

Белгородский В.С.

Алексеев А.В.

Андреева Е.Г.

Филинова Н.Г.

Гетманцева В.В.

Климентьева И.И.

Петросова И.А.



ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»

Входящий № 02.01-991

Дата 01 ИЮЛ 2019



г. Москва



АКТ

«УТВЕРЖДАЮ»  
 Начальник конструкторского бюро  
 АО НПП «Класс»  
 Злыднев И.М.  
 19 декабря 2019 г.

**о внедрении в опытно-экспериментальное производство универсальных модулей системы автоматизированного проектирования одежды «*Eleandr-конструктор*», «*Eleandr-КМ*», «*Eleandr-градация*»**

Комиссией в составе представителей АО НПП «Класс» и представителей ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н.Косыгина» составлен акт о внедрении универсальных модулей системы автоматизированного проектирования (САПР) одежды «*Eleandr-конструктор*», «*Eleandr-КМ*», «*Eleandr-градация*» в условиях опытно – экспериментального производства и реализации метода виртуального проектирования одежды специального назначения мужской ассортиментной группы.

Внедренная в производство система автоматизированного проектирования включает в себя базу данных базовых и исходных модельных конструкций с категоризацией по ассортименту, решению формы и вариантами конструктивных параметров. Реализация метода виртуального проектирования с помощью универсальных модулей САПР осуществлена при разработке проектно-конструкторской и проектно-технологической документации на модели мужской тактической экипировки в условиях опытно-экспериментального производства компании АО НПП «Класс».

Использование универсальных модулей САПР позволяет улучшить качество проектируемых образцов, сократить сроки конструирования, моделирования и разработки проектной документации. Использование современного метода виртуального проектирования способствует улучшению цифровой коммуникации между подразделениями компаниями, сторонними подрядчиками и покупателями.

Представители АО НПП «Класс»:  
 Зам. нач. конструкторского отдела  
 Инженер-конструктор  
 Инженер-конструктор

Федосеев И.В.  
 Сенчев А.П.  
 Павлова Л.В.

Представители ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н.Косыгина»:  
 Доц. кафедры ХМКиТШИ, канд. техн. наук  
 Проф. кафедры ХМКиТШИ д-р техн. наук  
 Студ. гр. ЛКШ116

Гетманцева В.В.  
 Андреева Е.Г.  
 Иващишина А.С.

## АКТ

о внедрении в производственный процесс  
результатов магистерской диссертационной работы Грушиной А.А.  
на тему «Разработка методики проектирования пространственной формы одежды с  
учетом свойств материалов»  
руководитель ВКР: доц. д.т.н. Гетманцева В.В.  
руководитель магистерской программы Петросова И.А.

Настоящий акт составлен комиссией в составе главного конструктора Соколовой Елены Валентиновны, начальника отдела Зеновой Полины Анатольевны о том, что в условиях швейной компании «Остин» магистрантом Грушиной Анной Андреевной разработана методика проектирования одежды со складчатой поверхностью и выполнено производственное внедрение проектно-конструкторской документации на модель женского платья.

14.05.2018 г. Москва

Старший конструктор  
Начальник отдела

*Соколова*  
*Зенова*



Соколова Е.В.  
Зенова П.А.

**УТВЕРЖДАЮ**

Генеральный директор

ООО «Славянка»

Шукшина Т.М.

12 июля 2011 г.

**АКТ**

внедрения программно-методического модуля «3D Эскиз», разработанного на кафедре «Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий» МГУДТ аспирантами Киселевой М.В. и Бояровым М.С. под руководством к.т.н. Гетманцевой В.В.

Настоящий акт составлен комиссией представителей ООО «Славянка». В условиях швейного производства проводилась апробация системы трёхмерного параметрического моделирования женских поясных изделий.

Использование системы позволило разработать модели юбок в компьютерной среде по исходному техническому описанию изделия. Полученные трёхмерные изображения юбок соответствуют графическому и визуальному образу моделей. 3D эскиз в системе отвечает заданным иллюстрационным и информационным функциям. Преимуществом задания трёхмерного эскиза в электронном виде является визуальное соответствие образу модели в эскизе и корректность задания графического образа. Использование предложенного научного метода позволяет осуществлять виртуальное проектирование конструкций заданного внешнего вида с учётом свойств, применяемых материалов, прогнозировать посадку изделия новых моделей, сокращая время на разработку изделия.

С использованием системы на предприятии были разработаны модели юбок. Оценка разработанных моделей юбок проводилась с использованием методики оценки композиционного решения модели на этапе создания эскиза и конструкции.



Используемая при проектировании методика позволила получить конкурентоспособные изделия, соответствующие требованиям, предъявляемым к современной модной одежде. Использование базы данных исходных модельных форм для создания трёхмерного эскиза позволяет осуществлять быструю сменяемость моделей, и сократить затраты времени на разработку конструкторской документации.

Председатель комиссии:

Генеральный директор

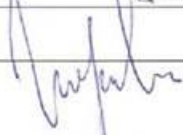
Шукшина Т.М. 

Члены комиссии:

Главный технолог

Баранова А.С. 

Начальник производства

Глухова О.Л. 

Представители кафедры «Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий» МГУДТ:

Научный руководитель, к.т.н.

Гетманцева В.В. 

Ответственный исполнитель, асп.

Киселева М.В. 

Ответственный исполнитель, асп.

Бояров М.С. 



**УТВЕРЖДАЮ**  
Генеральный директор  
ООО «Ателье-2»  
Горбова В.С.  
« 12 » октября 2011г.

## АКТ

внедрения интерактивной системы виртуального проектирования манекена и конструкций женской одежды, разработанной по результатам научных исследований, проведённых на кафедре «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий» МГУДТ

### **Наименование и состав изделия, его функциональное назначение:**

«Интерактивная система виртуального проектирования манекена и конструкций женской одежды».

Функциональное назначение – проектирования внешней формы и конструкций одежды в трёхмерной среде.

Система, разработана на кафедре ХМКиТШИ группой авторов: Гетманцева В.В., Гальцова Л.О., Бояров М.С.

Современный потребитель стремится к созданию гармоничного индивидуального внешнего образа, в связи с этим повышаются его требования к эстетичности одежды. Для удовлетворения запросов индивидуального потребителя необходимо внедрение новых технологий проектирования, отличающихся возможностью автоматизированного получения конструкций изделий с заданными эстетическими характеристиками.

При использовании интерактивной системы виртуального проектирования для создания конструкций моделей женской одежды комиссией ООО «Ателье-2» отмечены следующие преимущества:

1. высокий уровень параметризации системы;
2. возможность оценки качества посадки изделия на любой нетиповой фигуре;

3. возможность оценки качества посадки изделия при изменении прибавок на свободу облегания;
4. возможность получения качественной двухмерной конструкции за счёт высокого уровня считываемой информации с трёхмерного изображения;
5. возможность визуализации фактуры материала;
6. минимальный вес программы в силу универсальности производимых расчётов;
7. удобство работы оператора с пользовательским меню.

Образцы моделей, отшитые по спроектированным в системы конструкциям, обладают хорошей эстетичностью внешнего вида и имеют высокое качество посадки на любой фигуре.

Применение интерактивной системы виртуального проектирования позволит снизить затраты труда конструктора за счет сокращения производственного цикла на этапах художественного и конструктивного проектирования.

Отмечено, что предлагаемая система трёхмерного проектирования внешней формы изделия на типовые и индивидуальные фигуры может быть использована при создании моделей одежды для всех типов фигур в условиях промышленного производства.

Председатель комиссии:

Генеральный директор \_\_\_\_\_ Горбова В.С.

Члены комиссии:

Главный инженер \_\_\_\_\_ Ковнин Ю.С.

Начальник экспериментального цеха \_\_\_\_\_ Кунцова Е.А.



Представители кафедры «Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий» МГУДТ:

Научный руководитель, к.т.н. \_\_\_\_\_ Гетманцева В.В.

Исполнители: асп. \_\_\_\_\_ Гальцова Л.О.

асп. \_\_\_\_\_ Бояров М.С.

«12» октября 2011 г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Гротеск»

/Бусыгина Т.С./

109382, г.Москва, ул.Мариупольская, д.6, офис28

«14» ~~сентября~~ 2018 г.



АКТ

внедрения метода автоматизированного проектирования  
конструктивно-декоративных элементов швейных изделий

Настоящий акт составлен комиссией представителей ООО «Гротеск» и представителями авторов в лице к.т.н., доц. кафедры «Художественного моделирования, конструирования и технологии» Гетманцевой В.В. и аспиранта Мурашовой Н.Г.. В условиях швейного производства проводились апробация и внедрение метода автоматизированного проектирования конструктивно-декоративных элементов (КДЭ), разработанного на кафедре «Художественного моделирования, конструирования и технологии» Московского государственного университета дизайна и технологии.

Метод заключается в проектировании конструктивно - декоративных элементов в автоматизированном режиме, в проектировании художественного трехмерного эскиза и взаимосвязанной с ним конструкции, за счет использования параметрического описания внешней формы и пространственного положения декоративных элементов.

В соответствии с разработанным методом автоматизированного проектирования осуществляется построение трехмерного эскиза внешней формы декоративного элемента заданной формы (на примере карманов, воротников и манжет) и его плоскостного конструктивно-декоративного решения.

Комиссией отмечены следующие преимущества использования метода автоматизированного проектирования КДЭ:

- возможность визуальной оценки конструктивно-декоративного элемента на этапах проектирования еще до изготовления образца в материале;
- возможность модификации графического решения конструктивно-декоративного элемента в интерактивном режиме и получения параметрических характеристик, необходимых для построения конструкции;
- разработанный метод обеспечивает согласованность художественного и конструктивного решения проектируемого элемента.

На предприятии ООО «Гротеск» под ТМ «Ремикс» с использованием метода автоматизированного проектирования конструктивно-декоративных элементов были разработаны коллекции женских швейных изделий легкого ассортимента на сезоны весна-лето 2011г. и осень- зима 2011-2012 г.

Разработанный метод проектирования КДЭ повышает качество разрабатываемых моделей воротников и карманов, сокращает трудоемкость конструкторских работ и уменьшают производственные материальные затраты.


Представители  
ООО «Гротеск»

Генеральный директор

  
/Бусыгина Т.С./



Представители авторов

  
/К.т.н., доц.. Гетманцева В.В./

  
/Аспирант Мурашова Н.Г./

«14» октября 2011г.



«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Классик Дизайн»



/Воронина Н.Г.

127282 г. Москва, Чермянский проезд, д.5

E-mail: [knscollection@mail.ru](mailto:knscollection@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 построения внешней формы изделия и модуль построения и редактирования плоскостной конструкции модели одежды заданного покроя 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.

ООО «Студия Сервис»

Гл. конструктор

Лаврухина Л.В.

Тел. (968) 090-12-98

Дата (30.06.17)

## Акт внедрения

## Проектно-конструкторской документации на модели детской одежды

Заказчик ООО «Студия Сервис»

Исполнитель бакалавр 4-го курса РГУ им. А.Н. Косыгина Склеина А.В. кафедры ХМКиТШИ

Руководитель доц., к.т.н Гетманцева В. В.

Место разработки ателье GlumStyle

Период работ 05.06.17-02.07.17

Предмет разработки 2 Модельные конструкции детских платьев, готовые изделия детской одежды разм 51/116:

-модель 1 Платье детское прямого силуэта для дошкольной группы из плотной трикотажной ткани длиной выше линии колен. Полочка на кокетке до середины линии проймы, на полочке обработаны три встречные складки. Спинка на кокетке до середины проймы, на спинке обработаны три встречные складки. Рукава короткие одношовные длиной до линии локтя, на рукавах обработана декоративная манжета. На спинке обработана застежка «капля» на одну пуговицу и одну навесную петлю.

-модель 2 Платье детское полуприлегающего силуэта для дошкольной группы из трикотажной ткани длиной выше линии колен. Полочка отрезная по линии талии. Спинка разрезная, отрезная по линии талии. Юбка двухслойная на сборке. Рукава короткие одношовные вида «тюльпан». На спинке обработана застежка «капля» на одну пуговицу и одну навесную петлю. Отделкой служит кружево на юбке и декоративный пояс из основной ткани с кружевным цветком.

Разработанные и изготовленные изделия полностью отвечают требованиям, предъявляемым к детскому ассортименту, соответствуют современным тенденциям. Готовые образцы оценены худ.экспертизой. Разработанная документация внедрена в производство.

Исполнитель Склеина А.В. подпись 

Руководитель доц., к.т.н Гетманцева В. В. подпись

Представители заказчика:

Гл конструктор






«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор

ООО «Дизайн Люкс»



/Виноградова О.Г./

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.

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник конструкторского бюро  
АО НПП «Класс»И.М. Злыднев  
04 октября 2019 г.**Техническое задание**на разработку противоосколочного комплекта верхней одежды  
(куртка, брюки)**1 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ****1.1 Основные параметры и характеристики**

**1.1.1** Комплект верхней одежды (куртка, брюки) должен обеспечивать защиту тела человека от поражения осколками, кратковременной защиты от порезов острыми предметами (стеклом, острыми камнями и т.п.).

**1.1.2** Куртка и брюки должны состоять из следующих слоев:

- Материал верха (огнестойкая ткань с высоким сопротивлением к истиранию - материал определяется Заказчиком);
- Баллистический защитный слой (материал определяется Заказчиком массой 250 г/кв.м);
- Тань подкладочная 55-70 г/ кв.м.

**1.1.3** Куртка должна быть выполнена на подкладке, иметь прямой силуэт со стояче-отложным воротником (внутренняя часть воротника должна быть выполнена из подкладочной ткани), отстегивающимся капюшоном и одношовными рукавами рубашечного типа. Все паты изготавливать из ткани верха.

**1.1.4** Застежка куртки центральная и должна производиться на разъемную двухзамковую молнию, не доходящую до низа изделия (для обеспечения лучшей эргономики в положении полного приседа).

**1.1.5** С внутренней стороны куртки за молнией должна быть расположена планка с баллистической тканью.

**1.1.6** На полочках куртки должны быть расположены два прорезных нагрудных кармана на молнии. Вход карманов должен быть с небольшим наклоном верхней части в сторону центра для возможности эксплуатации при надетом бронежилете.

**1.1.7** На груди справа и слева над карманами должна быть расположена контактная лента (ворсовая часть) под обозначение ФИО, группы кроки/резус фактор.

**1.1.8** Баллистическая ткань должна быть расположена с изнанки куртки, проходить по спине и полочкам и заканчиваться на 10 см ниже линии талии.



**1.1.9** Рукава одношовные с вытачками в области локтей, с карманами для вставки дополнительных демпферных пакетов (слой пенополиуретана толщиной не менее 10 мм) в области локтей.

**1.1.10** Рукава должны иметь прорезные вертикальные карманы на молнии в верхней части руки. Низ рукавов должен фиксироваться на пату с контактной лентой.

**1.1.11** Во всю длину рукава должна проходить двухзамковая, рулонная молния, переходящая в боковой шов и не доходящая до талии 15 см. С изнанки рукава должна быть расположена баллистическая ткань.

**1.1.12** На рукавах в области карманов должна быть расположена контактная лента (ворсовая часть) под размещение знаков отличия.

**1.1.13** Брюки должны иметь прямой силуэт с притачным поясом и гульфиком на молнии.

**1.1.14** На передних половинках брюк должны быть расположены карманы с отрезным бочком.

**1.1.15** В области колен должны быть расположены вытачки и наколенные карманы для вставки дополнительных демпферных пакетов (слой пенополиуретана толщиной не менее 10 мм).

**1.1.16** Боковые швы брюк оснащены двухзамковой молнией от талии и до низа брюк, защищенной застегивающейся планкой на контактную ленту.

**1.1.17** На задних половинках брюк в области пояса должны быть вытачки или отрезные кокетки.

**1.1.18** В области сидения должна быть расположена усилительная накладка в виде эллипса или шестигранника из ткани верха.

**1.1.19** Низки брюк должны фиксироваться на пату с контактной лентой проходящую через рамку.

**1.1.20** Пояс брюк должен фиксироваться в области бокового шва на пату с контактной лентой проходящую через рамку.

**1.1.21** В поясе в боковых швах, задней половинки брюк расположены петли для крепления помочей типа «восьмерка».

**1.1.22** Баллистический слой пакета материалов должен располагаться с изнанки изделий и защищать абсолютно всю поверхность тела, находящуюся в костюме.

## **1.2** Технические характеристики

**1.2.1** Комплект должен быть изготовлен в соответствии со следующими размерными характеристиками:

- По ростам; 158-164; 170-176; 182-188
- По размерам; 96-100; 104-108; 112-116; 120-124

**1.2.2** Площадь противоосколочной защиты должна обеспечивать  $V_{50\%} \geq 200$  м/с – в проекции вставок во фронтальной, тыльной и боковой поверхности торса, в области шеи, фронтальной поверхности бедер, коленных и локтевых суставов, нижней части головы (при одетом капюшоне), общей площадью 140 дм<sup>2</sup>.

**1.2.3** Общая масса комплекта должна быть не более 3 600 г.

**1.2.4** Противоосколочный комплект верхней одежды должен сохранять защитные свойства при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 50 °С, а также после воздействия влаги.

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник конструкторского бюро  
АО НПП «Класс»  
Злыднев И.М.

21 мая 2020 г.



г. Москва

**апробации метода виртуального проектирования одежды  
в условиях опытно-экспериментального производства**

Настоящий акт составлен комиссией в составе представителей АО НПП «Класс» и представителей ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н.Косыгина» в том, что в условиях опытно-экспериментального производства проведена промышленная апробация метода виртуального проектирования одежды на примере разработки проекта верхней одежды специального назначения. Поставленные в техническом задании задачи решены в полном объеме в проектной документации, разработанной с помощью метода виртуального проектирования одежды, предложенного специалистами кафедры ХМКиТШИ РГУ им. А.Н.Косыгина.

Проектно-конструкторская и проектно-технологическая документация на модель мужской тактической экипировки соответствует:

- ✓ размерно-ростовочному ассортименту предполагаемых потребителей;
- ✓ требованиям условий эксплуатации комплекта;
- ✓ свойствам рекомендуемого пакета материалов.

Метод виртуального проектирования одежды может эффективно использоваться для проектирования изделий мужской ассортиментной группы специального назначения, так как предлагаемые инструменты позволяют улучшить качество и сроки проектирования образцов. Использование доступного и удобного цифрового формата проектирования позволяет сократить трудозатраты при взаимодействии отделов предприятия, вовлеченных в рабочий процесс.

Представители АО НПП «Класс»:

Зам.нач. конструкторского отдела  
Инженер-конструктор  
Инженер-конструктор

Федосеев И.В.  
Сенчев А.П.  
Павлова Л.В.

Представители ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н.Косыгина»:

Доц. кафедры ХМКиТШИ, канд. техн. наук  
Проф. кафедры ХМКиТШИ д-р техн. наук  
Студ. гр. ЛКШ116

Гетманцева В.В.  
Андреева Е.Г.  
Иващишина А.С.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Генеральный директор

ООО "Анна Тарес"

/ Карташова В.А.

123022, г. Москва, ул. Ходынская, д. 6, офис 61

тел.: (901) 538-63-80, (910) 463-04-03

«20» марта 2012г.



## АКТ

### **апробации опытного образца автоматизированной системы параметрического моделирования одежды «Система виртуального моделирования конструктивно - декоративных элементов одежды»**

Настоящий акт составлен комиссией представителей ООО «Анна Тарес» и представителями авторов в лице к.т.н., доц. кафедры «Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий» Гетманцевой В.В. и аспиранта кафедры Мурашовой Н.Г..

В условиях швейного производства проводились апробация и внедрение опытного образца автоматизированной системы параметрического моделирования одежды «Система виртуального моделирования конструктивно - декоративных элементов одежды». Система разработана в рамках НИОКР на кафедре «Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий» Московского государственного университета дизайна и технологии.

«Система виртуального моделирования конструктивно - декоративных элементов одежды» направлена на автоматизацию этапа художественного проектирования и моделирования конструктивно- декоративных элементов женской одежды за счет баз данных и баз знаний, разработанных по результатам исследований на кафедре «Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий» Московского государственного университета дизайна и технологии.

Разработанная автоматизированная система обеспечивает:

- редактирование конструкций конструктивно- декоративных элементов по определённым параметрам,
- проектирование и редактирование внешнего вида модели конструктивно-декоративного элемента,
- простоту и удобство использования средств автоматизации,
- возможность получения комплекта проектно-конструкторской документации, необходимой для изготовления изделия,
- повышение производительности труда.



Комиссия отмечает, что внедрение системы виртуального моделирования конструктивно- декоративных элементов одежды в процесс проектирования одежды позволяет значительно упростить работу проектировщика, освободить процесс создания модели декоративного элемента 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.

*Представители*  
*ООО «Анна Тарес»*


Генеральный директор

  
Карташова В.А.



*Представители*  
*авторов*

  
к.т.н., доц., Гетманцева В.В.

  
Мурашова Н.Г.

«20» марта 2012г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор  
Производственного объединения  
ООО «Бизнес Партнер»

Соколова А.М.



### 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



Матюшина Т.В.

Художник



Захарова Г.П.

Главный конструктор



Оськина М.И.



24.08.2012

Генеральный директор

ООО «Бизнес Партнер»

/ Соколова А.М.

«УТВЕЖДАЮ»  
Генеральный директор  
«ИП Бакоев»  
Бакоев С.Ю.



АКТ  
Производственной апробации результатов исследования

Настоящий акт составлен представителями «ИП Бакоев» генеральным директором Бакоев С.Ю., главным конструктором Медведева А.С., технологом предприятия Телегина С.В., о том, что в условиях экспериментального цеха предприятия «ИП Бакоев» проведена производственная апробация технологии применения разработанного на кафедре художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н.Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) к.т.н., доц. Гусевой М.А, д.т.н., проф. Андреевой Е.Г., к.т.н., доц. Гетманцевой В.В., д.т.н., проф. Петросовой И.А., д.т.н., доц. Луниной Е.В. устройства для определения конструктивных параметров образцов одежды.

Оригинальное устройство применено для определения конструктивных параметров образцов одежды на этапах анализа моделей-аналогов и оценки качества образцов готовых изделий.

Комиссия отмечает простоту использования указанного устройства, высокий уровень достоверности результатов определения конструктивных параметров изделий. Использование указанного устройства в процессе проектирования швейных изделий в условиях массового и индивидуального производства позволяет снизить затраты времени на конструкторско-технологическую подготовку производства, сократить материальные затраты на разработку новых моделей за счет оптимизации процесса конструктивного анализа изделий, повысить качество выпускаемой продукции.

Представители «ИП Бакоев»

Главный конструктор Медведева А.С.

Главный технолог Телегина С.В.

Представители авторов:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

к.т.н., доц. Гусева М.А.

д.т.н., проф. Андреева Е.Г.

к.т.н., доц. Гетманцева В.В.

д.т.н., проф. Петросова И.А.

д.т.н., доц. Лунина Е.В.




## АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов  
научно-исследовательской работы Гончарук Елизаветы Олеговны на тему  
«Исследование исходной информации для проектирования наколенников для  
сноубордического костюма»,  
выполненной в ФГБОУ ВПО «РГУ им. А.Н. Косыгина» на кафедре ХМ,К и  
ТШИ

Настоящий акт составлен о том, что основные результаты научно-исследовательской работы Гончарук Елизаветой Олеговной, выполненной под руководством проф., д.т.н. Петросовой И.А., доц., к.т.н. Гетманцевой В.В. внедрены в учебный процесс в Технологическом институте легкой промышленности ФГБОУ ВПО в виде презентации и приложения к учебному пособию для проведения лабораторных работ по курсу «Представление и продвижение промышленных коллекций в индустрии моды» для обучения бакалавров по направлению подготовки 29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности».


Ведущий преподаватель по  
дисциплине  
«Представление и продвижение  
промышленных коллекций в  
индустрии моды»

 д.т.н., проф. Петросова И.А.

Ведущий преподаватель по  
дисциплине  
«Представление и продвижение  
промышленных коллекций в  
индустрии моды»

 к.т.н., доц. Гусева М.А.


Руководитель ВКР

 к.т.н., доц. Гетманцева В.В.

Студент гр.

 Гончарук Е.О.

Зав. кафедрой ХМКТШИ

 д.т.н., проф. Зарецкая Г.П.

**Приложение Б**  
**Патенты и свидетельства по результатам**  
**диссертационного исследования**



1. *Мартынова А.И., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г.* Eleandr-конструктор/ Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2007613734 RU; правообладатель НТЦДТ; зарег. 31.08.2007.
2. *Мартынова А.И., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В.* Eleandr-КМ/ Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2007615072 RU; правообладатель: НТЦДТ; зарег. 06.12.2007.
3. *Мартынова А.И., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Минин А.Г.* Eleandr-градация/ Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2007615071 RU; правообладатель: НТЦДТ; зарег. 06.12.2007.
4. *Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Мурашова Н.Г., Разин И.Б.* Распознавание художественного эскиза модели одежды/ Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2011612237 RU; правообладатель - МГУДТ; зарег. 17.03.2011.
5. *Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Гальцова Л.О., Бояров М.С.* Интерактивная система виртуального проектирования манекена и конструкций женской одежды/ Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2012610088 RU; правообладатель: Минпромторг РФ; зарег. 10.01.2012.
6. *Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Бояров М.С.* Система виртуального моделирования женской одежды/ Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013611419 RU; правообладатель: Минпромторг РФ; зарег. 09.01.2013.
7. *Гусева М.А., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Белгородский В.С., Петросова И.А., Лунина Е.В.* Устройство для определения конструктивных параметров образцов одежды// Патент на полезную модель № 179798 RU; патентообладатель РГУ им. А.Н. Косыгина; заявл. 05.12.2017; опубл. 24.05.2018. Бюл. №15.
8. *Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Гетманцева В.В., Петросова И.А., Зарецкая Г.П., Гусев И.Д., Калинина Л.М., Корячихина М.А.* Съёмная накладка с макетами рук на типовой манекен// Патент на полезную модель №183791 RU; патентообладатель РГУ им. А.Н. Косыгина; заявл. 15.06.2018; опубл. 02.10.2018. Бюл. № 28.
9. *Петросова И.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Гетманцева В.В., Гусева М.А.* Трость с тактильным экраном-оболочкой/ Патент на полезную модель № 193964 RU; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; заявл. 22.05.2019; опубл. 21.11.2019 Бюл. № 33.
10. *Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Смирнова Д.С., Крючкова А.А.* Фуражка со съёмными элементами питания/ Патент на полезную модель №194487 RU; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; заявл. 27.09.2019; опубл. 12.12.2019. Бюл. № 35.
11. *Белгородский В.С., Смирнова Н.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Разбродин А.В., Разумеев К.Э., Гетманцева В.В., Петросова И.А.* Базовые цифровые шкалы формообразующих свойств льносодержащих тканей// Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019620688 RU; правообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; зарег. 26.04.2019. Бюл. №5.
12. *Белгородский В.С., Смирнова Н.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Разбродин А.В., Разумеев К.Э., Гетманцева В.В., Петросова И.А.* Базовые цифровые шкалы деформационных свойств льносодержащих тканей// Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019620689 RU; правообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; зарег. от 26.04.2019. Бюл. №5.
13. *Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Петросова И.А., Гетманцева В.В., Новиков М.В., Балакирев Н.А., Юлдашбаев Ю.А.* Параметризация художественно-конструктивных характеристик шкур овец и изделий из них// Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019621729 RU; правообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; зарег. 09.10.2019. Бюл. № 10.
14. *Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Белгородский В.С., Смирнова Н.А.* Параметрическое проектирование складчатых поверхностей в одежде// Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621730 RU, правообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина. Бюл. № 10.
15. *Петросова И.А., Андреева Е.Г., Гусева М.А., Белгородский В.С., Гетманцева В.В.* Способ ориентации в пространстве людей с нарушением зрительных функций с помощью трости с тактильным экраном-оболочкой/ Патент на изобретение № 2727885 RU; патентообладатель: РГУ им. А.Н. Косыгина; опубл. 24.07.2020. Бюл. №21.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

об официальной регистрации программы для ЭВМ

№ 2007613734

«Eleandr-конструктор»

Правообладатель(ли): *Автономная некоммерческая организация «Научно-технический центр дизайна и технологий» (RU)*

Автор(ы): *Мартынова Алевтина Ивановна, Гетманцева Варвара Владимировна, Андреева Елена Георгиевна (RU)*

Заявка № 2007612747

Дата поступления 5 июля 2007 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
31 августа 2007 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

об официальной регистрации программы для ЭВМ

№ 2007615072

«Eleandr-KM»

Правообладатель(ли): *Автономная некоммерческая организация  
«Научно-технический центр дизайна и технологий» (RU)*

Автор(ы): *Мартынова Алевтина Ивановна, Андреева Елена  
Георгиевна, Гетманцева Варвара Владимировна (RU)*

Заявка № 2007613988

Дата поступления 11 октября 2007 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
6 декабря 2007 г.

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

об официальной регистрации программы для ЭВМ

№ 2007615071

«Eleandr - градация»

Правообладатель(ли): *Автономная некоммерческая организация  
«Научно-технический центр дизайна и технологий» (RU)*

Автор(ы): *Мартынова Алевтина Ивановна, Андреева Елена  
Георгиевна, Гетманцева Варвара Владимировна, Минин  
Андрей Григорьевич (RU)*

Заявка № 2007613987

Дата поступления 11 октября 2007 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
6 декабря 2007 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной  
собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2011612237

Распознавание художественного эскиза модели одежды

Правообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет дизайна и технологии» (ГОУВПО «МГУДТ») (RU)*

Автор(ы): *Андреева Елена Георгиевна, Гетманцева Варвара Владимировна, Мурашова Наталья Геннадьевна, Разин Игорь Борисович (RU)*

Заявка № 2011610336

Дата поступления 20 января 2011 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
17 марта 2011 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Б.П. 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.Л. Симонов

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 179798

**Устройство для определения конструктивных параметров образцов одежды**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (RU)*

Авторы: *Гусева Марина Анатольевна (RU), Андреева Елена Георгиевна (RU), Гетманцева Варвара Владимировна (RU), Белгородский Валерий Савельевич (RU), Петросова Ирина Александровна (RU), Лунина Екатерина Васильевна (RU)*

Заявка № 2017142345

Приоритет полезной модели 05 декабря 2017 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 24 мая 2018 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 05 декабря 2027 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 183791

Съемная накладка с макетами рук на типовой манекен

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)" (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2018121925

Приоритет полезной модели 15 июня 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 02 октября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 15 июня 2028 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 193964

**Трость с тактильным экраном-оболочкой**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство.)" (RU)*

Авторы: *Петросова Ирина Александровна (RU), Андреева Елена Георгиевна (RU), Белгородский Валерий Савельевич (RU), Гетманцева Варвара Владимировна (RU), Гусева Марина Анатольевна (RU)*

Заявка № 2019115796

Приоритет полезной модели 22 мая 2019 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 21 ноября 2019 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 22 мая 2029 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 194487

**Фуражка со съёмными элементами питания**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)" (RU)*

Авторы: *Гетманцева Варвара Владимировна (RU), Гусева Марина Анатольевна (RU), Андреева Елена Георгиевна (RU), Смирнова Дарья Сергеевна (RU), Крючкова Анастасия Алексеевна (RU)*

Заявка № 2019130528

Приоритет полезной модели 27 сентября 2019 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 12 декабря 2019 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 27 сентября 2029 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2019620688

**Базовые цифровые шкалы формообразующих свойств  
льносодержащих тканей**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (RU)*

Авторы: *Белгородский Валерий Савельевич (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Гусева Марина Анатольевна (RU), Андреева Елена Георгиевна (RU), Разбродин Андрей Валентинович (RU), Разумеев Константин Эдуардович (RU), Гетманцева Варвара Владимировна (RU), Петросова Ирина Александровна (RU)*

Заявка № 2019620542

Дата поступления 10 апреля 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 26 апреля 2019 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Излиев* Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2019620689

**Базовые цифровые шкалы деформационных свойств  
льносодержащих тканей**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (RU)*

Авторы: *Белгородский Валерий Савельевич (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU), Гусева Марина Анатольевна (RU), Андреева Елена Георгиевна (RU), Разбродин Андрей Валентинович (RU), Разумеев Константин Эдуардович (RU), Гетманцева Варвара Владимировна (RU), Петросова Ирина Александровна (RU)*

Заявка № **2019620541**

Дата поступления **10 апреля 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **26 апреля 2019 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2019621729

**Параметризация художественно-конструктивных  
характеристик шкур овец и изделий из них**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (RU)*

Авторы: *Гусева Марина Анатольевна (RU), Андреева Елена Георгиевна (RU), Белгородский Валерий Савельевич (RU), Петросова Ирина Александровна (RU), Гетманцева Варвара Владимировна (RU), Новиков Михаил Вячеславович (RU), Балакирев Николай Александрович (RU), Юлдашбаев Юсупжан Артыкович (RU)*

Заявка № 2019621638

Дата поступления 27 сентября 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 09 октября 2019 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2019621730

**Параметрическое проектирование складчатых поверхностей  
в одежде**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (RU)*

Авторы: *Гетманцева Варвара Владимировна (RU), Гусева Марина Анатольевна (RU), Андреева Елена Георгиевна (RU), Петросова Ирина Александровна (RU), Белгородский Валерий Савельевич (RU), Смирнова Надежда Анатольевна (RU)*

Заявка № 2019621637

Дата поступления 27 сентября 2019 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 09 октября 2019 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 727 885** <sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
*A61F 9/00 (2006.01)*  
 (52) СПК  
*A61F 9/00 (2020.02)*

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

Статус: действует (последнее изменение статуса: 27.07.2020)

(21)(22) Заявка: [2019115797](#), 22.05.2019(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
22.05.2019Дата регистрации:  
24.07.2020Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 22.05.2019(45) Опубликовано: [24.07.2020](#) Бюл. № [21](#)(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 94037985 A, 10.08.1996. RU  
2451501 C2, 27.05.2012. US 2008251110 A1,  
16.10.2008. US 2009032590 A1, 05.02.2009.Адрес для переписки:  
119071, Москва, М. Калужская, 1, ФГБОУ  
ВО "РГУ им. А.Н. Косыгина", ОНИР  
сектор патентно-лицензионной работы

(72) Автор(ы):

Петророва Ирина Александровна (RU),  
 Андреева Елена Георгиевна (RU),  
 Гусева Марина Анатольевна (RU),  
 Белгородский Валерий Савельевич (RU),  
 Гетманцева Варвара Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 образовательное учреждение высшего  
 образования "Российский  
 государственный университет им. А.Н.  
 Косыгина (Технологии. Дизайн.  
 Искусство)" (RU)






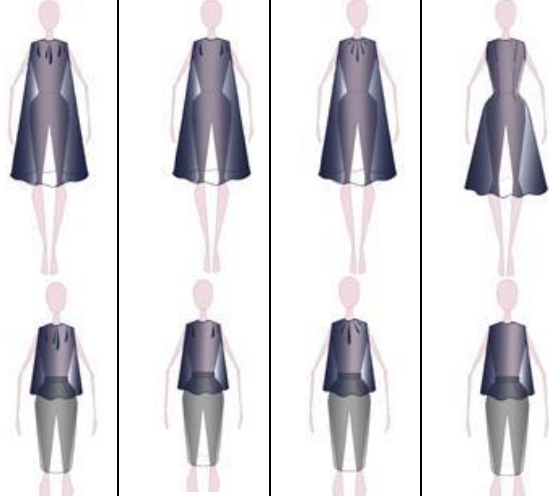






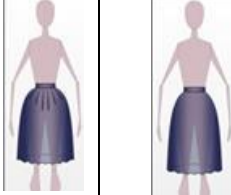
(54) Способ ориентации в пространстве людей с нарушением зрительных функций с помощью трости с тактильным экраном-оболочкой

## **Приложение В**











### **Разработка базовых графических элементов эскиза**



Таблица В.1 - Эскизы базовых графических элементов (фрагмент)

Силуэт и способ формообразования 4 уровень	Варианты конструктивного решения элементов/обозначение				
1	2				
Силуэтная форма, приближена к силуэтной форме фигуры человека, способ формообразования –вытачки (условное соответствие ГФ – цилиндр: БК с различными величинами прибавок), ГФ №1	 F10.1.5	 F10.1.4	 F10.1.3	 F10.1.2	 F10.1.1
Силуэт трапеция (соответствие ГФ – усечённый конус: конструкция с нефиксированным разведением снизу или заужением сверху), ГФ №2	 F10.2.4      F10.2.3      F10.2.2      F10.2.1				
Силуэт овал со сборкой по верхнему и (или) нижнему срезу (соответствие ГФ – овал: конструкция в фиксированном разведении сверху и (или) снизу), ГФ №4	 F10.4.5	 F10.4.4	 F10.4.3	 F10.4.2	 F10.4.1
Силуэтная форма, приближена к силуэтной форме фигуры человека, (соответствие ГФ – цилиндр: БК с различными величинами прибавок), ГФ №1	 F30.1.3      F30.1.2      F30.1.1				
Силуэт трапеция (соответствие ГФ – усечённый конус: конструкция с нефиксированным разведением снизу или заужением сверху), ГФ №2	 F30.2.2      F30.2.1				

## Продолжение таблицы В.1

1	2			
Силуэт овал со сборкой по верхнему и (или) нижнему срезу (соответствие ГФ – овал: конструкция в фиксированном разведении сверху и (или) снизу), ГФ №4		 F30.4.3	 F30.4.2	 F30.4.1
Силуэтная форма, приближена к силуэтной форме участка фигуры человека, способ формообразования – вытачки (соответствие ГФ – цилиндр: БК с различными величинами прибавок), ГФ №1		 F40.1.2	 F40.1.1	
Силуэт трапеция (соответствие ГФ – усечённый конус: конструкция с нефиксированным разведением снизу или заужением сверху), ГФ №2		 F40.2.2	 F40.2.1	
Силуэт овал со сборкой по верхнему и (или) нижнему срезу (соответствие ГФ – овал: конструкция в фиксированном разведении сверху и (или) снизу), ГФ №4		 F40.4.3	 F40.4.2	 F40.4.1

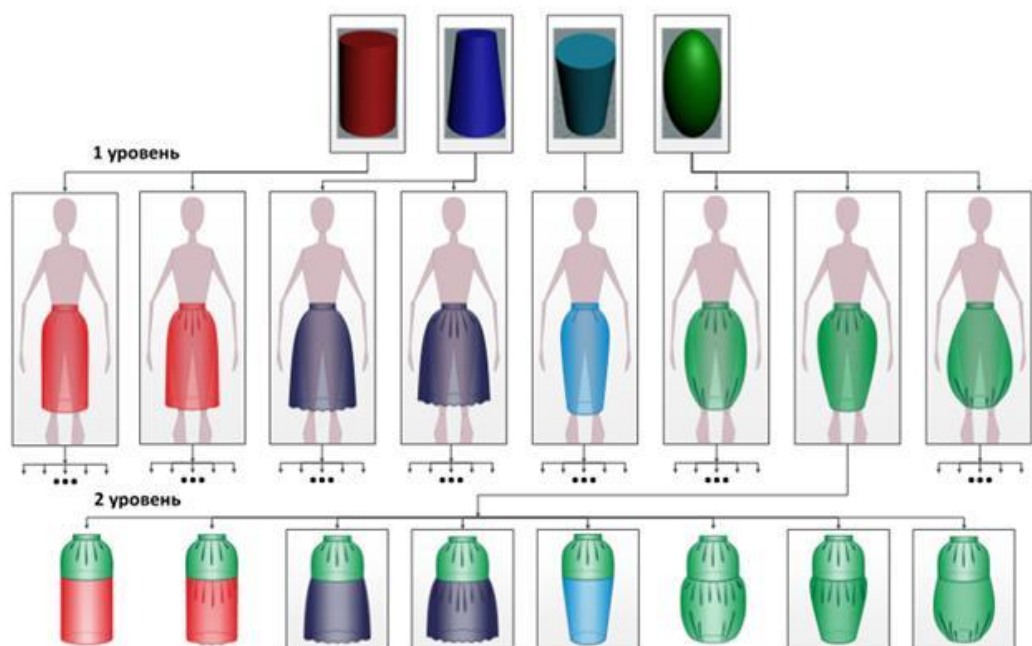
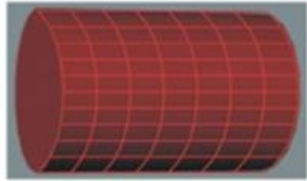
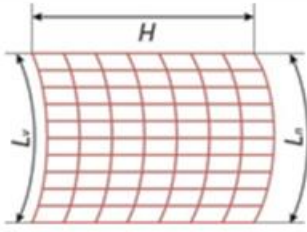
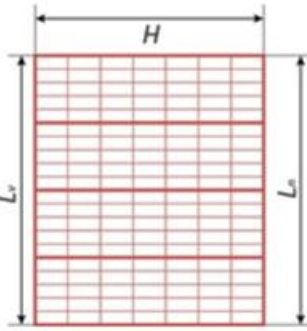
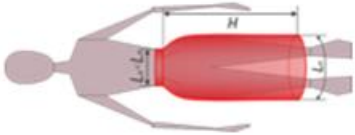
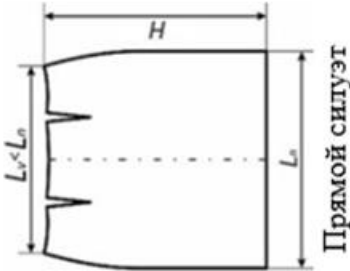

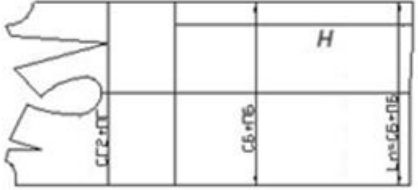
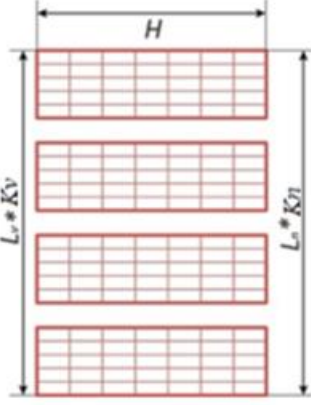
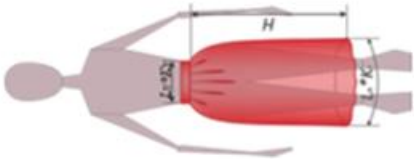
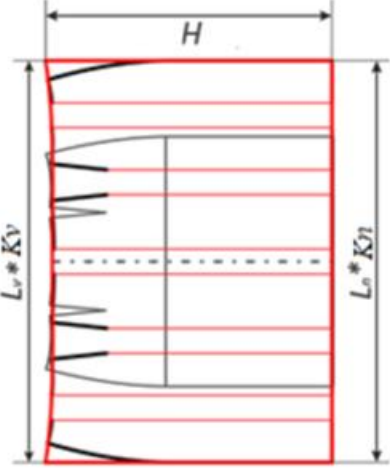

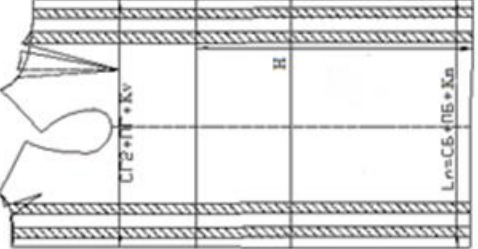


Рисунок В.1- Базовые графические элементов 1 и 2 уровня на примере юбки

Таблица В.2 – Взаимосвязь параметров развёртки базового примитива и конструкции на примере юбки и стана

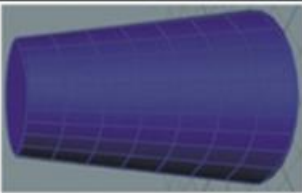
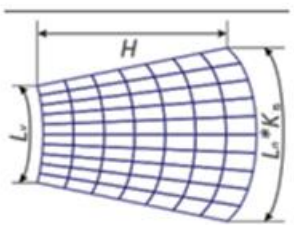
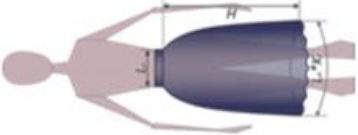
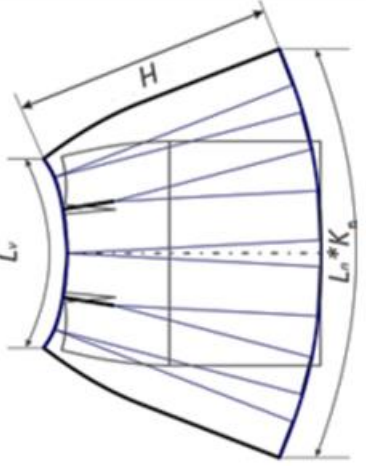
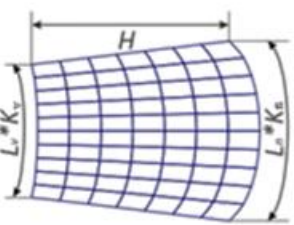
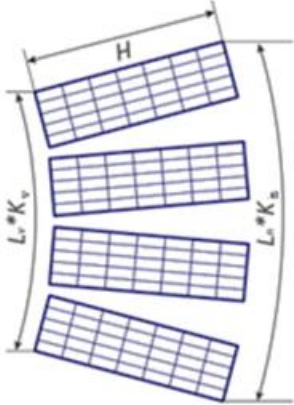
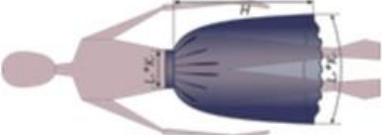
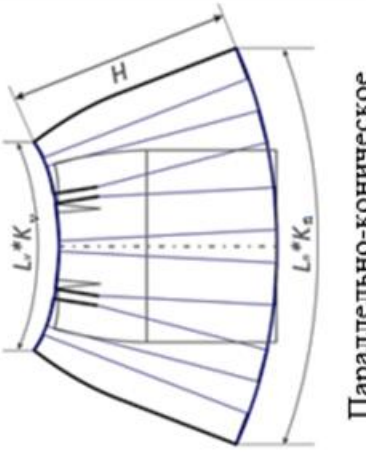
Графическая форма	Абрисная поверхность графической формы	Условная развёртка ГФ	Эскиз БЭФ	Вариант конструктивного решения	Параметры модификации БК
1	2	3	4	5	6
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату бёдер (ПБ);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• ширина изделия по верхнему срезу (<math>L_v</math>);</li> <li>• длина изделия (H)</li> </ul>
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату груди 3 (Пгр3);</li> <li>• прибавка к обхвату бёдер (ПБ);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• длина изделия от линии талии (H)</li> </ul>

Продолжение таблицы В.2

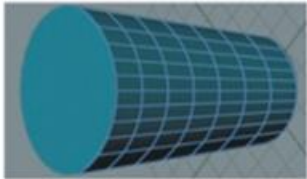
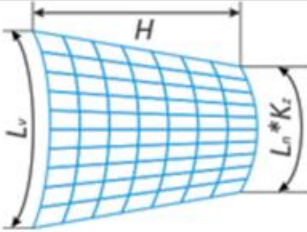
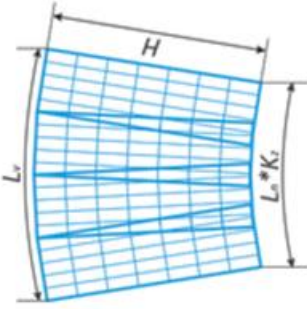

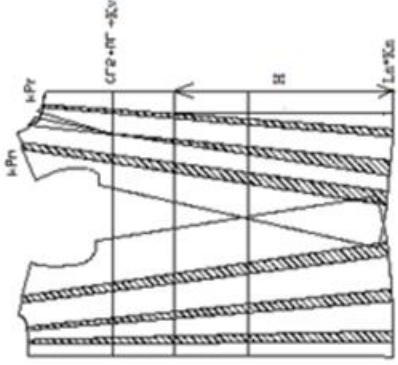
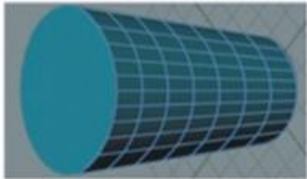
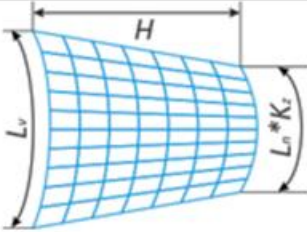
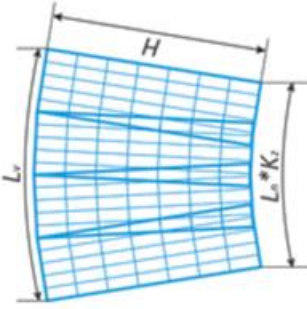
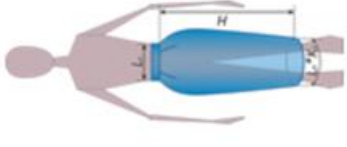
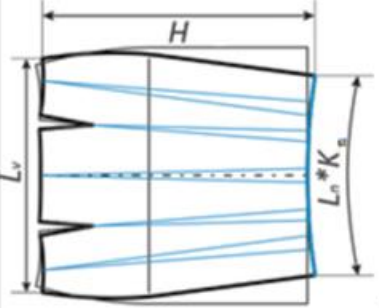
1	2	3	4	5	6
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по верхнему срезу (<math>K_v</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по низу (<math>K_n</math>); (<math>K_n = K_v</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату груди 3 (<math>P_{от3}</math>);</li> <li>• прибавка к обхвату бедер (<math>P_b</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по линии груди (<math>K_v</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по низу (<math>K_n</math>); (<math>K_n = K_v</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>



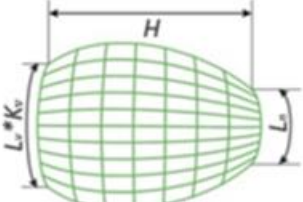
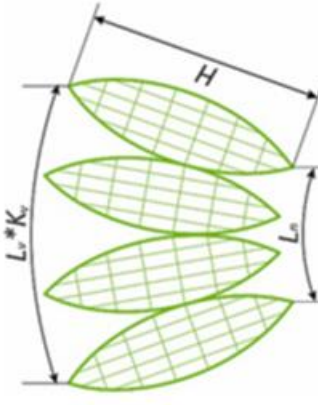
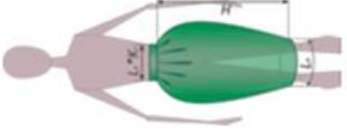
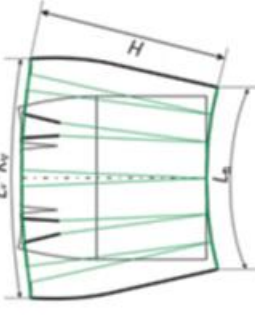

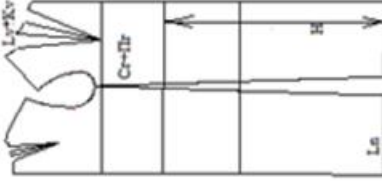
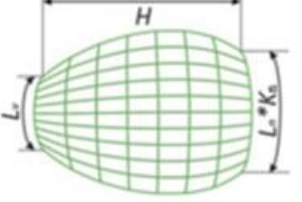
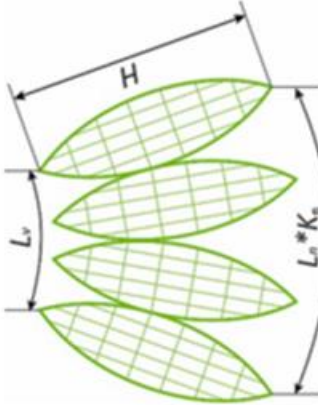
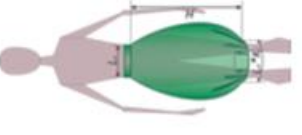
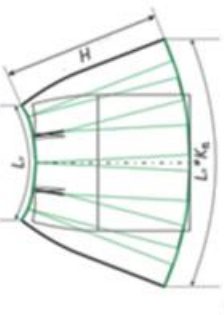
Продолжение таблицы В.2

1					 <p>Не фиксированное коническое разведение</p>	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату бёдер (Пб);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по верхнему срезу (<math>K_v</math>); (<math>K_v=1</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по низу (<math>K_n</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>
2				 <p>Параллельно-коническое разведение, фиксированное сверху</p>	6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату бёдер (Пб);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по верхнему срезу (<math>K_v</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по низу (<math>K_n</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>	

Продолжение таблицы В.2

1			4	5	6
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату груди 3 (<math>P_{ог3}</math>);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по верхнему срезу (<math>K_v</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по низу (<math>K_n</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>
				 <p>Коническое заужение</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату бёдер (<math>P_б</math>);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент заужения по низу (<math>K_n</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>

Продолжение таблицы В.2

1					6
				 <p>Коническое разведение, фиксированное сверху</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату бёдер (Пб);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по верхнему срезу (<math>K_n</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату груди 3 (<math>П_{гр3}</math>);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по верхнему срезу (<math>K_n</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>
				 <p>Коническое разведение, фиксированное снизу</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• прибавка к обхвату бёдер (Пб);</li> <li>• ширина изделия по низу (<math>L_n</math>);</li> <li>• коэффициент разведения по низу (<math>K_n</math>);</li> <li>• длина изделия (<math>H</math>)</li> </ul>



## **Приложение Г**

**Статистическая обработка результатов измерения и сопоставления значений прибавок и проекционных параметров женского плечевого изделия с втачным рукавом**

**Таблица Г.1 – Основные параметры вариационных рядов, исследуемых проекционных и конструктивных параметров**

Наименования показателей вариабельности	Значения показателей вариабельности										
	Конструктивные параметры			Проекционные параметры							
	Пг3	Пг	Пб	Г3	Г1	Т3	Т2	Т1	Б3	Б2	Б1
Медиана (Ме)	3,8	8,2	2,9	2,9	8,6	15,1	32,7	34,9	13,2	9,9	6,2
Средняя величина ( $\bar{x}$ )	4,1	9,2	2,8	2,8	9,2	16,6	35,1	35,4	13,7	10,0	7,1
Среднеквадратичное отклонение ( $\delta$ )	2,2	4,3	0,68	1,1	3,8	5,0	13,4	16,3	1,75	0,52	3,13
3 $\delta$	6,7	12,8	2,0	3,4	11,5	14,9	40,1	48,9	5,2	1,6	9,4
$\bar{x} + 3\delta$	10,8	22,0	4,9	6,2	20,7	31,6	75,2	84,4	19,0	11,5	16,5
$\bar{x} - 3\delta$	-2,6	-3,5	0,8	-0,7	-2,3	1,7	-5,0	-13,5	8,5	8,4	-2,3
Максимальное значение ряда	7,4	15,4	3,5	4,4	15,6	23,0	52,8	55,1	16,4	10,7	12,8
Минимальное значение ряда	1,4	4,1	1,8	1,1	5,1	10,9	19,3	17,8	12,2	9,5	4,2

**Таблица Г.2 - Исходные данные для составления и расчета уравнения множественной регрессии для Пг3**

Параметр	Статистические показатели выборки		Коэффициенты корреляции			
	Среднеарифметические величины	Среднеквадратичные отклонения	$r_{Gi, Gj}$		$r_{пги, Пг3}$	
			$r_{Г3, Г1}$	0,946	$r_{Г3, Пг}$	0,974
Г3	2,8	1,14				
Г1	9,2	3,83			$r_{Г1, Пг}$	0,948
Пг3	4,1	2,23				

**Таблица Г.3 - Исходные данные для составления и расчета уравнения множественной регрессии для Пт**

Параметр	Статистические показатели выборки		Коэффициенты корреляции			
	Среднеарифметические величины	Среднеквадратичные отклонения	$r_{Ti, Tj}$		$r_{Ti, Пт}$	
			$r_{Т3, Т2}$	0,991	$r_{Т3, Пт}$	0,989
Т3	16,6	4,98				
Т2	35,1	13,37	$r_{Т3, Т1}$	0,919	$r_{Т2, Пт}$	0,994
Т1	35,4	16,31	$r_{Т2, Т1}$	0,948	$r_{Т1, Пт}$	0,919
Пт	9,2	4,26				

**Таблица Г.4 - Исходные данные для составления и расчета уравнения множественной регрессии для Пб**

Параметр	Статистические показатели выборки		Коэффициенты корреляции			
	Среднеарифметические величины	Среднеквадратичные отклонения	r Би, Бj		r Би, Пб	
Б3	12,46	4,465	r Б3, Г2	0,982	r Б3, Пб	0,881
Б2	10,28	0,848	r Б3, Г1	0,954	r Б2, Пб	0,901
Б1	6,93	4,005	r Б2, Г1	0,901	r Б1, Пб	0,954
Пб	2,74	0,584				

**Таблица Г.5 - Коэффициенты уравнений регрессионных зависимостей для определения конструктивных параметров Пг, Пт, Пб по проекционным параметрам**

	Значения коэффициентов уравнения регрессии Пг3 от Г3, Г2, Г1	Значения коэффициентов уравнения регрессии Пт от Т3, Т2, Т1	Значения коэффициентов уравнения регрессии Пб от Б3, Б2, Б1
a	-0,501549	-2,07107	5,419071
b	0,488395	-0,047417	0,030232
c		0,407111	-0,329214
d	-0,003612	-0,063034	0,047411

## **Приложение Д**

# **Параметрическая информация о размерах и форме фигуры человека**

Таблица Д.1 – Информативные точки фигуры человека

Обозначение точки	Наименование точки
1	2
Точки, описывающие боковой абрис фигуры на виде спереди/сзади	
$P_{1б}$	Точка верхнего основания шеи сбоку
$P_{13б}$	Точка основания шеи сбоку
$P_5$	Плечевая точка
$P_{15н}$	Точка переднего угла подмышечной впадины (для переда)
$P_{15з}$	Задний угол подмышечной впадины (для спины)
$P_{18б}$	Точка на уровне талии
$P_{7б}$	Повздошно-гребешковая точка
$P_{19'}$	Точка фактического выступания бёдер
Точки, описывающие передний абрис фигуры на виде сбоку	
$P_{1н}$	Точка верхнего основания шеи спереди
$P_{13н}$	Ключичная точка
$P_{14}$	Точка верхнего основания груди
$P_{16}$	Сосковая точка
$P_{17}$	Точка нижнего основания груди
$P_{18'}$	Выступающая точка грудной клетки
$P_{18н}$	Передняя точка талии
$P_{20}$	Выступающая точка живота
$P_{9н}$	Лобковая точка
Точки, описывающие абрис спины фигуры на виде сбоку	
$P_{1з}$	Точка верхнего основания шеи сзади
$P_{13з}$	Шейная точка
$P_{161}$	Точка верхнего выступания лопатки
$P_{16з}$	Лопаточная точка
$P_{162}$	Точка нижнего основания лопатки
$P_{18з}$	Задняя точка талии
$P_{19з}$	Ягодичная точка
$P_{8с}$	Точка подъягодичной складки

Продолжение таблицы Д.1

1	2
Точки, описывающие верхний и нижний контур руки на виде спереди/сзади	
$P_{pв1}$	Выступающая точка плечевого контура
$P_{pв2}$	Точка контура руки на уровне локтя
$P_{pв3}$	Выступающая точка предплечья
$P_{pв4}$	Точка контура руки на уровне запястья
$P_{pн1}$	Точка нижнего контура руки на уровне локтя
$P_{pн2}$	Точка нижнего контура руки на уровне запястья
Точки, описывающие передний и задний контур руки на виде сбоку	
$P_{pн1}$	Точка верхнего основания бицепса
$P_{pн2}$	Точка переднего контура руки на уровне локтя
$P_{pн3}$	Выступающая точка предплечья
$P_{pн4}$	Точка переднего контура руки на уровне запястья
$P_{pз1}$	Выступающая точка заднего контура плеча
$P_{pз2}$	Точка заднего контура руки на уровне локтя
$P_{pз3}$	Точка заднего контура руки на уровне запястья
Точки, описывающие боковой и внутренний абрис ноги на виде спереди/сзади	
$P_{нб1}$	Выступающая точка бедра
$P_{нб2}$	Точка бокового контура ноги на уровне колена
$P_{нб3}$	Выступающая точка икры
$P_{нб4}$	Точка бокового контура ноги на уровне щиколотки
$P_{нв1}$	Точка внутреннего контура ноги на уровне колена
$P_{нв2}$	Выступающая точка икры внутреннего контура ноги
$P_{нв3}$	Точка внутреннего контура ноги на уровне щиколотки
Точки, описывающие передний и задний абрис ноги на виде сбоку	
$P_{нп1}$	Верхняя точка ноги на переднем контуре
$P_{нп2}$	Выступающая точка контура бедра передней поверхности ноги
$P_{нп3}$	Точка переднего контура ноги на уровне колена
$P_{нп4}$	Точка переднего контура ноги на уровне щиколотки
$P_{нз1}$	Выступающая точка контура бедра задней поверхности ноги
$P_{нз2}$	Точка заднего контура ноги на уровне колена
$P_{нз3}$	Выступающая точка икры заднего контура ноги
$P_{нз4}$	Точка заднего контура ноги на уровне щиколотки





**Таблица Д.2 – Размерные признаки (РП) и параметры, используемые для построения трёхмерной модели фигуры человека (3Dф) (фрагмент)**

РП	Описание РП
1	2
Ведущие РП	
Р	Расстояние по вертикали от пола до верхушечной точки
ОГЗ	Обхват груди З
ОБ	Обхват бёдер
Параметры описания 3D формы стана	
Г <sub>пзп1п</sub>	Расстояние от точки верхнего основания шеи спереди до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп13</sub>	Расстояние от ключичной точки до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп1з</sub>	Расстояние от точки верхнего основания шеи сзади до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзз13</sub>	Расстояние от шейной точки сзади до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пз5</sub>	Расстояние от плечевой точки до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп14</sub>	Расстояние от точки на уровне ОГ1 спереди до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пв15п</sub>	Расстояние по горизонтали от переднего угла подмышечной впадины до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пв15з</sub>	Расстояние по горизонтали от заднего угла подмышечной впадины до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп16</sub>	Расстояние от выступающей точки груди до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзз16</sub>	Расстояние от выступающей точки лопатки до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп17</sub>	Расстояние от точки на уровне ОГ4 спереди до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп18</sub>	Расстояние от точки на уровне линии талии спереди до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзз18</sub>	Расстояние от точки на уровне линии талии сзади до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп76</sub>	Расстояние от повздошно-гребешковой точки до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп19</sub>	Расстояние от точки на уровне линии бёдер спереди до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзз19</sub>	Расстояние от точки на уровне линии бёдер сзади до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп9п</sub>	Расстояние от лобковой точки до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзз8</sub>	Расстояние от точки подъягодичной складки до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп20</sub>	Расстояние от выступающей точки живота до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзп18'</sub>	Расстояние от выступающей точки грудной клетки спереди до фронтальной плоскости фигуры
Г <sub>пзз161</sub>	Расстояние от точки верхнего выступания лопатки до фронтальной плоскости фигуры

## Продолжение таблицы Д.2

1	2
$r_{пзз162}$	Расстояние от точки нижнего выступания лопатки до фронтальной плоскости фигуры
$r_{поп1с}$	Расстояние от точки верхнего основания шеи сбоку до сагиттальной плоскости фигуры
$r_{поп5}$	Расстояние от плечевой точки до сагиттальной плоскости фигуры
$r_{поп13}$	Расстояние от точки основания шеи сбоку до сагиттальной плоскости фигуры
$r_{поп15п}$	Расстояние от переднего угла подмышечной впадины до сагиттальной плоскости фигуры
$r_{поп15з}$	Расстояние от заднего угла подмышечной впадины до сагиттальной плоскости фигуры
$r_{поп16'}$	Расстояние от сосковой точки на уровне ОГЗ на боковой поверхности туловища до сагиттальной плоскости фигуры
$m_{16}$	Расстояние от выступающей точки лопатки фигуры до сагиттальной плоскости
$r_{поп18}$	Расстояние от точки уровня талии на боковой поверхности туловища до сагиттальной оси фигуры
$r_{поп76}$	Расстояние от повздошно-гребешковой точки до сагиттальной оси фигуры
$m_{18}$	Расстояние от дополнительной точки талии на задней поверхности фигуры до сагиттальной плоскости
$m_{19}$	Расстояние от ягодичной точки на задней поверхности фигуры до сагиттальной плоскости
$m_{161}$	Расстояние от точки верхнего выступания лопатки до сагиттальной плоскости фигуры
$m_{162}$	Расстояние от точки нижнего основания лопатки до сагиттальной плоскости фигуры
$r_{поп19'}$	Расстояние от точки выступания бёдер на боковой поверхности туловища до сагиттальной плоскости фигуры
$h_{1п}$	Расстояние по вертикали от уровня точки верхнего основания шей спереди
$h_{1з}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер точки верхнего основания шей сзади
$h_{16}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер точки верхнего основания шей сбоку
$h_5$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер линии бёдер до плечевой точки
$h_{п13}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до ключичной точки
$h_{б13}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки основания шеи сбоку
$h_{з13}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до шейной точки сзади
$h_{п14}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки на уровне ОГ1 спереди
$h_{пв15п}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до переднего угла подмышечной впадины
$h_{пв15з}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до заднего угла подмышечной впадины
$h_{п16}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до выступающей точки груди

## Продолжение таблицы Д.2

1	2
$h_{з16}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до выступающей точки лопатки
$h_{п17}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки на уровне ОГ4 спереди
$h_{п18}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до уровня линии талии спереди
$h_{п7п}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до повздошно-гребешковой точки
$h_{п9п}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до лобковой точки на передней поверхности туловища
$h_{п8с}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки подъягодичной складки на задней поверхности туловища
$h_{б18}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки уровня талии на боковой поверхности туловища
$h_{з18}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до уровня линии талии сзади
$h_{з19}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до ягодичной точки
$h_{п20}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до выступающей точки живота
$h_{п18}'$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки выступания грудной клетки
$h_{пзз161}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки верхнего выступания лопатки
$h_{пзз162}$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до точки нижнего основания лопатки
$h_{б19}'$	Расстояние по вертикали от уровня линии бёдер до выступающей точки бедра на боковой поверхности туловища
Параметры описания 3D формы руки	
$R_{рп1}$	Расстояние от точки верхнего бицепса на переднем контуре руки до фронтальной плоскости фигуры
$R_{рп2}$	Расстояние от точки переднего контура руки на уровне локтя до фронтальной плоскости фигуры
$R_{рп3}$	Расстояние от выступающей точки предплечья переднего контура руки до фронтальной плоскости фигуры
$R_{рп4}$	Расстояние от точки переднего контура руки на уровне запястья до фронтальной плоскости фигуры
$R_{рз1}$	Расстояние от выступающей точки заднего контура плеча контура до фронтальной плоскости фигуры
$R_{рз2}$	Расстояние от точки заднего контура руки на уровне локтя до фронтальной плоскости фигуры
$R_{рз3}$	Расстояние от точки заднего контура руки на уровне запястья до фронтальной плоскости фигуры
$R_{рв1}$	Расстояние от выступающей точки верхнего плечевого контура руки до сагиттальной оси фигуры
$R_{рв2}$	Расстояние от точки верхнего контура руки на уровне локтя до сагиттальной оси фигуры
$R_{рв3}$	Расстояние от выступающей точки предплечья на верхнем контуре руки до сагиттальной оси фигуры

**Таблица Д.3 – Значения ведущих размерных признаков исследуемых женских фигур**

№ фигуры	Значение размерного признака			№ фигуры	Значение размерного признака		
	T1	№ фигуры	T19		T1	T16	T19
1	2	3	4	19	161	93	102
1	165	84	92	20	163	103	111
2	176	92	108	21	162.5	96.5	101.5
3	170	84	92	22	171	82	93
4	163	84	92	23	170	103	104
5	164	84	90	24	179	84	90
6	172	92	96	25	161	84	86
7	168	84	87	26	175	88,5	101
8	174	88	89	27	156	88.5	95
9	165	84	90	28	165	83	93
10	162	96	100	29	165	91	90
11	154	84	91	30	163.5	94	97
12	167	105	120	31	164	73	84
13	177	84	90	32	162	89	92.5
14	158	84	90	33	169	81.5	98.5
15	165	92	102	34	164	77.5	86.5
16	170	101	98	35	162.4	79.5	91
17	168	119	137	36	161	93	102
18	154	113	116				

**Таблица Д.4 - Характеристики внешней формы исследуемых женских фигур**

Описание фигуры	Переменные геометрические характеристики			
	Поперечные сечения	Передний абрис	Боковой абрис	Задний абрис
1	2	3	4	5
Типовая*	+	+	+	+
С короткой шеей	-	+	+	+
С длинной шеей	-	+	+	+
С худой шеей	-	+	+	+
С полной шеей	-	+	+	+
С высокими плечами	-	-	+	-
С низкими плечами	-	-	+	-
С узкими плечами	+	-	+	-
С широкими плечами	+	-	+	-
С плоской формой грудной клетки	+	+	-	-
С цилиндрической формой грудной клетки	+	+	-	-

## Продолжение таблицы Д.4

1	2	3	4	5
С конической формой грудной клетки	+	+	-	-
С конической формой грудных желез	+	+	-	-
С полушаровидной формой грудных желез	+	+	-	-
С чашевидной формой грудных желез	+	+	-	-
С отвислой формой грудных желез	+	+	-	-
Со слабо развитыми грудными железами	+	+	-	-
С сильно развитыми грудными железами	+	+	-	-
С высоко расположенной грудью	-	+	-	-
С низко расположенной грудью	-	+	-	-
С впалым животом	+	+	+	-
С выступающим животом	+	+	+	-
С высоко расположенным животом	-	+	+	-
С низко расположенным животом	-	+	+	-
С сутулой спиной	-	-	+	+
С прямой спиной	-	-	+	+
С высоким уровнем продольной кривизны спины	-	-	-	+
С низким уровнем продольной кривизны спины	-	-	-	+
С прилегающими к рёбрам лопатками	+	-	-	+
С выступающими лопатками	+	-	-	+
С плоской спиной	+	-	-	+
С выступающими ягодицами	-	-	-	+
С плоскими ягодицами	-	-	-	+

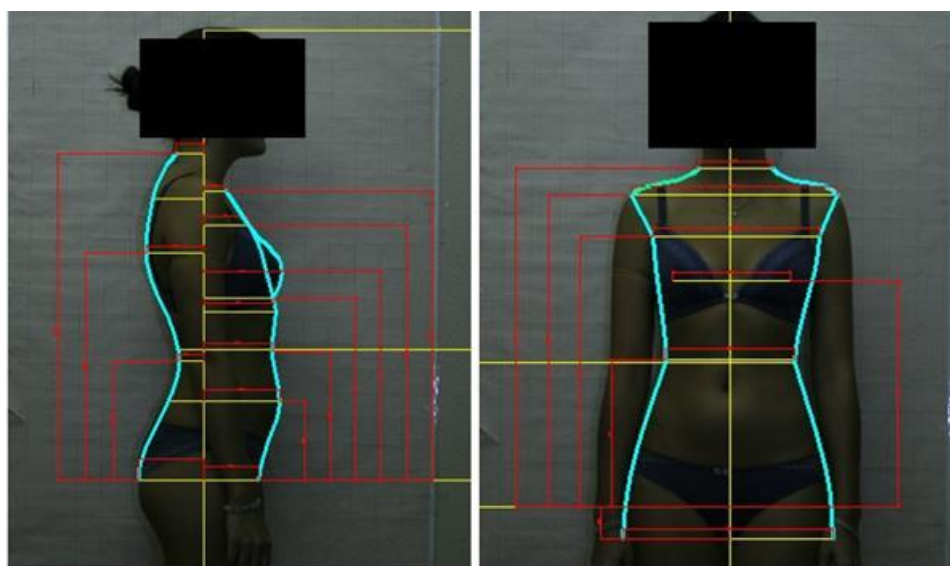


Рисунок Д.2 – Измеряемые параметры женской фигуры

**Таблица Д.5 – Поперечные проекционные измерения исследуемых женских фигур (фрагмент)**

№ фигуры	Поперечные проекционные измерения, координаты по оси Y см										
	Г <sub>поп13</sub>	Г <sub>поп5</sub>	Г <sub>поп15п</sub>	Г <sub>поп15з</sub>	Г <sub>поп16'</sub>	Г <sub>поп18</sub>	Г <sub>поп19'</sub>	м <sub>16</sub>	м <sub>161</sub>	м <sub>18</sub>	м <sub>19</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6,61	20,79	15,84	16,24	8,59	11,50	20,23	5,79	5,34	3,06	10,12
2	6,84	20,94	17,20	17,6	10,56	14,34	21,94	7,76	7,31	5,03	10,97
3	6,02	20,45	15,76	16,16	9,68	12,64	20,18	6,88	6,43	4,15	10,09
4	6,33	20,99	15,63	16,03	9,37	12,91	19,02	6,57	6,12	3,84	9,51
5	6,70	18,69	15,05	15,45	9,97	11,71	19,14	7,17	6,72	4,44	9,57
6	6,44	21,13	16,80	17,2	10,29	13,41	20,12	7,49	7,04	4,76	10,06
7	6,43	20,34	15,20	15,6	9,21	12,17	18,28	6,41	5,96	3,68	9,14
8	6,37	21,24	15,47	15,87	9,40	11,12	18,37	6,6	6,15	3,87	9,19
9	6,75	19,63	15,84	16,24	9,39	12,16	18,67	6,59	6,14	3,86	9,34
10	6,02	18,29	16,23	16,63	9,28	14,42	19,53	6,48	6,03	3,75	9,77
11	6,25	17,84	15,68	16,08	8,80	13,05	18,50	6	5,55	3,27	9,25
12	6,46	20,14	18,45	18,85	11,79	15,96	24,37	8,99	8,54	6,26	12,19
13	5,93	19,91	16,04	16,44	9,91	12,37	18,83	7,11	6,66	4,38	9,42
14	5,74	18,54	15,49	15,89	9,93	12,01	18,04	7,13	6,68	4,4	9,02
15	6,89	20,76	17,46	17,86	11,11	14,84	19,95	8,31	7,86	5,58	9,98
16	6,28	21,52	17,65	18,05	11,10	14,76	20,79	8,3	7,85	5,57	10,40
17	6,83	21,69	19,32	19,72	13,78	19,50	23,80	10,98	10,53	8,25	11,90
18	7,02	20,28	18,58	18,98	13,13	19,13	25,54	10,33	9,88	7,6	12,77
19	7,84	23,64	21,70	22,1	15,98	20,59	23,35	13,18	12,73	10,45	11,68
20	6,73	19,97	18,25	18,65	12,78	16,43	22,91	9,98	9,53	7,25	11,46
21	7,64	21,70	18,06	18,46	13,33	18,33	22,80	10,53	10,08	7,8	11,40
22	8,17	21,09	20,02	20,42	14,64	17,33	22,17	11,84	11,39	9,11	11,09
23	6,16	20,43	18,19	18,59	10,28	14,07	20,50	7,48	7,03	4,75	10,25
24	7,11	19,56	15,04	15,36	10,30	13,46	17,56	4,5	4,05	1,77	7,78
25	6,62	18,89	16,83	17,15	9,79	14,93	20,04	3,99	3,54	1,26	9,02
26	6,85	18,44	16,28	16,6	9,31	13,56	19,01	3,51	3,06	0,78	8,505
27	7,06	20,74	19,05	19,37	12,3	16,47	24,88	6,5	6,05	3,77	11,44
28	6,53	20,51	16,64	16,96	10,42	12,88	19,34	4,62	4,17	1,89	8,67
29	6,34	19,14	16,09	16,41	10,44	12,52	18,55	4,64	4,19	1,91	8,275
30	7,49	21,36	18,06	18,38	11,62	15,35	20,46	5,82	5,37	3,09	9,23
31	6,88	22,12	18,25	18,57	11,61	15,27	21,3	5,81	5,36	3,08	9,65
32	7,43	22,29	19,92	20,24	14,29	20,01	24,31	8,49	8,04	5,76	11,155
33	7,62	20,88	19,18	19,5	13,64	19,64	26,05	7,84	7,39	5,11	12,025
34	8,44	24,24	22,3	22,62	16,49	21,1	23,86	7,69	7,24	4,96	10,93
35	7,33	20,57	18,85	19,17	13,29	16,94	23,42	7,49	7,04	4,76	10,71

Таблица Д.6 – Высоты поперечных измерений исследуемых женских фигур

№ фигуры	Высоты, см						
	h <sub>613</sub>	h <sub>65</sub>	h <sub>пв15п</sub>	h <sub>пв15з</sub>	h <sub>616</sub>	h <sub>619'</sub>	h <sub>618</sub>
1	64,60	58,98	49,60	51,7	41,90	4,67	26,86
2	64,57	58,36	51,00	53,1	43,73	2,38	25,15
3	63,90	56,50	47,63	49,73	39,50	5,99	25,42
4	63,56	53,30	46,36	48,46	39,01	2,05	25,29
5	61,05	56,36	48,65	50,75	40,03	5,97	26,36
6	61,42	55,39	46,73	48,83	38,44	6,41	23,29
7	63,56	54,32	46,60	48,7	39,64	5,02	24,90
8	68,18	62,09	52,39	54,49	45,47	6,57	25,17
9	68,78	62,09	54,01	56,11	40,15	5,74	29,29
10	64,02	58,23	49,61	51,71	42,78	1,56	26,19
11	58,86	53,38	45,09	47,19	39,16	6,65	24,11
12	62,14	54,54	44,97	47,07	39,16	4,89	22,73
13	66,61	58,33	49,91	52,01	39,32	3,38	23,88
14	57,93	52,96	44,15	46,25	39,16	6,11	23,02
15	68,35	60,16	50,95	53,05	43,54	1,35	26,95
16	67,07	59,34	27,57	29,67	44,71	3,25	27,57
17	61,63	56,26	43,51	45,61	39,35	2,04	23,19
18	55,81	51,22	43,24	45,34	37,77	9,89	19,89
19	60,47	55,40	46,03	48,13	39,59	4,14	26,04
20	64,33	59,81	46,95	49,05	41,06	0,01	25,25
21	60,60	56,47	42,46	44,56	36,08	3,82	22,72
22	67,12	63,01	51,77	53,87	42,39	4,23	27,35
23	64,22	57,99	46,81	48,91	41,56	10,58	20,66
24	58,96	53,21	45,79	47,89	39,54	6,54	22,05
25	69,65	61,06	51,85	53,95	44,74	2,55	28,15
26	68,37	60,24	28,47	30,57	45,91	4,45	28,77
27	62,93	57,16	44,41	46,51	40,55	3,24	24,39
28	57,11	52,12	44,14	46,24	38,97	11,09	21,09
29	61,77	56,3	46,93	49,03	40,79	5,34	27,24
30	65,63	60,71	47,85	49,95	42,26	1,21	26,45
31	61,9	57,37	43,36	45,46	37,28	5,02	23,92
32	68,42	63,91	52,67	54,77	43,59	5,43	28,55
33	65,52	58,89	47,71	49,81	42,76	11,78	21,86
34	60,26	54,11	46,69	48,79	40,74	7,74	23,25
35	69,65	61,06	51,85	53,95	44,74	2,55	28,15



Таблица Д.7 – Переднезадние проекционные измерения женских фигур

№	Переднезадние проекционные измерения, см													
	гпзп 14	гпз п16	гпзп 17	гпзп 18'	гпзп 18	гпзп 20	гпзп 19	гпв1 5п	гпв1 5з	гпзз 19	гпзз 18	гпзз 16	гпзз 13	гпзз1 61
1	8,34	14,70	11,54	11,96	11,56	12,52	9,90	3,34	3,64	12,79	6,83	10,35	4,45	-
2	13,66	18,17	17,19	16,07	15,67	16,72	13,05	8,66	8,96	16,80	7,23	12,07	5,65	-
3	10,54	17,06	14,22	15,83	15,43	16,17	12,92	5,54	5,84	9,81	2,48	10,04	4,55	-
4	9,55	14,44	12,74	-	13,16	12,24	8,26	4,55	4,85	14,45	5,90	11,81	5,65	11,51
5	8,96	15,73	14,05	14,12	13,72	15,21	11,06	3,96	4,26	13,09	4,96	11,59	5,60	11,29
6	8,43	17,08	13,97	15,41	15,01	14,52	10,90	3,43	3,73	14,38	7,19	13,03	8,53	12,73
7	11,64	16,73	13,86	14,69	14,29	13,46	11,08	6,64	6,94	11,08	3,94	9,30	2,76	-
8	10,64	15,92	13,75	13,18	12,78	12,15	10,81	5,64	5,94	9,92	3,98	8,22	3,89	-
9	9,72	14,93	12,43	12,53	12,13	13,32	11,54	4,72	5,02	12,07	6,50	10,40	4,04	-
10	10,54	21,40	16,80	-	16,46	14,76	12,22	6,76	7,06	16,05	6,79	11,71	5,24	11,41
11	8,49	15,20	13,55	14,82	14,42	15,48	12,42	3,49	3,79	13,13	4,93	12,42	3,63	12,12
12	12,76	20,41	17,03	19,22	18,82	19,26	16,21	7,76	8,06	17,86	9,56	13,61	4,76	13,31
13	10,08	15,41	13,58	12,82	12,42	12,31	9,44	5,08	5,38	12,65	4,73	11,31	3,93	11,01
14	10,97	15,12	13,49	15,59	15,19	16,69	14,14	5,97	6,27	8,56	3,86	9,65	4,77	9,35
15	11,81	17,99	14,92	14,37	13,97	14,59	12,13	6,81	7,11	14,08	6,92	10,88	2,44	-
16	11,74	19,75	14,16	-	14,04	15,88	11,44	6,74	7,04	16,20	7,70	12,04	3,79	-
17	18,24	28,75	28,48	32,34	31,94	32,86	28,51	6,76	7,06	11,20	8,17	13,96	5,20	-
18	20,81	29,97	28,14	30,26	29,86	30,14	26,97	3,49	3,79	18,88	9,91	15,42	5,68	-
19	13,85	24,65	23,34	23,48	23,08	23,26	21,71	7,76	8,06	19,95	13,32	15,76	9,51	-
20	14,96	20,31	18,80	22,46	22,06	23,92	21,94	5,08	5,38	12,19	5,65	11,95	4,40	-
21	15,07	22,14	19,88	19,4	19,00	20,43	17,41	5,97	6,27	17,71	10,84	14,08	5,34	-
22	13,20	23,08	19,71	19,76	19,36	18,61	15,45	6,81	7,11	16,86	10,56	13,26	5,23	12,96
23	9,25	14,97	11,28	12,05	11,65	12,48	9,71	4,25	4,55	14,76	7,36	12,09	4,70	11,79
24	8,73	14,30	12,15	13,32	12,92	12,92	11,03	3,73	4,03	10,75	4,77	11,07	4,15	10,77
25	12,31	18,49	15,42	16,19	15,79	17,29	14,74	7,31	7,61	9,16	4,46	10,25	5,37	-
26	12,24	20,25	14,66	14,97	14,57	15,19	12,73	7,24	7,54	14,68	7,52	11,48	3,04	-
27	18,74	29,25	28,98	15,04	14,64	16,48	12,04	4,25	4,55	16,8	8,3	12,64	4,39	-
28	21,31	30,47	28,64	32,94	32,54	33,46	29,11	3,73	4,03	11,8	8,77	14,56	5,8	-
29	14,35	25,15	23,84	-	30,46	30,74	27,57	7,31	7,61	19,48	10,51	16,02	6,28	-
30	15,46	20,81	19,30	24,08	23,68	23,86	22,31	7,24	7,54	20,55	13,92	16,36	10,11	16,06
31	15,57	22,64	20,38	23,06	22,66	24,52	22,54	4,25	4,55	12,79	6,25	12,55	5,00	-
32	13,7	23,58	20,21	20,00	19,60	21,03	18,01	3,73	4,03	18,31	11,44	14,68	5,94	-
33	9,75	15,47	11,78	20,36	19,96	19,21	16,05	4,75	5,05	17,46	11,16	13,86	5,83	-
34	15,07	22,14	19,88	12,65	12,25	13,08	10,31	4,25	4,55	15,36	7,96	12,69	5,30	12,39
35	13,20	23,08	19,71	13,92	13,52	13,52	11,63	3,73	4,03	11,35	5,37	11,67	4,75	11,37

Таблица Д.8 – Высоты переднезадних измерений исследуемых женских фигур

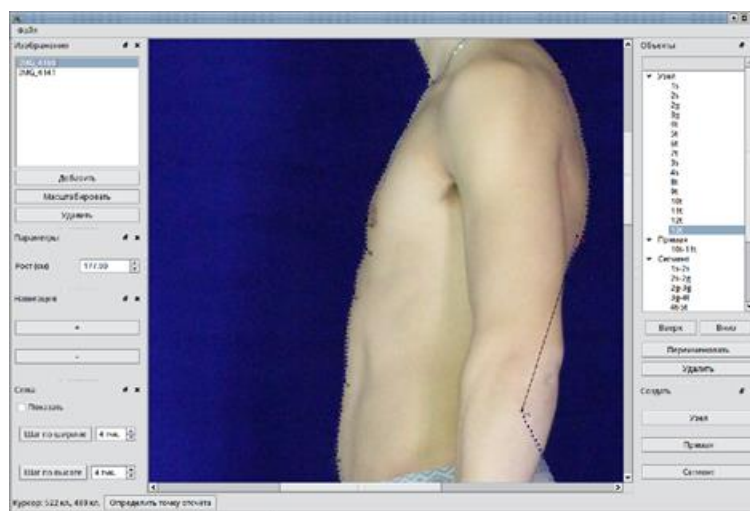
№ фиг уры	Высоты, см											
	h <sub>з13</sub>	h <sub>з16</sub>	h <sub>з18</sub>	h <sub>п13</sub>	h <sub>п14</sub>	h <sub>п16</sub>	h <sub>п17</sub>	h <sub>п18</sub>	h <sub>п20</sub>	h <sub>п18'</sub>	h <sub>пзз161</sub>	h <sub>пзз162</sub>
1	66,60	48,19	26,91	61,63	52,47	42,22	34,42	25,11	15,27	30,11	-	-
2	67,97	47,79	26,71	60,98	52,84	43,20	37,77	22,26	14,75	27,26	-	-
3	64,05	43,50	24,98	58,36	49,51	40,52	34,18	24,34	11,69	29,34	-	-
4	63,56	43,72	26,56	58,15	49,19	40,10	35,65	25,19	12,24	-	49,72	40,72
5	64,96	45,22	23,68	57,24	50,80	41,59	36,25	25,80	15,72	30,8	51,22	42,22
6	63,44	46,35	25,36	57,05	50,08	38,89	33,42	23,81	10,17	28,81	52,35	43,35
7	65,45	46,47	23,65	60,91	49,52	39,71	35,01	23,14	15,27	28,14	-	-
8	70,67	55,45	24,38	63,99	54,32	45,72	39,30	24,06	15,53	29,06	-	-
9	64,27	44,68	23,55	58,14	50,57	42,04	35,77	23,57	15,46	28,57	-	-
10	67,42	48,45	26,74	62,50	54,73	42,99	35,61	23,87	9,47	-	54,45	45,45
11	60,81	41,88	23,78	54,01	47,73	38,87	32,83	26,43	16,83	31,43	47,88	38,88
12	64,82	46,66	23,56	57,13	48,53	37,69	31,11	21,45	15,22	26,45	52,66	43,66
13	68,12	48,38	24,10	61,02	51,91	41,33	34,66	23,11	13,34	28,11	54,38	45,38
14	60,92	44,49	23,07	54,93	46,77	39,73	34,61	23,07	13,82	28,07	50,49	41,49
15	70,68	49,64	24,23	64,14	54,80	44,57	37,48	25,24	15,12	30,24	-	-
16	71,18	51,64	27,29	63,16	55,71	45,26	36,16	26,00	14,60	-	-	-
17	69,59	49,85	20,67	64,19	54,04	42,08	36,13	20,66	14,13	25,66	-	-
18	69,60	66,40	20,90	54,83	50,96	38,88	34,16	21,76	10,75	26,76	-	-
19	62,27	44,87	21,99	58,57	50,64	39,85	34,79	21,99	6,02	26,99	-	-
20	66,61	48,06	20,70	57,81	51,92	43,39	36,9	22,29	11,82	27,29	-	-
21	66,29	45,47	22,33	60,77	51,33	37,69	29,90	22,39	9,60	27,39	-	-
22	72,56	54,56	23,33	68,11	58,25	42,39	34,62	23,39	10,72	28,39	60,56	51,56
23	63,58	45,32	20,40	55,36	50,29	40,48	33,19	20,24	11,29	25,24	51,32	42,32
24	61,88	43,70	21,74	55,75	48,14	40,26	34,17	22,05	11,81	27,05	49,7	40,7
25	71,88	50,84	25,43	65,34	56	45,77	38,68	26,44	16,32	31,44	-	-
26	72,38	52,84	28,49	64,36	56,91	46,46	37,36	27,2	15,8	32,2	-	-
27	70,79	51,05	21,87	65,39	55,24	43,28	37,33	21,86	15,33	26,86	-	-
28	70,8	67,6	22,1	56,03	52,16	40,08	35,36	22,96	11,95	27,96	-	-
29	63,47	46,07	23,19	59,77	51,84	41,05	35,99	23,19	7,22	-	-	-
30	67,81	49,26	21,9	59,01	53,12	44,59	38,1	23,49	13,02	28,49	55,26	46,26
31	67,49	46,67	23,53	61,97	52,53	38,89	31,1	23,59	10,8	28,59	-	-
32	73,76	55,76	24,53	69,31	59,45	43,59	35,82	24,59	11,92	29,59	-	-
33	64,78	46,52	21,6	56,56	51,49	41,68	34,39	21,44	12,49	26,44	-	-
34	63,08	44,9	22,94	56,95	49,34	41,46	35,37	23,25	13,01	28,25	50,9	41,9
35	71,88	50,84	25,43	65,34	56	45,77	38,68	26,44	16,32	31,44	56,84	47,84

**Таблица Д.9 - Координаты информационных точек абрисов исследуемых мужских фигур (фрагмент)**

№	Координаты точек, см					
	$P_{1б}$	$P_{2б}$	$P_{3с}$	$P_{4с}$	$P_{5с}$	$P_{6с}$
1	1,39; 172,78	2,14; 169,83	9,44; 164,99	17,08; 150,37	16,12; 142,49	10,43; 124,3
2	1,3; 179,11	2,0; 176,06	8,79; 171,04	15,91; 155,88	15,02; 147,72	9,71; 128,85
3	1,36; 175,87	2,09; 172,88	9,19; 167,95	16,63; 153,07	15,7; 145,05	10,15; 126,53
4	1,41; 183,95	2,18; 180,82	9,57; 175,67	17,33; 160,1	16,35; 151,71	10,58; 132,34
5	1,41; 165,87	2,17; 163,05	9,53; 158,4	17,26; 144,36	16,29; 136,8	10,53; 119,33
6	1,34; 166,74	2,07; 163,9	9,1; 159,23	16,46; 145,12	15,54; 137,52	10,05; 119,96
7	1,4; 187,32	2,16; 184,13	9,48; 178,89	17,16; 163,03	16,2; 154,49	10,48; 134,76
8	1,51; 161,01	2,33; 158,27	10,23; 153,76	18,52; 140,13	17,47; 132,79	11,3; 115,83
9	1,31; 172,63	2,01; 169,69	8,85; 164,85	16,02; 150,24	15,12; 142,37	9,78; 124,19
10	1,37; 159,1	2,11; 156,39	9,28; 151,93	16,8; 138,47	15,86; 131,21	10,26; 114,46
11	1,25; 168,32	1,92; 165,46	8,44; 160,74	15,28; 146,5	14,42; 138,82	9,33; 121,1
12	1,38; 163,56	2,13; 160,78	9,38; 156,2	16,98; 142,35	16,02; 134,89	10,36; 117,67
13	1,42; 151,12	2,19; 148,54	9,63; 144,31	17,44; 131,52	16,45; 124,63	10,64; 108,72
14	1,4; 156,52	2,15; 153,85	9,47; 149,47	17,14; 136,22	16,17; 129,08	10,46; 112,6
15	1,29; 174,15	1,99; 171,19	8,74; 166,31	15,82; 151,57	14,92; 143,63	9,65; 125,29
16	1,63; 166,47	2,51; 163,63	11,04; 158,97	19,98; 144,88	18,86; 137,29	12,2; 119,76
17	1,4; 165,46	2,15; 162,65	9,46; 158,01	17,12; 144,01	16,16; 136,46	10,45; 119,04
18	1,32; 195,7	2,03; 192,37	8,91; 186,89	16,13; 170,33	15,23; 161,4	9,85; 140,79
19	1,36; 201,98	2,09; 198,54	9,21; 192,89	16,68; 175,79	15,74; 166,58	10,18; 145,31
20	1,29; 219,29	1,98; 215,55	8,73; 209,41	15,81; 190,85	14,92; 180,85	9,65; 157,76
21	1,43; 176,24	2,2; 173,24	9,69; 168,3	17,53; 153,39	16,54; 145,35	10,7; 126,79
22	1,32; 152,58	2,03; 149,99	8,91; 145,71	16,13; 132,8	15,22; 125,84	9,85; 109,77
23	1,35; 144,92	2,08; 142,45	9,15; 138,39	16,56; 126,13	15,63; 119,52	10,11; 104,26
24	1,34; 152,36	2,06; 149,76	9,06; 145,5	16,4; 132,6	15,48; 125,65	10,01; 109,61
25	1,23; 239,99	1,89; 235,9	8,32; 229,18	15,07; 208,87	14,22; 197,92	9,2; 172,65
26	1,56; 180,43	2,41; 177,35	10,59; 172,3	19,17; 157,03	18,09; 148,8	11,7; 129,8
27	1,49; 157,65	2,3; 154,97	10,12; 150,55	18,31; 137,21	17,28; 130,02	11,18; 113,42
28	1,26; 156,36	1,94; 153,7	8,53; 149,32	15,44; 136,09	14,57; 128,96	9,42; 112,49
29	1,21; 160,34	1,87; 157,61	8,22; 153,12	14,87; 139,55	14,03; 132,24	9,08; 115,35
30	1,51; 149,29	2,32; 146,75	10,21; 142,57	18,49; 129,93	17,45; 123,12	11,29; 107,4
31	1,42; 190,93	2,19; 187,67	9,62; 182,33	17,42; 166,17	16,44; 157,46	10,63; 137,36
32	1,29; 161,32	1,98; 158,57	8,73; 154,06	15,8; 140,4	14,91; 133,05	9,64; 116,06
33	1,52; 172,13	2,33; 169,2	10,27; 164,38	18,59; 149,81	17,54; 141,96	11,35; 123,83
34	1,43; 205,39	2,2; 201,89	9,7; 196,14	17,55; 178,76	16,56; 169,39	10,72; 147,76
35	1,44; 181,22	2,23; 178,13	9,79; 173,06	17,72; 157,72	16,72; 149,46	10,82; 130,37
36	1,36; 207,21	2,1; 203,68	9,22; 197,88	16,7; 180,34	15,76; 170,89	10,19; 149,07
37	1,17; 184,54	1,81; 181,4	7,96; 176,23	14,42; 160,61	13,6; 152,2	8,8; 132,76
38	1,3; 208,38	2,0; 204,84	8,81; 199,0	15,95; 181,36	15,05; 171,86	9,74; 149,92
39	1,59; 154,98	2,45; 152,34	10,77; 148,0	19,49; 134,88	18,39; 127,81	11,9; 111,49
40	1,63; 167,75	2,51; 164,9	11,05; 160,2	20,01; 146,0	18,88; 138,35	12,21; 120,69
1	15,25; 107,41	-11,04; 167,91	-7,87; 160,87	-14,27; 141,51	-13,05; 136,82	-13,41; 132,23
2	14,22; 111,35	-10,28; 174,06	-7,33; 166,77	-13,3; 146,7	-12,16; 141,84	-12,5; 137,08
3	14,86; 109,34	-10,75; 170,92	-7,66; 163,75	-13,9; 144,05	-12,71; 139,27	-13,07; 134,6
4	15,48; 114,36	-11,2; 178,77	-7,98; 171,28	-14,48; 150,67	-13,24; 145,67	-13,61; 140,78
5	15,42; 103,12	-11,15; 161,2	-7,95; 154,44	-14,42; 135,86	-13,19; 131,35	-13,56; 126,94
6	14,71; 103,66	-10,64; 162,04	-7,58; 155,25	-13,76; 136,57	-12,58; 132,04	-12,93; 127,61
7	15,33; 116,46	-11,09; 182,04	-7,9; 174,41	-14,34; 153,43	-13,12; 148,34	-13,48; 143,36
8	16,54; 100,1	-11,97; 156,47	-8,53; 149,92	-15,48; 131,88	-14,15; 127,5	-14,55; 123,22
9	14,31; 107,32	-10,35; 167,76	-7,38; 160,73	-13,39; 141,39	-12,24; 136,7	-12,58; 132,12
10	15,01; 98,91	-10,86; 154,61	-7,74; 148,13	-14,05; 130,31	-12,84; 125,99	-13,2; 121,76
11	13,65; 104,65	-9,87; 163,58	-7,04; 156,73	-12,77; 137,87	-11,68; 133,3	-12,0; 128,82

## Продолжение таблицы Д.9

№	Координаты точек, см					
	$P_{7c}$	$P_{1n}$	$P_{2n}$	$P_{4n}$	$P_{5n}$	$P_{6n}$
12	15,17; 101,69	-10,97; 158,95	-7,82; 152,29	-14,19; 133,97	-12,97; 129,52	-13,34; 125,18
13	15,58; 93,95	-11,27; 146,86	-8,03; 140,7	-14,57; 123,77	-13,33; 119,67	-13,7; 115,65
14	15,31; 97,31	-11,08; 152,11	-7,89; 145,73	-14,33; 128,2	-13,1; 123,95	-13,46; 119,79
15	14,13; 108,27	-10,22; 169,25	-7,28; 162,15	-13,22; 142,64	-12,09; 137,91	-12,42; 133,28
16	17,85; 103,49	-12,91; 161,78	-9,2; 155,0	-16,7; 136,34	-15,27; 131,82	-15,7; 127,4
17	15,3; 102,87	-11,07; 160,8	-7,89; 154,06	-14,31; 135,52	-13,09; 131,03	-13,45; 126,63
18	14,41; 121,67	-10,43; 190,19	-7,43; 182,22	-13,49; 160,29	-12,33; 154,98	-12,67; 149,78
19	14,9; 125,57	-10,78; 196,29	-7,68; 188,07	-13,94; 165,44	-12,74; 159,95	-13,1; 154,58
20	14,12; 136,33	-10,22; 213,11	-7,28; 204,18	-13,21; 179,61	-12,08; 173,65	-12,42; 167,83
21	15,66; 109,57	-11,33; 171,27	-8,07; 164,09	-14,65; 144,35	-13,4; 139,56	-13,77; 134,88
22	14,41; 94,86	-10,43; 148,28	-7,43; 142,07	-13,48; 124,97	-12,33; 120,83	-12,67; 116,78
23	14,79; 90,09	-10,7; 140,83	-7,63; 134,93	-13,84; 118,69	-12,66; 114,76	-13,01; 110,91
24	14,65; 94,72	-10,6; 148,06	-7,55; 141,86	-13,71; 124,79	-12,54; 120,65	-12,88; 116,6
25	13,46; 149,2	-9,74; 233,22	-6,94; 223,45	-12,59; 196,56	-11,52; 190,05	-11,84; 183,67
26	17,12; 112,17	-12,39; 175,34	-8,83; 167,99	-16,02; 147,78	-14,65; 142,88	-15,06; 138,09
27	16,35; 98,01	-11,83; 153,21	-8,43; 146,79	-15,3; 129,13	-13,99; 124,85	-14,38; 120,66
28	13,79; 97,21	-9,98; 151,96	-7,11; 145,59	-12,9; 128,07	-11,8; 123,82	-12,13; 119,67
29	13,28; 99,68	-9,61; 155,82	-6,85; 149,29	-12,43; 131,33	-11,36; 126,97	-11,68; 122,71
30	16,51; 92,81	-11,95; 145,08	-8,51; 139,0	-15,45; 122,28	-14,13; 118,22	-14,52; 114,26
31	15,56; 118,7	-11,26; 185,55	-8,02; 177,77	-14,56; 156,38	-13,31; 151,19	-13,68; 146,12
32	14,11; 100,29	-10,21; 156,78	-7,28; 150,21	-13,2; 132,13	-12,07; 127,75	-12,41; 123,46
33	16,61; 107,01	-12,01; 167,28	-8,56; 160,27	-15,54; 140,98	-14,21; 136,31	-14,6; 131,74
34	15,68; 127,69	-11,34; 199,6	-8,08; 191,24	-14,67; 168,22	-13,42; 162,65	-13,79; 157,19
35	15,83; 112,66	-11,45; 176,11	-8,16; 168,73	-14,81; 148,43	-13,54; 143,51	-13,92; 138,69
36	14,91; 128,82	-10,79; 201,37	-7,69; 192,93	-13,96; 169,71	-12,76; 164,09	-13,12; 158,58
37	12,88; 114,73	-9,32; 179,34	-6,64; 171,83	-12,05; 151,15	-11,02; 146,14	-11,32; 141,23
38	14,25; 129,55	-10,31; 202,51	-7,35; 194,03	-13,33; 170,68	-12,19; 165,02	-12,53; 159,48
39	17,41; 96,35	-12,6; 150,61	-8,98; 144,3	-16,29; 126,93	-14,9; 122,73	-15,31; 118,61
40	17,87; 104,29	-12,93; 163,03	-9,21; 156,2	-16,72; 137,4	-15,29; 132,84	-15,72; 128,39



**Рисунок Д.3- Графический редактор для ввода контурных точек, полученных в результате 3D сканирования мужских фигур**

## **Приложение Е**

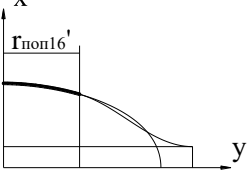
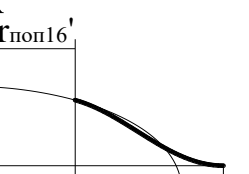
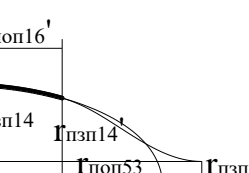
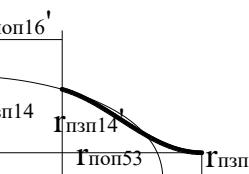
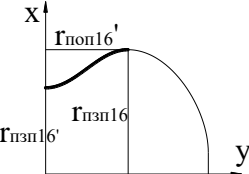
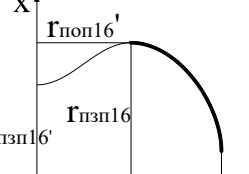
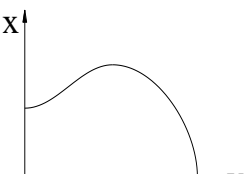
**Исследование формы поперечных сечений, абрисов и  
продольных рельефных линий мужских и женских фигур**

**Таблица Е.1 – Схемы поперечных сечений фигур различного телосложения (фрагмент)**

№ сечения	Женские фигуры			Мужские фигуры	
	1	2	3	4	5
ПС1					
ПС2					
ПС3					
ПС4					
ПС5					
ПС6					
ПС7					

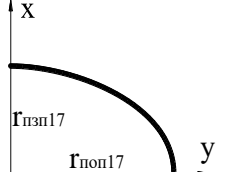
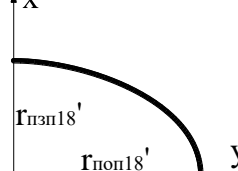
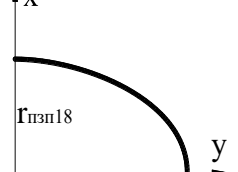
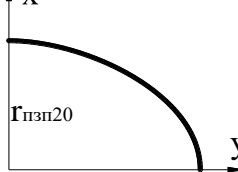
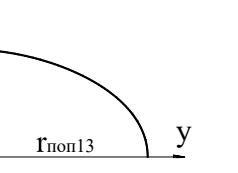
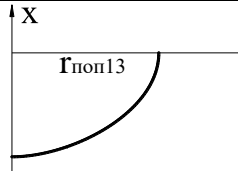
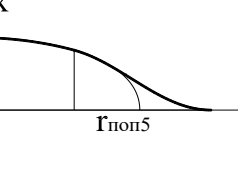
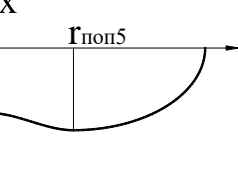
*При обозначении фрагмента поперечного сечения (ПС) использовалась двойная позиция, первая, до точки, обозначала номер сечения (см. таблицу Ж1), вторая – номер фрагмента.*

Таблица Е.2 – Результаты анализа поперечных сечений торса фигуры

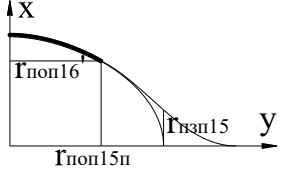
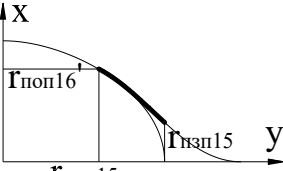
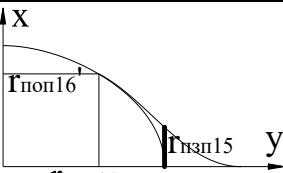
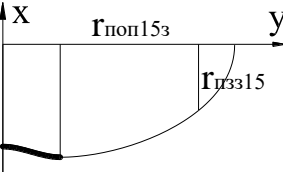
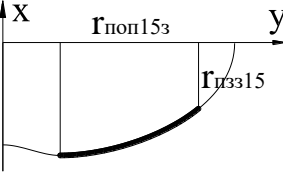
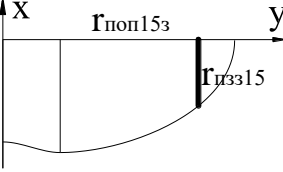
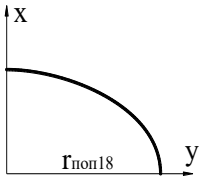
Наименование фрагмента сечения	Анализ математических закономерностей описания фрагмента поперечного сечения	Обобщённая схема фрагмента сечения в плоскости ХУ	Средства математического описания
2	3	4	5
ПС 1.1 – сечение, проходящее через точку основания шеи спереди, центральная часть	Эллипсовидная торсовая часть		Эллипс, кривая Безье
ПС 1.2 – сечение, проходящее через точку основания шеи спереди, боковая часть	Соединительная кривая области торса и плеча с касательной к торсовой части		Кривая третьего порядка кривая Безье
ПС 2.1 – сечение, проходящее через точку верхнего основания груди, центральная часть	Эллипсовидная торсовая часть, фрагмент		Эллипс, кривая Безье, кривая третьего порядка
ПС 2.2 – сечение, проходящее через точку верхнего основания груди, боковая часть	Соединительная кривая области торса и плеча с касательными к торсовой части и руке		Кривая третьего порядка, кривая Безье
ПС 3.1 – сечение, проходящее через сосковую точку, центральная часть	Кривая от центральной части грудной клетки до сосковой точки. Кривизна зависит от полноты груди		Косинусоида Кривая третьего порядка, кривая Безье
ПС 3.2 – сечение, проходящее через сосковую точку, средняя часть	Касательная в сосковой точке параллельна оси у, в боковой области параллельна оси z. Кривизна зависит от полноты груди		Эллипс Кривая Безье
ПС 3.3 – сечение, проходящее через сосковую точку, боковая часть	Прямой отрезок		Прямая



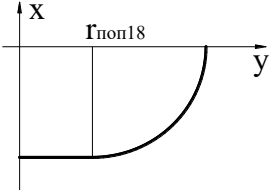
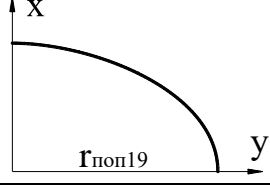
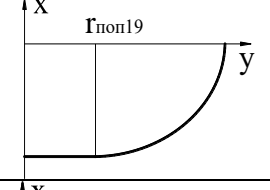
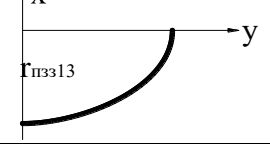
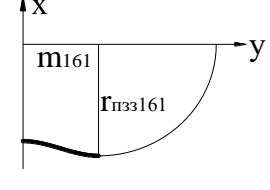
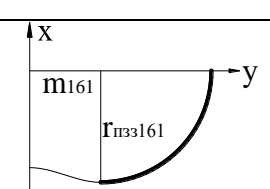
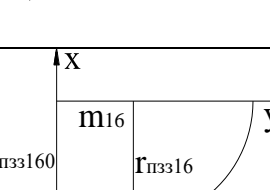
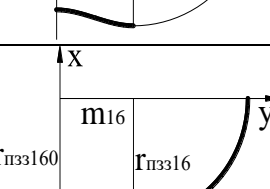
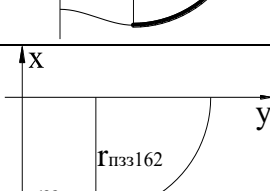
Продолжение таблицы Е.2

1	2	3	4
ПС 4 – сечение, проходящее через точку нижнего основания груди	Касательная в передней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, Кривая Безье
ПС 5 – сечение, проходящее через выступающую точку грудной клетки	Касательная в передней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, Кривая Безье
ПС 6 – сечение, проходящее через переднюю точку талии	Касательная в передней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, Кривая Безье
ПС 7 – сечение, проходящее через выступающую точку живота	Касательная в передней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, Кривая Безье
ПС 8.1 – сечение, проходящее через точку основания шеи сбоку, передняя часть	Касательная в передней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, Кривая Безье -
ПС 8.2 – сечение, проходящее через точку основания шеи сбоку, задняя часть	Касательная в задней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, Кривая Безье
ПС 9.1 – сечение, проходящее через плечевую точку, передняя часть	Эллипсовидная торсовая часть и соединительная кривая области торса и плеча с касательной к торсовой части		Центральная часть: эллипс, кривая третьего порядка, кривая Безье. Боковая часть: кривая третьего порядка, кривая Безье
ПС 9.2 – сечение, проходящее через плечевую точку, задняя часть	2 кривые. Касательные в задней выступающей точке и в центральной точке параллельны оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Центральная часть: косинусоида, кривая третьего порядка, кривая Безье. Боковая часть: эллипс, кривая Безье

Продолжение таблицы Е.2

1	2	3	4
ПС 10.1 – сечение, проходящее через передний угол подмышечной впадины, центральная часть	Эллипсоидная торсовая часть		Эллипс, Кривая Безье, Кривая третьего порядка
ПС 10.2 – сечение, проходящее через передний угол подмышечной впадины, средняя часть	Соединительная кривая области торса и плеча с касательной к торсовой части на уровне $r_{\text{поп16}}$ . Прервана на уровне подмышечной впадины		Кривая Безье, Кривая третьего порядка
ПС 10.3 – сечение, проходящее через передний угол подмышечной впадины, боковая часть	Прямой отрезок		Прямая
ПС 11.1 – сечение, проходящее через задний угол подмышечной впадины, центральная часть	Касательные в задней выступающей точке и в центральной точке параллельны оси $y$		Косинусоида, Кривая третьего порядка, Кривая Безье
ПС 11.2 – сечение, проходящее через задний угол подмышечной впадины, средняя часть	Фрагмент эллиптической кривой, обрывающейся на уровне подмышечной впадины		Эллипс, Кривая третьего порядка, Кривая Безье
ПС 11.3 – сечение, проходящее через задний угол подмышечной впадины, боковая часть	Прямой отрезок		Прямая
ПС 12.1 – сечение, проходящее через точку на уровне талии, передняя часть	Касательная в передней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье

Продолжение таблицы Е.2

1	2	3	4
ПС 12.2 – сечение, проходящее через точку на уровне талии, задняя часть	Касательная в задней выступающей точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Центральная часть: прямая. Боковая часть: эллипс, кривая Безье
ПС 13.1 – сечение, проходящее через точку фактического выступа бёдер, передняя часть	Касательная в передней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье
ПС 13.2 – сечение, проходящее через точку фактического выступа бёдер, задняя часть	Касательная в задней выступающей точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Центральная часть: прямая. Боковая часть: эллипс, кривая Безье
ПС 14 – сечение, проходящее через точку основания шеи сзади	Касательная в задней точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье
ПС 15.1 – сечение, проходящее через точку верхнего выступа лопаток, центральная часть	Касательные в задней выступающей точке и в центральной точке параллельны оси $y$		Косинусоида, Кривая третьего порядка
ПС 15.2 – сечение, проходящее через точку верхнего выступа лопаток, боковая часть	Касательная в задней выступающей точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье
ПС 16.1 – сечение, проходящее через лопаточную точку, центральная часть	Касательные в задней выступающей точке и в центральной точке параллельны оси $y$		Косинусоида, Кривая третьего порядка
ПС 16.2 – сечение, проходящее через лопаточную точку, боковая часть	Касательная в задней выступающей точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье
ПС 17.1 – сечение, проходящее через точку нижнего основания лопаток, центральная часть	Прямая		Прямая

## Продолжение таблицы Е.2

1	2	3	4
ПС 17.2 – сечение, проходящее через точку нижнего основания лопаток, боковая часть	Касательная в задней выступающей точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье
ПС 18.1 – сечение, проходящее через заднюю точку талии, центральная часть	Прямая		Прямая
ПС 18.2 – сечение, проходящее через заднюю точку талии, боковая часть	Касательная в задней выступающей точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье
ПС 19.1 – сечение, проходящее через ягодичную точку, центральная часть	Прямая		Прямая
ПС 19.2 – сечение, проходящее через ягодичную точку, боковая часть	Касательная в задней выступающей точке параллельна оси $y$ , в боковой точке параллельна оси $z$		Эллипс, кривая Безье

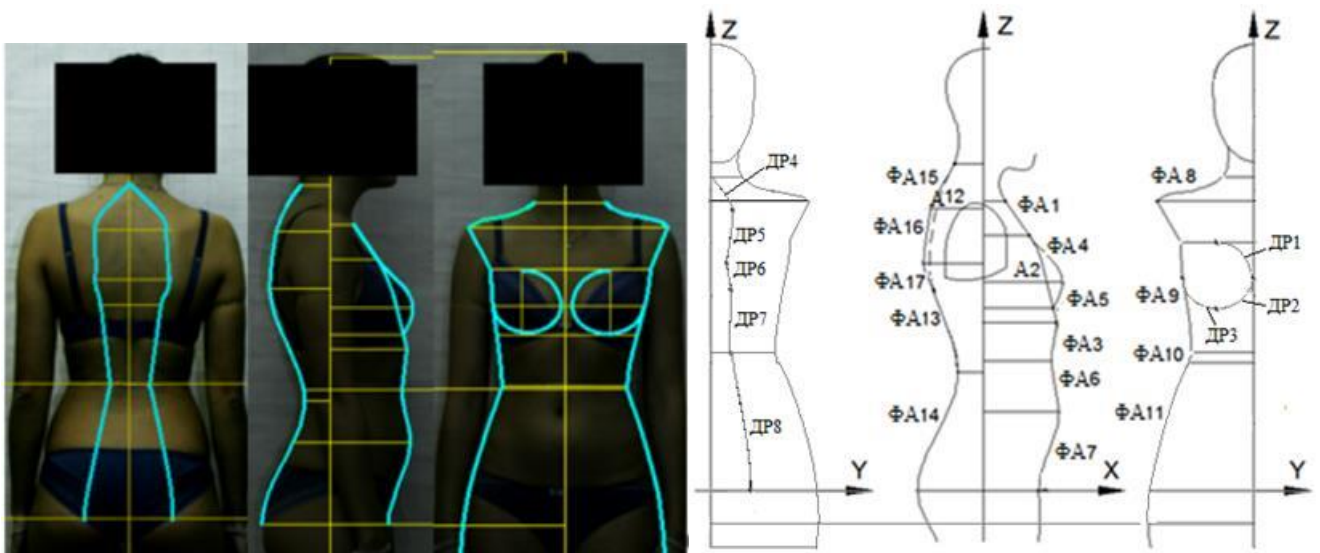
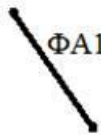


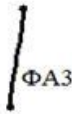



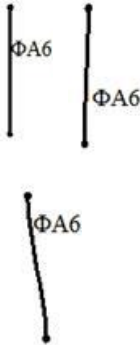

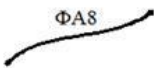

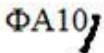
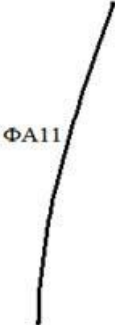


Рисунок Е.1 – Фрагменты продольных рельефных линий фигуры





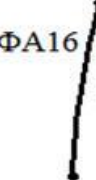

**Таблица Е.3 – Результаты анализа геометрических характеристик  
фрагментов продольных рельефных линий фигуры**

Наименование фрагмента абриса	Анализ основных закономерностей описания фрагмента абриса	Обобщённая схема фрагмента абриса	Общий вид уравнения кривой
1	2	3	4
ФА1 – верхняя часть грудной клетки	Прямой отрезок		Прямая: $x = kz + b$
ФА2, ФА3 – нижняя часть грудной клетки	Для фигур, не имеющих выступания грудной клетки, в частности, типовые и с выступающим животом – кривая по трём точкам. В верхней точке касательная параллельна отрезку 1, в нижней – оси Z		Кривая четвёртого порядка (по трём точкам и двум касательным): $x = az^4 + bz^3 + cz^2 + dz + e$
	Для фигур с выступанием грудной клетки область описывается двумя кривыми. Верхняя аналогична варианту для фигур без выступания грудной клетки. Нижняя – кривая с касательными, параллельными оси Z		Кривая четвёртого порядка (по трём точкам и двум касательным): $x = az^4 + bz^3 + cz^2 + dz + e$
			Косинусоида: $x = a \cdot \cos(kz) + b$
ФА4 – верхняя часть грудных желёз	Кривая, в верхней точке параллельна отрезку 1, в нижней точке для части исследуемых фигур с округлой формой грудных желёз параллельна оси z, для конической формы грудных желёз задана произвольно		Кривая третьего порядка: $x = az^3 + bz^2 + cz + d$
			Кривая третьего порядка (кубическая парабола): $x = az^3 + bz^2 + cz + d$
ФА5 – нижняя часть грудных желёз	Кривая, в верхней точке параллельна оси z		Кривая третьего порядка (кубическая парабола): $x = az^3 + bz^2 + cz + d$

Продолжение таблицы Е.3

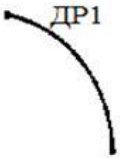

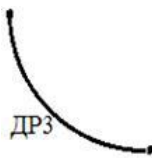
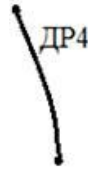
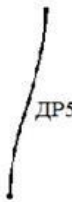

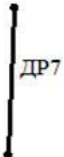

1	2	3	4
ФА6 – средняя часть живота	Различное взаимное расположение крайних точек, касательные в которых для всех исследуемых фигур параллельны оси Z		Косинусоида: $x = a \cdot \cos(kz) + b$
ФА7 – нижняя часть живота	Кривая, касательные в крайних точках параллельны оси Z		Косинусоида: $x = a \cdot \cos(kz) + b$
ФА8 – плечевой контур	Кривая		Кривая третьего порядка: $x = az^3 + bz^2 + cz + d$
ФА9 – боковой контур верхней части торса	Кривая, касательные в крайних точках параллельны оси Z		Косинусоида: $x = a \cdot \cos(kz) + b$
ФА10 – соединительная кривая верхней и нижней частей торса	Кривая, касательная в верхней точке параллельна оси Z, в нижней – параллельна касательной в верхней точке кривой 11		Кривая третьего порядка (кубическая парабола): $x = az^3 + bz^2 + cz + d$
ФА11 – боковой контур нижней части торса	Кривая, касательная в нижней точке параллельна оси Z		Кривая третьего порядка (кубическая парабола): $x = az^3 + bz^2 + cz + d$

## Продолжение таблицы Е.3

1	2	3	4
ФА12 – верхняя часть позвоночного столба	Кривая, касательная в нижней точке параллельна оси Z		Кривая третьего порядка: $x = az^3 + bz^2 + cz + d$
ФА13 – нижняя часть позвоночного столба	Кривая, касательные в крайних точках параллельны оси Z		Косинусоида: $x = a \cdot \cos(kz) + b$
ФА14 – задний контур нижней части торса	Кривая, касательные в крайних точках параллельны оси Z		Косинусоида: $x = a \cdot \cos(kz) + b$
ФА15 – верхняя часть лопатки	Участок присутствует не на всех фигурах. Кривая, касательная в нижней параллельна касательной в верхней точке кривой 16		Кривая третьего порядка: $x = az^3 + bz^2 + cz + d$
ФА16 – средняя часть лопатки	Участок присутствует только на фигурах с выступающими лопатками. Кривая, касательная в нижней точке параллельна оси Z		Кривая третьего порядка: $x = az^3 + bz^2 + cz + d$
ФА17 – нижняя часть лопатки	Участок присутствует только на фигурах с выступающими лопатками. Кривая, касательная в верхней точке параллельна оси Z, в нижней – параллельна касательной к кривой 13 в данной точке		Кривая третьего порядка: $x = az^3 + bz^2 + cz + d$



## Продолжение таблицы Е.3

1	2	3	4
ДР1 – внутренняя верхняя часть грудной железы	Округлая форма фрагмента		Эллипс: $\frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
ДР2 – внутренняя нижняя часть грудной железы	Округлая форма фрагмента		Эллипс: $\frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
ДР3 – внешняя нижняя часть грудной железы	Округлая форма фрагмента		Эллипс: $\frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$
ДР4 – верхняя часть лопатки (вид сзади)	Касательная в нижней точке параллельна оси Z		Кривая третьего порядка: $y = az^3 + bz^2 + cz + d$
ДР5 – средняя часть лопатки (вид сзади)	Касательные в крайних точках параллельны оси Z		Кривая третьего порядка: $y = az^3 + bz^2 + cz + d$ Косинусоида: $y = a \cdot \cos(kz) + b$
ДР6 – нижняя часть лопатки (вид сзади)	Касательные в крайних точках параллельны оси Z		Кривая третьего порядка: $y = az^3 + bz^2 + cz + d$ Косинусоида: $y = a \cdot \cos(kz) + b$
ДР7 – продольная мышца спины	Прямая линия		Прямая: $y = kz + b$
ДР8 – дополнительная рельефная линия нижней опорной поверхности	Кривизна установлена условно, согласно визуальной оценки. Касательные в крайних точках параллельны оси Z		Кривая третьего порядка: $y = az^3 + bz^2 + cz + d$ Косинусоида: $y = a \cdot \cos(kz) + b$

## Приложение Е.1 - Анализ данных и разработка уравнений продольных рельефных линий фигуры

### 1. Верхняя часть грудной клетки

Абрис верхней части грудной клетки аппроксимирован путём построения прямого отрезка от ярёмной впадины до верхнего основания груди. Для аналитического описания фрагмента применена функция  $x=f_{\text{line}}(z)$ . Крайние точки:

13 - ярёмная впадина с координатами  $x_0 = r_{\text{пзп}13}$ ,  $z_0 = h_{\text{п}13}$ .

14 - точка верхнего основания груди с координатами  $x_1 = r_{\text{пзп}14}$ ,  $z_1 = h_{\text{п}14}$ .

Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую абрис грудной клетки сверху, зависящую от значения координат точек ярёмной впадины и верхнего основания груди:

$$x = \frac{r_{\text{пзп}13} - r_{\text{пзп}14}}{h_{\text{п}13} - h_{\text{п}14}} * (z - h_{\text{п}14}) + r_{\text{пзп}14}$$

### 2. Нижняя часть грудной клетки

Абрис нижней части грудной клетки характерен областью, не видимой на фотографии фигуры за выступанием грудных желёз. В связи с этим данный фрагмент получен графически путём построения кривой линии по визуально доступным точкам: 14 - точка верхнего основания груди с координатами  $x_0 = r_{\text{пзп}14}$ ,  $z_0 = h_{\text{п}14}$ , 17 – точка нижнего основания груди с координатами  $x_1 = r_{\text{пзп}17}$ ,  $z_1 = h_{\text{п}17}$ , 18' - точка выступления грудной клетки с координатами  $x_2 = r_{\text{пзп}18'}$ ,  $z_2 = h_{\text{п}18'}$ . При этом касательная в точке 14 параллельна отрезку 1. Наклон касательной  $\text{tg}\alpha_1$  определяется, как наклон прямой 1 относительно оси Z:

$$\text{tg}\alpha_0 = \frac{r_{\text{пзп}13} - r_{\text{пзп}14}}{h_{\text{п}13} - h_{\text{п}14}}$$

Касательная в точке 18', являющейся экстремумом функции, параллельна оси Z. Наклон касательной  $\text{tg}\alpha_2 = 0$ . Для аналитического описания фрагмента применена функция  $x=f_{\text{parabola3}}(z)$ . Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$ ,  $\text{tg}\alpha_0$ ,  $\text{tg}\alpha_2$ ,  $x_2$ ,  $z_2$  получаем параметрическую функцию, характеризующую нижний абрис грудной клетки.

### 3. Верхняя часть живота

Абрис верхней части живота получен путём построения кривой от точки выступления грудной клетки до талии спереди, при этом касательные в крайних точках кривой параллельны оси Z. Для аналитического описания фрагмента абриса верхней части живота применена функция  $x=f_{\text{cos}}(z)$  или  $x=f_{\text{parabola}}(z)$ . Крайние точки:

18' – выступание грудной клетки с координатами  $x_0 = r_{пзп18}'$ ,  $z_0 = h_{п18}'$ ,

18 – передняя точка талии с координатами  $x_1 = r_{пзп18}$ ,  $z_1 = h_{п18}$ .

Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$  в функцию  $x=f_{\cos}(z)$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее абрис верхней части живота, зависимый от значения координат точки выступания грудной клетки и передней точки талии:

$$x = \frac{r_{нзп18} - r'_{нзп18}}{2} * \left( \cos \frac{\pi * (z - h_{п18})}{(h_{п18} - h_{п18})} - 1 \right) + r_{нзп18}$$

#### 4. Нижняя часть грудной клетки для фигур с выступающим животом

Для фигур, не имеющих выраженного выступания грудной клетки, отсутствует точка экстремума переднего абриса 18', а линия «Нижняя часть грудной клетки» протянута до передней точки талии – 18. Учитывая, что принцип построения фрагмента абриса не изменён, принимаем:  $r_{пзп18}' = r_{пзп18}$ ;  $h_{п18}' = h_{п18}$ .

#### 5. Верхняя часть грудных желёз

Абрис верхней части грудных желёз для всех типов фигур получен путём построения кривой от точки верхнего основания груди фактической 14' до точки выступания грудных желёз 16. Касательная в точке 14' параллельна отрезку 1, касательная в точке 16, являющейся экстремумом функции, для всех типов груди, кроме конической, параллельна оси Z. Для конической формы груди наклон касательной в точке 16 определён экспериментально. Для аналитического описания фрагмента верхней части грудных желёз применена функция  $x = f_{\text{parabola}}(z)$

Крайние точки:

14' - точка верхнего основания груди фактическая с координатами  $x_1 = r_{пзп14}'$ ,  $z_1 = h_{п14}$ .

Наклон касательной  $\text{tg}\alpha_1$  определяется, как наклон прямой 1 относительно оси Z:

$$\text{tg}\alpha_1 = \frac{r_{нзп13} - r_{нзп14}}{h_{н13} - h_{н14}}$$

16 – точка выступания грудных желёз с координатами  $x_0 = r_{пзп16}$ ,  $z_0 = h_{п16}$  и наклоном касательной  $\text{tg}\alpha_0 = 0$  для округлой формы груди,  $\text{tg}\alpha_0 = 1,5 \cdot \frac{r_{нзп16} - r_{нзп14}}{h_{н16} - h_{н14}}$  для конической

формы груди. Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$ ,  $\text{tg}\alpha_0$ ,  $\text{tg}\alpha_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую абрис верхней части грудных желёз, зависящую от значения координат точек ярёмной впадины, верхнего основания груди и выступания грудных желёз:

$$x = a \cdot (z - z_0)^3 + b \cdot (z - z_0)^2 + c \cdot (z - z_0) + d,$$

$$\text{где } a = - \left( 2 * \frac{r_{n3n14} - r_{n3n16}}{(h_{n14} - h_{n16})^3} + \frac{r_{n3n13} - r_{n3n14}}{(h_{n14} - h_{n16})^2 * (h_{n14} - h_{n13})} \right);$$

$$b = \left( 3 * \frac{r_{n3n14} - r_{n3n16}}{(h_{n14} - h_{n16})^2} + \frac{r_{n3n13} - r_{n3n14}}{(h_{n14} - h_{n16}) * (h_{n14} - h_{n13})} \right);$$

$$c = 0; \quad d = r_{n3n16}; \quad z_0 = h_{n16}.$$

### 6. Нижняя часть груди

Абрис нижней части грудных желёз получен путём построения кривой от точки выступления грудных желёз 16 с координатами с координатами  $x_0 = r_{пзп16}$ ,  $z_0 = h_{п16}$  до точки нижнего основания груди фактической 17' с координатами  $x_1 = r_{пзп17}'$ ,  $z_1 = h_{п17}$ . При этом касательная в точке 16, являющейся экстремумом функции, параллельна оси Z.

$$\text{tg } \alpha_1 = 2 \cdot \frac{r'_{n3n17} - r'_{n3n16}}{h_{n17} - h_{n16}}$$

Для аналитического описания фрагмента абриса нижней части груди применена функция  $x = f_{\text{parabola}}(z)$ . Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$ ,  $\text{tg} \alpha_0$ ,  $\text{tg} \alpha_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую абрис нижней части грудных желёз, зависящую от значения координат точек выступления грудных желёз и нижнего основания груди:

$$x = -0.48 * \frac{r'_{n3n17} - r_{n3n16}}{(h_{n17} - h_{n16})^3} * (z - h_{n16})^3 + 1.48 * \frac{r_{n3n17} - r_{n3n16}}{(h_{n17} - h_{n16})^2} * (z - h_{n16})^2 + r_{n3n16}$$

### 7. Средняя часть живота

Абрис средней части живота получен путём построения кривой от передней точки талии до точки выступления живота, при этом касательные в крайних точках кривой параллельны оси Z. Для аналитического описания фрагмента абриса средней части живота применена функция  $x = f_{\text{cos}}(z)$  или  $x = f_{\text{parabola}}(z)$ . Крайние точки:

18' – выступание грудной клетки с координатами  $x_0 = r_{пзп18}'$ ,  $z_0 = h_{п18}'$ ,

18 – передняя точка талии с координатами  $x_1 = r_{пзп18}$ ,  $z_1 = h_{п18}$ .

Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$  в функцию  $x = f_{\text{cos}}(z)$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее абрис средней части живота, зависящий от значения координат передней точки талии и точки выступления живота:

$$x = \frac{r_{n3n18} - r_{n3n20}}{2} * \left( \cos \frac{\pi * (z - h_{n18})}{(h_{n20} - h_{n18})} - 1 \right) + r_{n3n18}$$

### 8. Нижняя часть живота

Абрис нижней части живота, применительно к целям проектирования платья, получен путём построения кривой от точки выступления живота до линии бёдер спереди, при этом касательные в крайних точках кривой параллельны оси  $Z$ . Для аналитического описания фрагмента абриса нижней части живота применена функция  $x=f_{\cos}(z)$  или  $x=f_{\text{parabola}}(z)$ . Крайние точки:

18 – выступание живота с координатами  $x_0 = r_{пзп18}$ ,  $z_0 = h_{п18}$ ,

20 – точка на линии бёдер спереди  $x_1 = r_{пзп20}$ ,  $z_1 = h_{п20}$ .

Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$  в функцию  $x=f_{\cos}(z)$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее абрис нижней части живота, зависимый от значения координат точки выступления живота и точки на линии талии спереди:

$$x = \frac{r_{пзп18} - r_{пзп20}}{2} * \left( \cos \frac{\pi * (z - h_{п20})}{(h_{п18} - h_{п20})} - 1 \right) + r_{пзп20}$$

#### 9. Плечевой контур

Абрис плеча получен путём построения кривой от точки основания шеи до плечевой точки. Для аналитического описания плечевого контура применена функция  $y=f_{\text{parabola}}(z)$ . Крайние точки:

136 – точка основания шеи с координатами  $y_0 = r_{поп13}$ ,  $z_0 = h_{б13}$ ,

5 – плечевая точка  $y_1 = r_{п0п5}$ ,  $z_1 = h_5$ .

Направление касательной в точке основания шеи совпадает с кривизной абриса шеи:  $\text{tg}\alpha_0 = \text{tg}\alpha_{136}$ . Касательная в плечевой точке по экспериментальным данным имеет угол наклона к оси  $Z$   $-45^\circ$ :  $\text{tg}\alpha_1 = -45^\circ$ . Подставив значения  $y_0$ ,  $z_0$ ,  $y_1$ ,  $z_1$ ,  $\text{tg}\alpha_0$ ,  $\text{tg}\alpha_1$  в функцию  $y=f_{\text{parabola}}(z)$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее абрис плеча, зависимый от значения координат точки основания шеи и плечевой точки.

#### 10. Боковой контур верхней части торса

Боковой абрис верхней части торса получен путём построения кривой от подмышечной впадины спереди до точки на уровне талии, при этом касательные в крайних точках кривой параллельны оси  $Z$ . Для аналитического описания бокового контура верхней части торса применена функция  $y=f_{\cos}(z)$  или  $y=f_{\text{parabola}}(z)$ . Крайние точки:

15 – подмышечная впадина спереди с координатами  $y_0 = r_{поп15}$ ,  $z_0 = h_{пв15}$ ,

186 – точка на уровне талии с координатами  $y_1 = r_{поп18}$ ,  $z_1 = h_{б18}$ .

Подставив значения  $y_0, z_0, y_1, z_1$  в функцию  $y=f_{\cos}(z)$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее боковой абрис верхней части торса, зависящий от значения координат точки выступления грудной клетки и передней точки талии:

$$y = \frac{r_{n0n18} - r_{n0n15}}{2} * \left( \cos \frac{\pi * (z - h_{618})}{h_{n15} - h_{618}} - 1 \right) + r_{n0n18}$$

### 11. Боковой контур нижней части торса

Боковой абрис нижней части торса получен путём построения параболы от точки фактического выступления бёдер до дополнительной точки талии. Линия бокового абриса нижней части торса аппроксимирована путём построения кривой от точки фактического выступления бёдер с координатами  $x_0 = r_{\text{поп}19}, z_0 = h_{619}'$  до точки 1 с координатами  $x_1 = r_{\text{поп}18} + \Delta r_{\text{поп}18}, z_1 = h_{618} - \Delta h_{18}$ . Касательная в точке выступления бёдер, являющейся экстремумом функции, параллельна оси  $Z$ :  $\text{tg } \alpha_0 = 0$ .

$$\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \cdot \frac{r'_{nzn17} - r'_{nzn16}}{h_{n17} - h_{n16}}$$

Для аналитического описания бокового контура нижней части торса применена функция  $x = f_{\text{parabola}}(z)$ . Подставив значения  $x_0, z_0, x_1, z_1, \text{tg} \alpha_0, \text{tg} \alpha_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую боковой абрис нижней части торса, зависящую от координат точки на уровне талии и точки выступления бёдер.

### 12. Соединительная кривая верхней и нижней частей торса

Линия, связывающая верхнюю и нижнюю часть торса, аппроксимирована путём построения кривой от точки на уровне талии с координатами  $x_0 = r_{\text{поп}18}, z_0 = h_{618}$  до точки 1 с координатами  $x_1 = r_{\text{поп}18} + \Delta r_{\text{поп}18}, z_1 = h_{618} - \Delta h_{18}$ . Касательная в точке на уровне талии, являющейся экстремумом функции, параллельна оси  $Z$ :  $\text{tg } \alpha_0 = 0$ . Направление касательной в точке 1 соответствует своему значению на участке 16:

$$\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \cdot \frac{r'_{nzn17} - r'_{nzn16}}{h_{n17} - h_{n16}}$$

Для аналитического описания соединительной кривой бокового абриса применена функция  $x=f_{\text{parabola}}(z)$ . Подставив значения  $x_0, z_0, x_1, z_1, \text{tg} \alpha_0, \text{tg} \alpha_1$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее соединительную кривую верхней и нижней частей торса, зависящую от значения координат точки на уровне талии.

### 13. Верхняя часть позвоночного столба

Абрис позвоночного столба характерен областью, не видимой на фотографии фигуры за выступанием лопаток. С целью определения формы позвоночного столба исследованы фигуры, не имеющие выступания лопаток. Абрис верхней части позвоночного столба получен путём построения кривой от шейной точки с координатами  $x_1 = r_{пзз13}$ ,  $z_1 = h_{з13}$ , до точки 160 – экстремума кривизны позвоночника с координатами  $x_0 = r_{пзз160}$ ,  $z_0 = h_{з16}$ . Наклон касательной в шейной точке совпадает с углом наклона шеи  $\alpha_{13з}$ :  $\text{tg}\alpha_1 = \text{tg}\alpha_{13з}$ . Касательная в точке 160 параллельна оси Z:  $\text{tg}\alpha_0 = 0$ . Для аналитического описания верхней части позвоночного столба применена функция  $x = f_{\text{parabola}}(z)$ . Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$ ,  $\text{tg}\alpha_0$ ,  $\text{tg}\alpha_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую абрис верхней части позвоночного столба, зависящую от значения координат шейной точки и точки экстремума изгиба позвоночника.

#### 14. Нижняя часть позвоночного столба

Абрис нижней части позвоночного столба аппроксимирован путём построения кривой от задней точки талии с координатами  $x_1 = r_{пзз18}$ ,  $z_1 = h_{з18}$ , до точки 160 – экстремума кривизны позвоночника с координатами  $x_0 = r_{пзз160}$ ,  $z_0 = h_{з16}$ , при этом касательные в крайних точках кривой параллельны оси Z. Для аналитической аппроксимации нижней части позвоночного столба применена функция  $x = f_{\text{cos}}(z)$ . Для фигур, имеющих выступание лопатки координаты точки 160 определены расчётным способом по координатам нижней точки кривой (задней точки талии 18з) и точки, принадлежащей кривой, описывающей нижнюю часть позвоночного столба, (точки нижнего основания лопатки 162) по формуле:

$$r_{з160} = r_{з18} - 2 \cdot \frac{r_{з162} - r_{з18}}{\cos \frac{\pi \cdot (h_{з162} - h_{з18})}{h_{з16} - h_{з18}} - 1}; h_{з160} = h_{з16}.$$

Подставив значения  $x_0$ ,  $z_0$ ,  $x_1$ ,  $z_1$  в функцию  $x = f_{\text{cos}}(z)$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее абрис нижней части позвоночного столба, зависящий от значения координат задней точки талии и точки экстремума кривизны позвоночника.

#### 15. Верхняя часть лопатки

Абрис верхней части лопатки для фигур с выступающими лопатками аппроксимирован путём построения кривой от шейной точки – 13з с координатами  $x_0 = r_{пзз13}$ ,  $z_0 = h_{з13}$ , до точки верхнего выступа лопатки 161 с координатами  $x_1 = r_{пзз161}$ ,  $z_1 = h_{з161}$ . Наклон касательной в шейной точке совпадает с углом наклона шеи  $\alpha_{13з}$ :  $\text{tg}\alpha_0 = \text{tg}\alpha_{13з}$ . Касательная в точке верхнего выступа лопатки совпадает с касательной средней части



лопатки в точке 161:  $\operatorname{tg}\alpha_1 = \operatorname{tg}\alpha_1^{161}$ . Для построения участка 8 применена функция  $x = f_{\text{parabola}}(z)$ . Подставив значения  $x_0, z_0, x_1, z_1, \operatorname{tg}\alpha_0, \operatorname{tg}\alpha_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую абрис верхней части лопатки, зависящую от значения координат шейной точки и точки верхнего выступания лопатки. В связи с тем, что  $\operatorname{tg}\alpha_1$  зависит от средней части лопатки, проектированию абриса верхней части лопатки предшествует разработка математического описания абриса средней части лопатки.

#### 16. Средняя часть лопатки

Абрис средней части лопатки для фигур с выступающими лопатками аппроксимирован путём построения кривой от точки 163 – нижнего выступания лопатки с координатами  $x_0 = r_{\text{пзз16}}, z_0 = h_{316}$ , до точки 161 – верхнего выступания лопатки с координатами  $x_1 = r_{\text{пзз161}}, z_1 = h_{3161}$ . Касательная в точке 163 параллельна оси Z:  $\operatorname{tg}\alpha_0 = 0$ . Направление касательной в точке 161 определено экспериментально (глава 0):

$$\tan \alpha_1^{161} = 1,52 \cdot \frac{r_{\text{пзз161}} - r_{\text{пзз16}}}{h_{3161} - h_{316}}$$

Для аналитической аппроксимации фрагмента абриса средней части лопатки применена функция  $x = f_{\text{parabola}}(z)$ . Подставив значения  $x_0, z_0, x_1, z_1, \operatorname{tg}\alpha_0, \operatorname{tg}\alpha_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую абрис средней части лопатки, зависящую от значения координат точек верхнего и нижнего выступания лопатки.

#### 17. Нижняя часть лопатки

Абрис нижней части лопатки аппроксимирован путём построения кривой от точки 163 – нижнего выступания лопатки с координатами  $x_0 = r_{\text{пзз16}}, z_0 = h_{316}$ , до точки 162 – нижнего основания лопатки с координатами  $x_1 = r_{\text{пзз162}}, z_1 = h_{3162}$ . Касательная в точке нижнего выступания лопаток параллельна оси Z:  $\operatorname{tg}\alpha_0 = 0$ . Направление касательной в точке 162 соответствует кривизне позвоночника в указанной точке и определяется как производная от функции абриса нижней части позвоночного столба:  $\operatorname{tg}\alpha_1 = df_{\cos}(z)$  при  $x_1 = r_{\text{пзз18}}, z_1 = h_{318}, x_0 = r_{\text{пзз160}}, z_0 = h_{316}$ . Для аналитической аппроксимации фрагмента абриса нижней части лопатки применена функция  $x = f_{\text{parabola}}(z)$ . Подставив значения  $x_0, z_0, x_1, z_1, \operatorname{tg}\alpha_0, \operatorname{tg}\alpha_1$ , получаем параметрическую функцию, характеризующую абрис нижней части лопатки, зависящую от значения координат точек основания и нижнего выступания лопаток.

#### 18. Задний контур нижней части торса

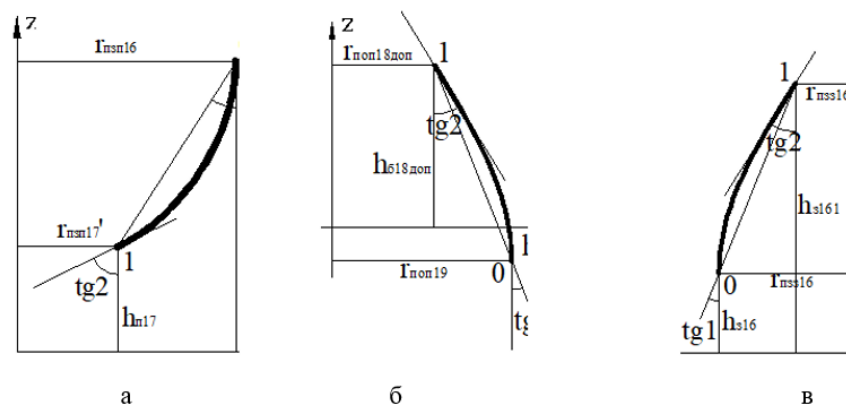
Задний абрис нижней части торса аппроксимирован путём построения кривой от задней точки талии 18з с координатами  $x_1 = r_{пзз18}$ ,  $z_1 = h_{з18}$ , до ягодичной точки 19з с координатами  $x_0 = r_{пзз19}$ ,  $z_0 = h_{з19}$ , при этом касательные в крайних точках кривой параллельны оси Z. Для аналитической аппроксимации заднего контура нижней части торса применена функция  $x=f_{\cos}(z)$ . Подставив значения  $x_0, z_0, x_1, z_1$  в функцию  $x=f_{\cos}(z)$ , получаем параметрическое уравнение, характеризующее задний абрис нижней части позвоночного столба, зависимый от значения координат задней точки талии и ягодичной точки.

### Приложение Е.2 - Определение положения направляющих в крайних точках фрагментов абрисов

В процессе экспериментального *определения положения направляющих в крайних точках фрагментов абрисов* выявлены три фрагмента продольных рельефных линий женской фигуры, при аппроксимации которых в графическом редакторе использован приём произвольного задания направляющей в одной из крайних точек:

- нижняя часть грудной железы;
- средняя часть лопатки;
- нижняя часть бокового абриса.

С целью определения закономерностей кривизны данных фрагментов в рамках антропоморфологического эксперимента в графическом редакторе по фотографическим снимкам женских фигур были построены кривые, аппроксимирующие исследуемые фрагменты абрисов (Рисунок Е.2).



**Рисунок Е.2 – Наклон касательных к крайним точкам исследуемых кривых:**

**а) нижняя часть грудной железы, б) нижняя часть бокового абриса,**

### в) средняя часть лопатки

Полученные кривые, по данным исследования формы продольных рельефных линий, в одной из двух крайних точек имеют точку экстремума, в которой направляющая вертикальна и параллельна оси  $Z$ , во второй точке направляющая задана произвольно и зависит от взаимного расположения крайних точек фрагментов продольных рельефных линий. С целью обобщения задач эксперимента и выводов точки, в которых направляющая вертикальна и параллельна оси  $Z$  названы т.0. Вторая крайняя точка линии – т.1. Суть эксперимента сводилась к исследованию зависимости наклона касательной в точке 1 от взаимного расположения крайних точек 0 и 1. Относительный наклон касательных для экспериментальных фигур определен по формуле:

$$k_i = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{2i}}{\operatorname{tg} \alpha_{1i}}$$

где  $k$  - коэффициент зависимости наклона касательной к точке кривой относительно её крайних точек для  $i$ -того фрагмента продольной линии крайних точек

$\operatorname{tg} \alpha_{1i}$  – наклон касательной в крайней точке для  $i$ -того фрагмента продольной линии,

$\operatorname{tg} \alpha_{2i}$  – наклон отрезка, соединяющего точки 0 и 1 для  $i$ -того фрагмента продольной линии.

$$\operatorname{tg} \alpha_{1i} = \frac{r_{0i} - r_{1i}}{h_{0i} - h_{1i}}$$

где  $r_{0i}, h_{0i}$  – проекционные координаты точки 0, соответствующие 3D параметрам фигуры,

$r_{1i}, h_{1i}$  – проекционные координаты точки 1, соответствующие 3D параметрам фигуры.

$$\operatorname{tg} \alpha_{2i} = k \cdot \operatorname{tg} \alpha_{1i} = k \cdot \frac{r_{0i} - r_{1i}}{h_{0i} - h_{1i}}$$

По данным эксперимента выявлены закономерности относительной зависимости наклона касательной в одной из крайних точек кривой от взаимного расположения крайних точек для исследуемых фрагментов рельефных линий:

$K_{17} = 2,00$  – для нижней точки ФА 5,

$K_{161} = 1,52$  – для верхней точки ФА 16,

$K_{186} = 1,52$  – для верхней точки ФА 11.

## **Приложение Ж**

### **Параметрическая информация о размерах и форме одежды**

Таблица Ж.1 – Параметры 3D базовой формы изделия

Информативная точка		Параметры 3D формы изделия		
На изделии	На фигуре	Координата по оси X	Координата по оси Y	Координата по оси Z
5d	5	0	$R_{\text{поп}5}$	$H_5$
13pd	13п	$R_{\text{пзп}13}$	0	$H_{\text{п}13}$
136d	13б	0	$R_{\text{поп}13}$	$H_{613}$
13zd	13з	$R_{\text{пзз}13}$	0	$H_{313}$
14d	14	$R_{\text{пзп}14}$	0	$h_{\text{п}14}$
15pd	15п	$R_{\text{пв}15\text{п}}$	$R_{\text{поп}15\text{п}}$	$H_{\text{пв}15\text{п}}$
15zd	15з	$R_{\text{пв}15з}$	$R_{\text{поп}15з}$	$H_{\text{пв}15з}$
16pd	16п	$R_{\text{пзп}16}$	$R_{\text{поп}16}'$	$h_{\text{п}16}$
16zd	16з	$R_{\text{пзз}16}$	$M_{16}$	$h_{316}$
17d	17	$R_{\text{пзп}17}$	0	$h_{\text{п}17}$
18pd	18п	$R_{\text{пзп}18}$	0	$h_{\text{п}18}$
186d	18б	0	$R_{\text{поп}18}$	$h_{618}$
18zd	18з	$R_{\text{пзз}18}$	$M_{18}$	$h_{318}$
19d	19	$R_{\text{пзз}19}$	$M_{19}$	$h_{19}$
20d	20	$R_{\text{пзп}20}$	$R_{\text{поп}5}$	$h_{\text{п}20}$
18'd	18'	$R_{\text{пзп}18}'$	0	$h_{\text{п}18}'$
161d	161	$R_{\text{пзз}161}$	$M_{161}$	$h_{\text{пзз}161}$
162d	162	$R_{\text{пзз}162}$	$M_{162}$	$h_{\text{пзз}162}$
19'd	19'	0	$R_{\text{поп}19}'$	$h_{619}'$

Таблица Ж.2 – Математическая модель продольных рельефных линий базовой формы плечевого изделия по фрагментам (фрагмент)

Обозначение и наименование фрагмента	Обозначение фрагмента линии абриса		Функция	Параметры
	изделия	фигуры		
2	3	4	5	6
Передний абрис				
ФА1d – Верхняя часть грудной клетки	$f_{1d}$	$f_1(z)$	$x=f_{\text{line}}(z)$	$x_0 = R_{\text{пзп}13}$ $z_0 = H_{\text{п}13}$ $x_1 = R_{\text{пзп}14}$ $z_1 = h_{\text{п}14}$
ФА4d – Верхняя часть грудных желёз	$f_{4d}$	$f_4(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$	$x_0 = R_{\text{пзп}16}; z_0 = h_{\text{п}16}$ $\tan\alpha_0 = 0; x_1 = R_{\text{пзп}14}'$ $z_1 = h_{\text{п}14}$ $tg\alpha_1 = \frac{R_{n3n13} - R_{n3n14}}{H_{n13} - H_{n14}}$
ФА5d – Нижняя часть груди	$f_{5d}$	-	$x = f_{\text{parabola}}(z)$	$x_0 = R_{\text{пзп}18}; z_0 = h_{\text{п}18}$ $\tan\alpha_0 = 0$ $x_1 = R_{\text{пзп}16}; z_1 = h_{\text{п}16}$ $\tan\alpha_1 = 0$

Продолжение таблицы Ж.2

1	2	3	4	5
ФА6d – Средняя часть живота	$f_{6d}$	$f_6(z)$	$x=f_{\cos}(z)$	$x_0 = R_{пзп18}'$ $z_0 = h_{п18}'$ $x_1 = R_{пзп18}$ $z_1 = h_{п18}$
ФА7d – Нижняя часть живота	$f_{7d}$	$f_7(z)$	$x=f_{\cos}(z)$	$x_0 = R_{пзп18}$ $z_0 = h_{п18}$ $x_1 = R_{пзп20}$ $z_1 = h_{п20}$
Задний абрис				
ФА15d – Верхняя часть лопатки	$f_{15d}$	$f_{15}(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$	$x_0 = R_{пзз13}$ $z_0 = H_{з13}$ $\tan\alpha_0 = \tan\alpha_{13з}$ $x_1 = R_{пзз161}$ $z_1 = h_{з161}$ $\tan\alpha_1 = 1,52 \cdot \frac{r_{пзз161} - r_{пзз16}}{h_{з161} - h_{з16}}$
ФА16d – Средняя часть лопатки	$f_{16d}$	$f_{16}(z)$	$x = f_{\text{parabola}}(z)$	$x_0 = R_{пзз16}$ $z_0 = h_{з16}$ $\tan\alpha_0 = 0$ $x_1 = R_{пзз161}$ $z_1 = h_{з161}$ $\tan\alpha_1 = 1,52 \cdot \frac{r_{пзз161} - r_{пзз16}}{h_{з161} - h_{з16}}$
ФА13d – Нижняя часть позвоночного столба	$f_{13d}$	-	$x = f_{\text{parabola}}(z)$	$x_0 = R_{пзз18}; z_0 = h_{з18}$ $\tan\alpha_0 = 0; x_1 = R_{пзз16}$ $z_1 = h_{з16}$ $\tan\alpha_1 = 0$
ФА14d – Задний контур нижней части торса	$f_{14d}$	$f_{14}(z)$	$x=f_{\cos}(z)$	$x_0 = R_{пзз19}$ $z_0 = h_{з19}$ $x_1 = R_{пзз18}$ $z_1 = h_{з18}$
ФА8d – Плечевой контур	$f_{8d}$	$f_8(z)$	$y=f_{\text{parabola}}(z)$	$y_0 = R_{поп13}; z_0 = H_{б13}$ $\tan\alpha_0 = \tan\alpha_{13б}$ $y_1 = R_{п0п5}$ $z_1 = H_5$ $\tan\alpha_1 = -45^\circ$
ФА9d – Боковой контур верхней части торса	$f_{9d}$	$f_9(z)$	$y=f_{\cos}(z)$	$y_0 = R_{поп15}$ $z_0 = H_{пв15}$ $y_1 = R_{поп18}$ $z_1 = h_{б18}$
ФА10d – Соединительная кривая верхней и нижней частей торса	$f_{10d}$	$f_{10}(z)$	$y=f_{\text{parabola}}(z)$	$x_0 = R_{поп18}; z_0 = h_{б18}$ $\text{tg } \alpha_0 = 0$ $x_1 = R_{поп18} + \Delta R_{поп18}; z_1 = h_{б18} - \Delta h_{18}$ $\text{tg } \alpha_1 = 1,52 \cdot \frac{r'_{пзп17} - r'_{пзп16}}{h_{п17} - h_{п16}}$

**Таблица Ж.3 – Математическая модель фрагментов поверхности плечевого изделия (фрагмент)**

Фрагмент		Функция	Переменные	Условия
изделия	фигуры			
2	3	4	5	6
F <sub>4d</sub>	F <sub>2a</sub> + F <sub>4</sub>	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$y_0 = 0; x_0 = f_{4d}$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = R_{\text{пoп16}}'; x_1 = f_{4,d}$ $\tan\alpha_1 = f_{\tan12}$	$x \in [f_{4d}; f_{4,d}]$ $y \in [-R_{\text{пoп16}}'; R_{\text{пoп16}}']$ $z \in [h_{\text{п16}}; h_{\text{п14}}]$
F <sub>6-7-8d</sub>	F <sub>6</sub> + F <sub>7a</sub> + F <sub>7</sub> + F <sub>8</sub>	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$y_0 = 0; x_0 = f_{5-6d}$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = R_{\text{пoп16}}'; x_1 = f_{5-6,d}*$ $\tan\alpha_1 = \tan \alpha_1^{6-7-8d} = \tan 1(x)$ $x_{10}=r_{\text{пзп16}}, x_{11}=r_{\text{пзп186}}$ $\tan_{10}=0, \tan_{11}= F_{1\text{ноd}}'(r_{\text{пoп16}}', h_{618})$	$x \in [f_{5-6,d}; f_{5-6d}]$ $y \in [-R_{\text{пoп16}}'; R_{\text{пoп16}}']$ $z \in [h_{618}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>5,d</sub>	F <sub>5'</sub> + F <sub>7</sub> + F <sub>8</sub>	$x=F_{\text{parabola}}(y,z)$	$y_0 = R_{\text{пoп16}}'; x_0 = f_{5-6,d}$ $\tan\alpha_0 = \tan \alpha_1^{6-7-8d}$ $y_1 = f_{16,d}***; x_1 = f_{5-6,d}***$ $\tan\alpha_1 = \tan \alpha_1^{5,d} = \tan 1(x)$ $x_{10}=r_{\text{пзп16}}, x_{11}=r_{\text{пзп186}}$ $\tan_{10}=F_{3,d}'(r_{\text{пoп16}}'', h_{\text{п16}}),$ $\tan_{11}= F_{1\text{ноd}}'(r_{\text{пoп16}}', h_{618})$	$x \in [f_{5-6,d}; f_{5-6,d}]$ $y \in [-f_{16,d}; -R_{\text{пoп16}}'] \cup [R_{\text{пoп16}}'; f_{16,d}]$ $z \in [h_{618}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>5ad</sub>	F <sub>5</sub> + F <sub>7a</sub>	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$y_0 = f_{9d}; x_0 = f_{32d}$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = f_{16,d}; x_1 = f_{5-6,d}$ $\tan\alpha_1 = 1/\tan \alpha_1^{5,d}$	$x \in [f_{32d}; f_{5-6,d}]$ $y \in [-f_{9d}; -f_{16,d}] \cup [f_{16,d}; f_{9d}]$ $z \in [h_{\text{п17}}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>5d</sub>	F <sub>7</sub> + F <sub>8</sub>	$y=F_{\text{parabola}}(x,z)$	$y_0 = f_{9d}; x_0 = 0$ $\tan\alpha_0 = 0$ $y_1 = f_{16,d}; x_1 = f_{5-6,d}$ $\tan\alpha_1 = 1/\tan \alpha_1^{5,d}$	$x \in [0; f_{5-6,d}]$ $y \in [-f_{9d}; -f_{16,d}] \cup [f_{16,d}; f_{9d}]$ $z \in [h_{\text{п17}}; h_{\text{п16}}]$
F <sub>4-5ноd</sub>	-	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = R_{\text{пзп20}}; b = f_{11d}$ $\Delta a = 0; \Delta b = 0$	$x \in [0; R_{\text{пзп20}}];$ $y \in [-f_{11d}; f_{11d}]$ $z \in [h_{619}'; h_{\text{п20}}]$
F <sub>4-5но'd</sub>	F <sub>4но</sub> + F <sub>5но</sub>	$y=F_{\text{ellipse}}(x,z)$	$a = R_{\text{пзп20}}; b = R_{\text{пoп19}}$ $\Delta a = 0; \Delta b = 0$	$x \in [0; R_{\text{пзп20}}]$ $y \in [-R_{\text{пoп19}}'; R_{\text{пoп19}}']$ $z \in [h_{\text{ди}}; h_{619}']$
F <sub>11cd</sub>	F <sub>11c</sub>	$y=F_{\text{line}}(x,z)$	$x = f_{15d}$	$x \in f_{15d}$ $y \in [-y_{11cd}^1; y_{11cd}^1]$ $z \in [h_{3161}; h_{313}]$
F <sub>5cd</sub>	F <sub>5c</sub>	$y=F_{\text{line}}(x,z)$	$x = f_{16d}$	$x \in f_{16d}$ $y \in [-y_{5cd}^1; y_{5cd}^1]$ $z \in [h_{316}; h_{3161}]$
F <sub>1-3cd</sub>	F <sub>1c</sub> + F <sub>3c</sub>	$y=F_{\text{line}}(x,z)$	$x = f_{13d}$	$x \in f_{15cd}$ $y \in [-y_{3cd}^1; y_{3cd}^1]$ $z \in [h_{\text{ди}}; h_{619}']$

\* $f_{5-6,d} = f_{\cos}(z), x_0=R_{\text{пзп186}}', x_1=R_{\text{пзп16}}, z_0=h_{618}, z_1=h_{\text{п16}},$  где  $R_{\text{пзп186}}' = F_{1\text{ноd}}(R_{\text{пoп16}}', h_{618})$

\*\* $f_{16,d} = f_{\cos}(z), y_0=R_{\text{пoп16}}', y_1=R_{\text{пoп16}}'', z_0=h_{618}, z_1=h_{\text{п16}}$

\*\*\* $f_{5-6,d} = f_{\cos}(z), x_0=R_{\text{пзп186}}', x_1=R_{\text{пзп16}}'', z_0=h_{618}, z_1=h_{\text{п16}}$



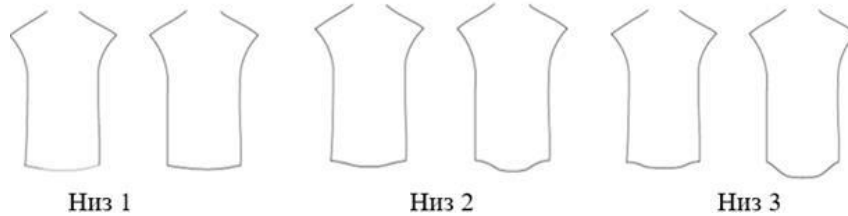
## **Приложение 3**

# **Разработка способа комбинаторного проектирования эскиза и конструкции мужской сорочки**



Силуэт С

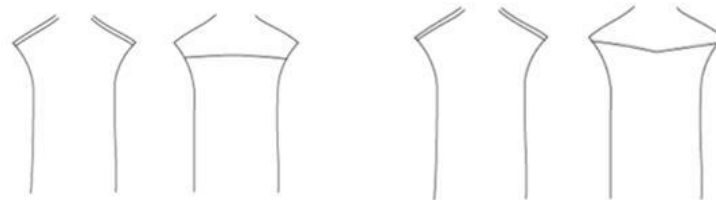
Силуэт П

**Рисунок 3.1 – Вариации силуэтной формы**

Низ 1

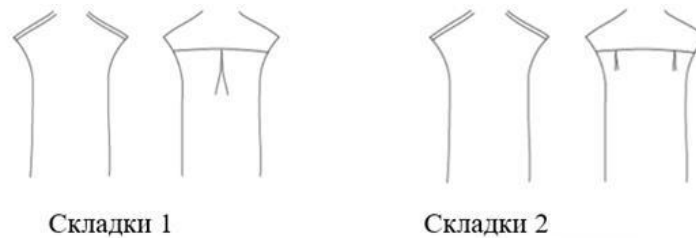
Низ 2

Низ 3

**Рисунок 3.2 – Вариации формы линии низа при константе на примере прямого силуэта**

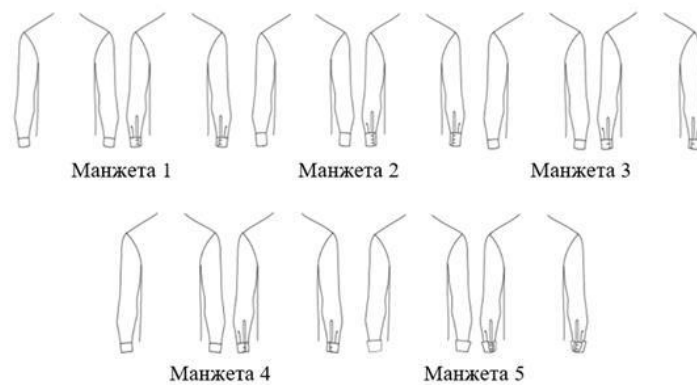
Кокетка 1

Кокетка 2

**Рисунок 3.3 – Вариации формы кокетки на примере прямого силуэта**

Складки 1

Складки 2

**Рисунок 3.4 – Вариации видов складок на примере прямого силуэта С и прямой кокетки 1**

Манжета 1

Манжета 2

Манжета 3

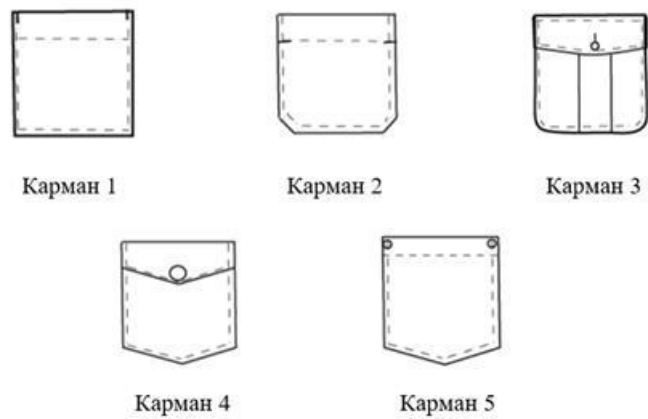
Манжета 4

Манжета 5

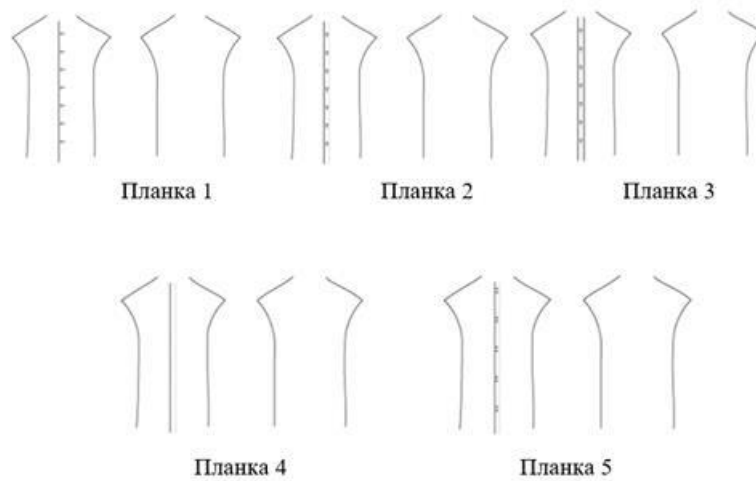
**Рисунок 3.5 – Вариации видов рукава и манжет**



**Рисунок 3.6 – Вариации видов воротников**



**Рисунок 3.7 – Вариации видов карманов**



**Рисунок 3.8 – Вариации видов планок**

Таблица 3.1 – Кодирование элементов

Название слоя	Кодировка на эскизе	Название слоя	Кодировка на эскизе
Силуэт С	С000000-0	Воротник 1	0000010-0
Силуэт П	П000000-0	Воротник 2	0000020-0
Низ 1	0100000-0	Воротник 3	0000030-0
Низ 2	0200000-0	Воротник 4	0000040-0
Низ 3	0300000-0	Воротник 5	0000050-0
Кокетка 1	0010000-0	Карман 1	0000001-0
Кокетка 2	0020000-0	Карман 2	0000002-0
Складки 1	0001000-0	Карман 3	0000003-0
Складки 2	0002000-0	Карман 4	0000004-0
Планка 1	0000100-0	Карман 5	0000005-0
Планка 2	0000200-0	Рукав с манжетой 1	0000000-1
Планка 3	0000300-0	Рукав с манжетой 2	0000000-2
Планка 4	0000400-0	Рукав с манжетой 3	0000000-3
Планка 5	0000500-0	Рукав с манжетой 4	0000000-4
		Рукав с манжетой 5	0000000-5

	Варианты
Кокетка	
Складки	
Силуэт (боковые линии)	
Линия низа	
Планки	
Воротники	
Карманы	
Рукав (сорт)+манжеты	

Рисунок 3.9 – Конструктивное решение элементов конструкции мужской сорочки

## **Приложение И**

# **Информативное описание модельных параметров для изделия**

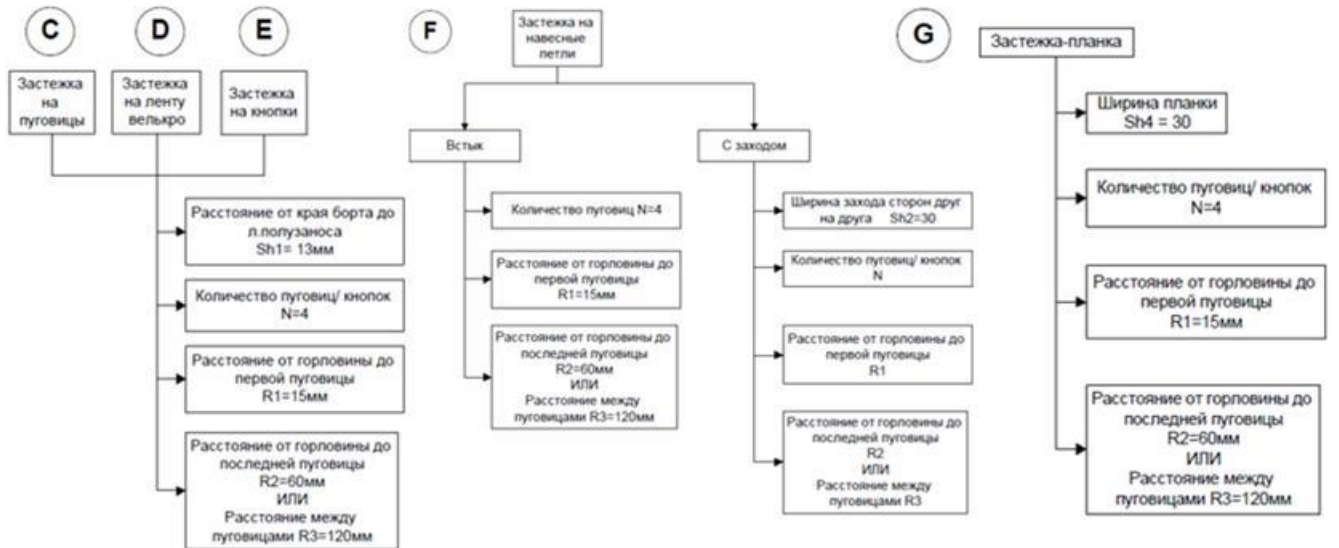


Рисунок И.1 – Параметрические ветки модельных решений по виду застежки

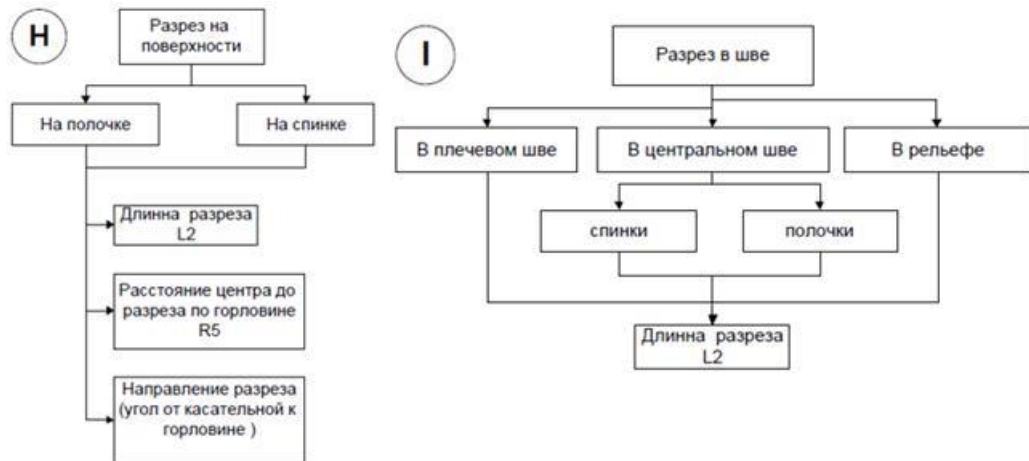
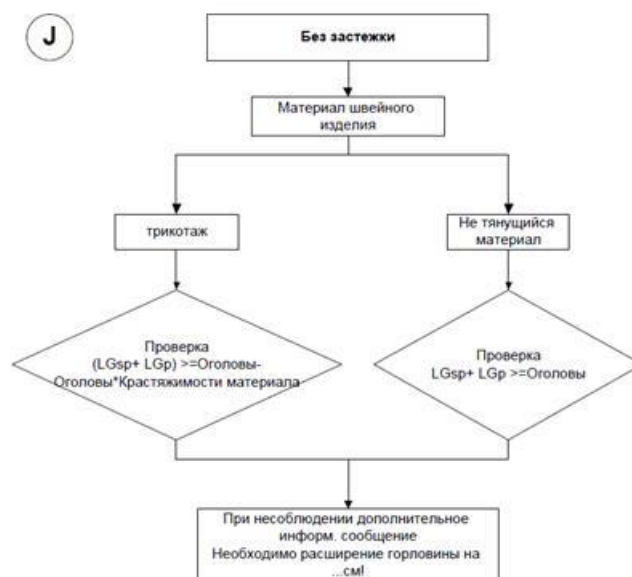


Рисунок И.2 – Параметрические ветки модельных решений по виду разреза

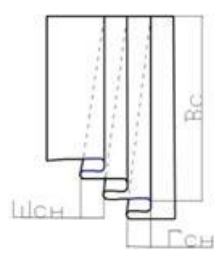



**Рисунок И.3 – Параметрические ветки модельного решения горловины без застёжки**

**Таблица И.1 – Общая классификация складчатых поверхностей в одежде**

Виды	Подвиды
По направлению	Заложенные на лицевую сторону
	Заложенные на изнаночную сторону
	Односторонние, заложенные по часовой стрелке
	односторонние, заложенные против часовой стрелки
	Бантовые
	Встречные
По способу расположения складок относительно друг друга	Заложенные встык
	Заложенные с равномерным интервалом
	Заложенные с неравномерным интервалом
	Заходящие друг на друга с равномерной величиной захода
	Заходящие друг на друга с неравномерной величиной захода
По степени фиксации	Зафиксированные сверху
	Зафиксированные снизу
	Зафиксированные сверху и снизу
По характеру поверхности складки	Мягкие
	Жесткие

**Таблица И.2 – Конструктивно-технологическое решение складок в одежде на основе параметрического проектирования складчатых поверхностей (фрагмент)**

№ кода	Схема конструкции складок	Схема внешнего вида складок		
111				
Параметры складчатой поверхности				
Наименование	Обозначение	Величина, см	Модель изделия	
Высота складки	Вс	70,0		
Глубина складки снизу	Гсн	3,5		
Ширина складки снизу	Шсн	7,0		
Высота складки в конструкции	ВКс	70,0		
Глубина складки снизу в конструкции	ГКсн	3,5		
Ширина складки снизу в конструкции	ШКсн	7,0		



## Продолжение таблицы И.2

№ кода	Схема конструкции складок	Схема внешнего вида складок		
211				
Параметры складчатой поверхности				
Наименование	Обозначение	Величина, см	Модель изделия	
Высота складки	Вс	63,0		
Глубина складки сверху	Гсв	3,2		
Ширина складки сверху	Шсв	6,4		
Высота складки в конструкции	ВКс	63,0		
Глубина складки сверху в конструкции	ГКсв	3,2		
Ширина складки сверху в конструкции	ШКсв	6,4		
№ кода	Схема конструкции складок	Схема внешнего вида складок		
411				
Параметры складчатой поверхности				
Наименование	Обозначение	Величина, см	Модель изделия	
Высота складки	Вс	47,0		
Глубина складки снизу	Гсн	2,0		
Глубина складки сверху	ГКсв	3,0		
Ширина складки снизу	Шсн	4,0		
Ширина складки сверху	ШКсв	6,0		
Высота складки в конструкции	ВКс	47,0		
Глубина складки снизу в конструкции	ГКсн	2,0		
Глубина складки сверху в конструкции	ГКсв	3,0		
Ширина складки снизу в конструкции	ШКсн	4,0		
Ширина складки сверху в конструкции	ШКсв	6,0		

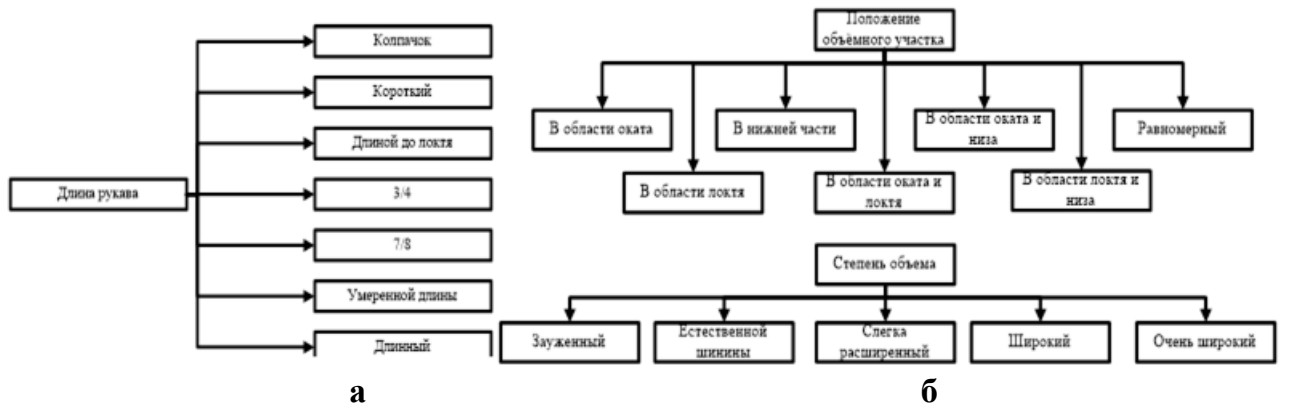


Рисунок И.4 – Характеристики рукава: а) по длине; б) по месту расположения объема

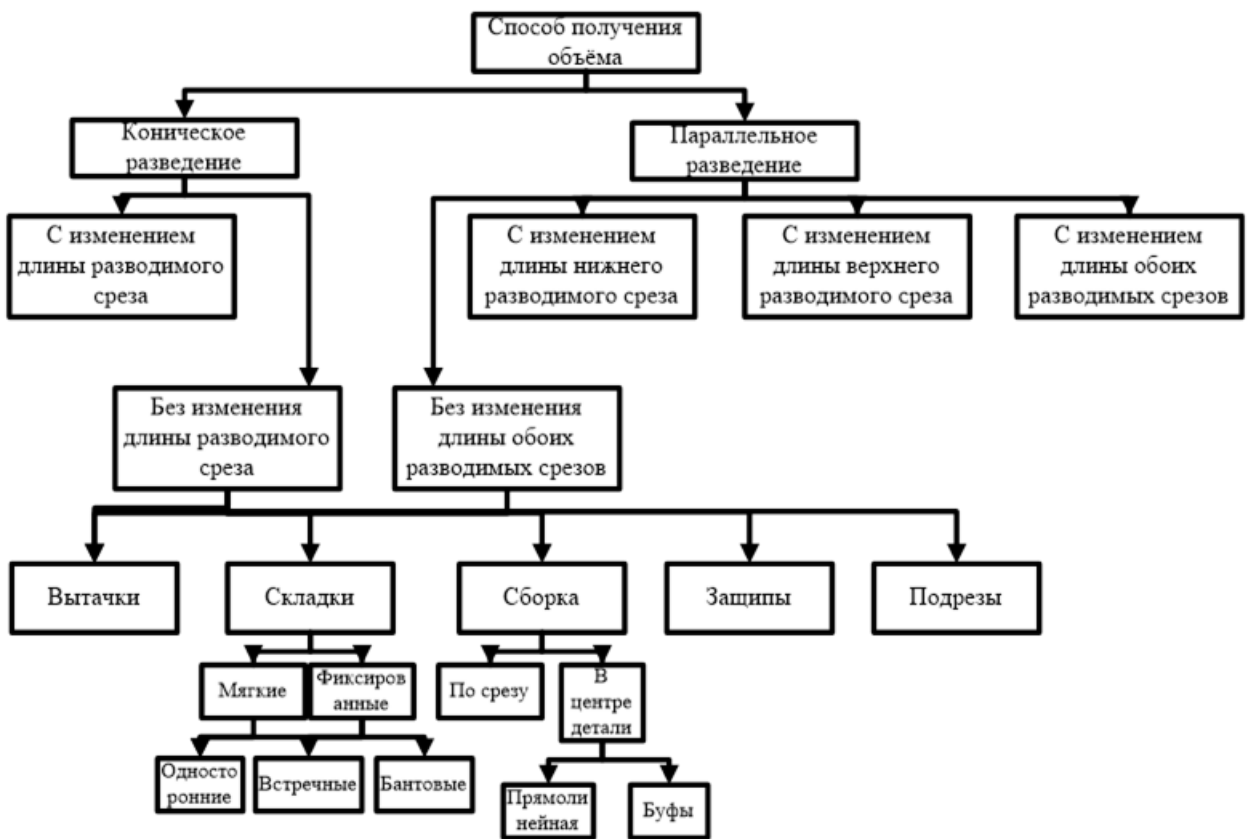


Рисунок И.5 – Характеристика рукавов по способу создания объема

