

На правах рукописи



Гетманцева Варвара Владимировна

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

Специальность 05.19.04
«Технология швейных изделий»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва - 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина») на кафедре «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий» (ХМКТШИ).

Научный консультант: доктор технических наук, профессор кафедры ХМКТШИ ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»
Андреева Елена Георгиевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой конструирования и технологии швейных изделий ФГБОУ ВО «СПбГУПТД», г. Санкт-Петербург
Сурженко Евгений Яковлевич

доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование, технологии и дизайн» ИСОП ФГБОУ ВО «ДГТУ», г. Шахты
Черунова Ирина Викторовна

доктор технических наук, профессор кафедры технологии швейных изделий ФГБОУ ВО «ИВГПУ», г. Иваново
Корнилова Надежда Львовна

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», г. Кострома**

Защита состоится «17» марта 2021 г. в 10.00 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.144.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д.33, стр.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина» и на официальном сайте университета <https://kosygin-rgu.ru/>

Автореферат разослан « » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.144.01



Мезенцева Т.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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., Парина 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., Byvoet 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., Мусеева 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., Курышеву 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., Barabáš 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 соответствующих 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 кроев 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 кроев, 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, контролирующего 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), «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 моделировании 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе описано современное состояние развития теории интеллектуализации, проведен анализ основных интеллектуальных технологий, включая инженерию знаний; технологии экспертных, многоагентных и интерактивных систем, распознавания образов, изображений, знаков и др. Представлены основные принципы, определяющие требования к интеллектуальным технологиям, системам и объектам. Показаны особенности получения данных, знаний и информации, выделены основные категории знаний по предметным областям, определены факторы выбора способа и модели представления знаний и проиллюстрированы на примере продукционных, логических, фреймовых, объектно-ориентированных, реляционных, гибридных моделей, семантических и нейронных сетей. Приведена классификация профессиональных экспертных знаний, используемых для проектирования. 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. 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. 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, для создания принципиально новых объектов, отличающихся оригинальностью, дополнительной полезностью и функциональностью.

Разработана обобщенная концептуальная модель интеллектуализации интегрированных САПР одежды, включающая модули процессов эскизирования, конфекционирования, конструирования и технологической подготовки производства (Рисунок 1), с возможностью использования экспертных и интеллектуальных поддержек,

технологий интеллектуального анализа «больших данных» о предпочтениях и ожиданиях разных групп потребителей, аккумулируемых в соответствующих подмодулях системы.

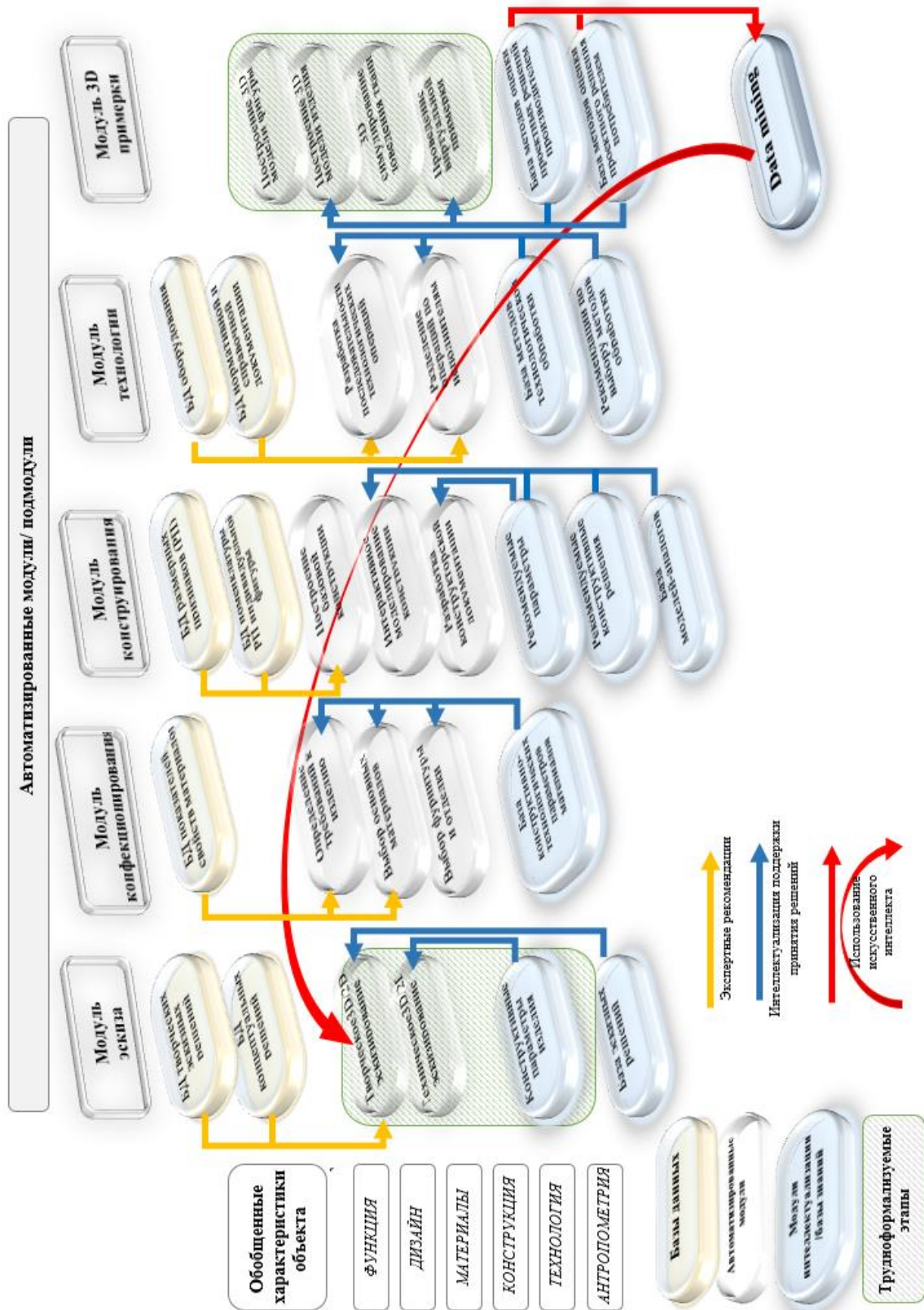


Рисунок 1 – Обобщенная концептуальная модель интеллектуализации интегрированной САПР одежды

Предложена обобщенная модель интеллектуального виртуального проектирования изделий повышенной функциональности, направленная на интенсификацию творческой деятельности и разработку высококонкурентных швейных изделий, представленная на рисунке 2.

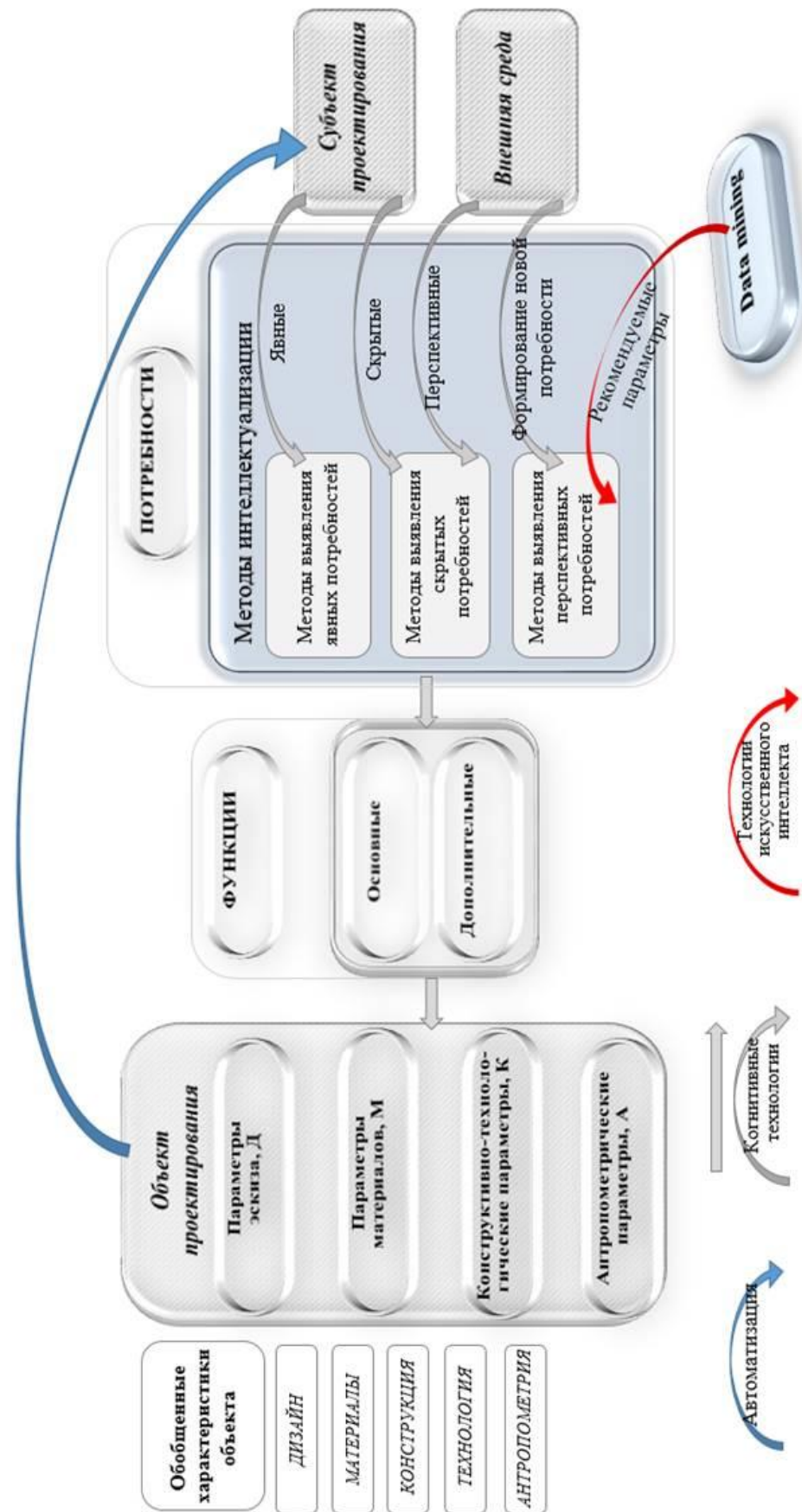


Рисунок 2 – Обобщенная концептуальная модель интеллектуального виртуального проектирования изделий повышенной функциональности

Ключевым аспектом формирования групп параметров, характеризующих каждое производимое изделие, является анализ выявленных потребностей реципиентов и функций, позволяющих их удовлетворить 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.

Исследованы перспективы использования технологий искусственного интеллекта в лёгкой промышленности, выявлены методы их технической реализации при проектировании и изготовлении продукции, прежде всего машинное обучение, системы поддержки принятия решений, экспертные системы, оптимизация, распознавание образов и компьютерное зрение. Рассмотрены способы создания интеллектуальных швейных изделий и перспективы их промышленного производства.

Во второй главе показано, что методология параметризации является эффективным средством автоматизации моделирования и визуализации внешней формы пространственных объектов благодаря возможности однозначной формализации 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 (Рисунок 3). Характер задаваемых основных и дополнительных функций проектируемого объекта с одной стороны может быть расширен благодаря повышению уровня новизны проектного решения, а с другой стороны обуславливает свойства и качество изделия, предопределяя способ его проектирования и изготовления.

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

Как результат анализа САПР одежды, применяемых в мировой швейной промышленности, можно отметить высокую степень автоматизации построения базовых конструкций и лекал одежды вследствие простоты их алгоритмизации, а также высокие требования к профессионализму и опыту пользователей, чтобы оперировать конструктивными параметрами. Методы интеллектуализации полезны при преобразовании эскизов в конструкцию изделия, что связано со слабой формализуемостью информации, а также для интерактивной поддержки на этапе моделирования конструкций, реализуемой в виде блоков готовых решений, моделей-аналогов, справочной или экспертной информации.

Исследование средств проведения виртуальной примерки проектируемых моделей одежды в САПР показало эффективность визуализации 3D моделей 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.

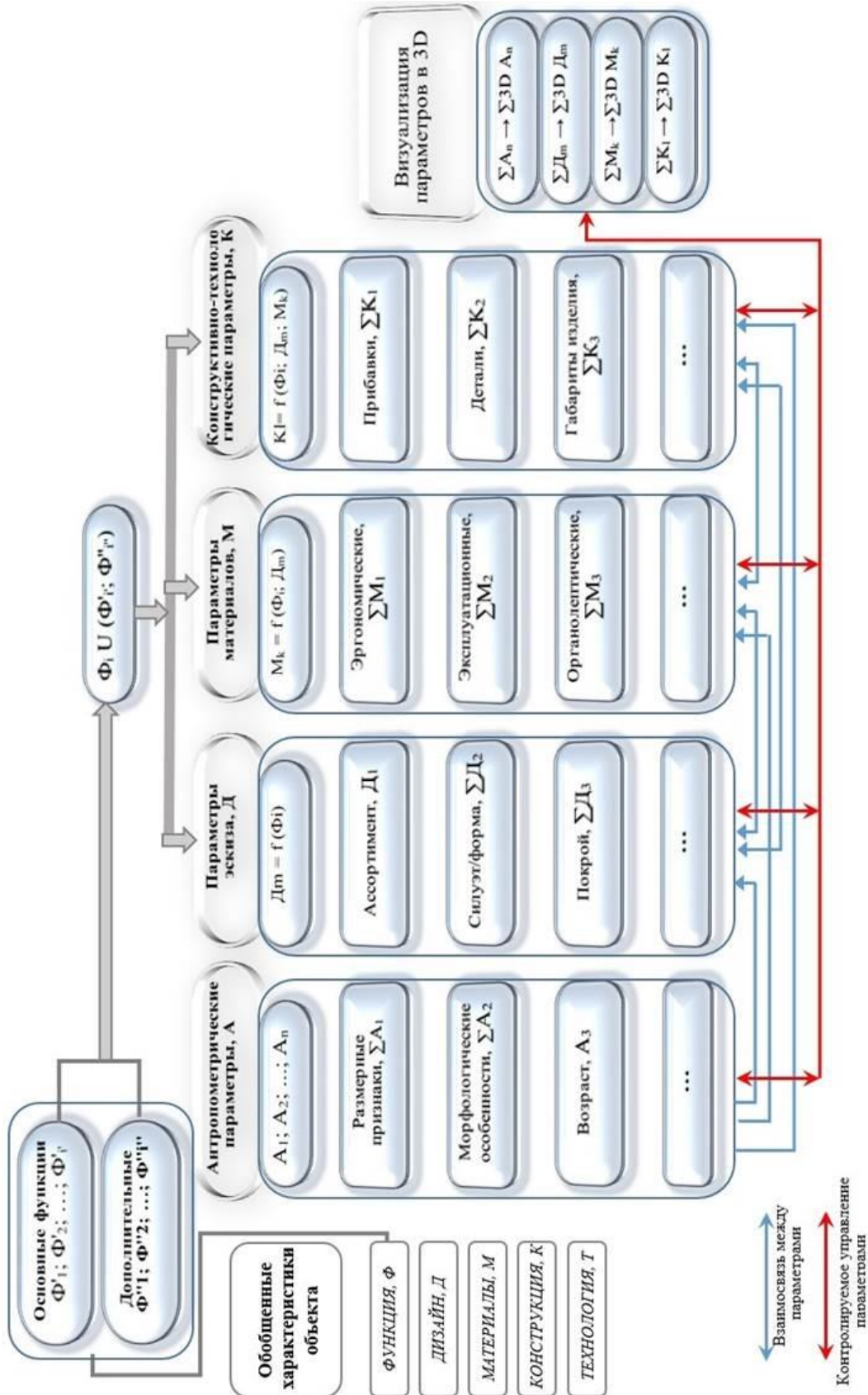


Рисунок 3 - Обобщенная концептуальная модель 4D параметризации процесса проектирования геометрических объектов заданной функциональности

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.

В третьей главе представлены результаты разработки методов определения и представления исходной информации для виртуального проектирования одежды. Разработана иерархическая структура информационных потоков, обеспечивающих цифровое описание проектируемого изделия в процессе его преобразования от формирования технического задания до создания технического решения и изготовления изделия. Предложена пятиуровневая система описания внешнего вида модели одежды, позволяющая формализовать процесс визуального восприятия изделия и получать параметрическую информацию для построения конструкции изделия. Разработан инструмент для распознавания структурных характеристик изделия в виде набора базовых графических элементов, отображающих особенности геометрической формы и способ формообразования и позволяющих получать практически неограниченное количество вариантов графического решения проектируемых моделей одежды. Инструмент для распознавания параметрических характеристик включает эталонную масштабную сетку и систему коэффициентов преобразования значений проекционных зазоров между контурами фигуры человека и изделия в конструктивные параметры. Алгоритм распознавания технического эскиза включает этапы преобразования информации, заданной в творческом виде, в формализованные параметрические данные для построения конструкции (Рисунок 4), что реализовано в программном модуле «Распознавание художественного эскиза модели одежды».

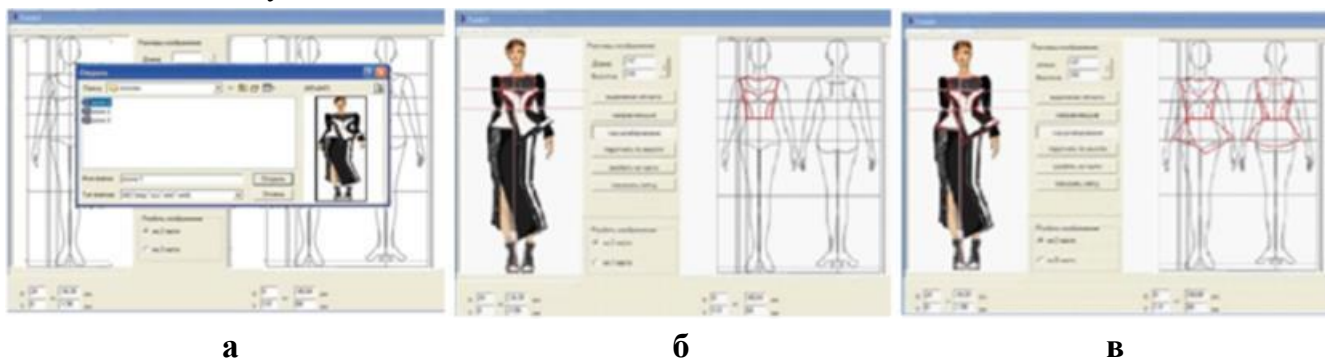


Рисунок 4 – Алгоритм распознавания параметров: а) загрузка эскиза;

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

Проведен анализ исходной антропометрической информации, на основании которой для параметрического описания трехмерной модели манекена предложено использовать три вида объектов: информативные точки, линии горизонтальных сечений и линии абриса фигуры. Параметрические характеристики информативных точек задают проекционными размерными признаками частей фигуры человека для торса, рук и ног (Рисунок 5). Выделено 62 параметра для описания торса, 13 параметров для описания формы рук и 15 параметров для описания формы ног.

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. Поверхность фигуры человека описана как совокупность поверхностей – топографических зон и фрагментов,

среди которых выделено 45 основных топографических фрагментов поверхности, представляющих собой кинематическую поверхность с образующими - линиями поперечного сечения и с направляющими – вертикальными рельефными линиями (Рисунок 6, Таблица 1).

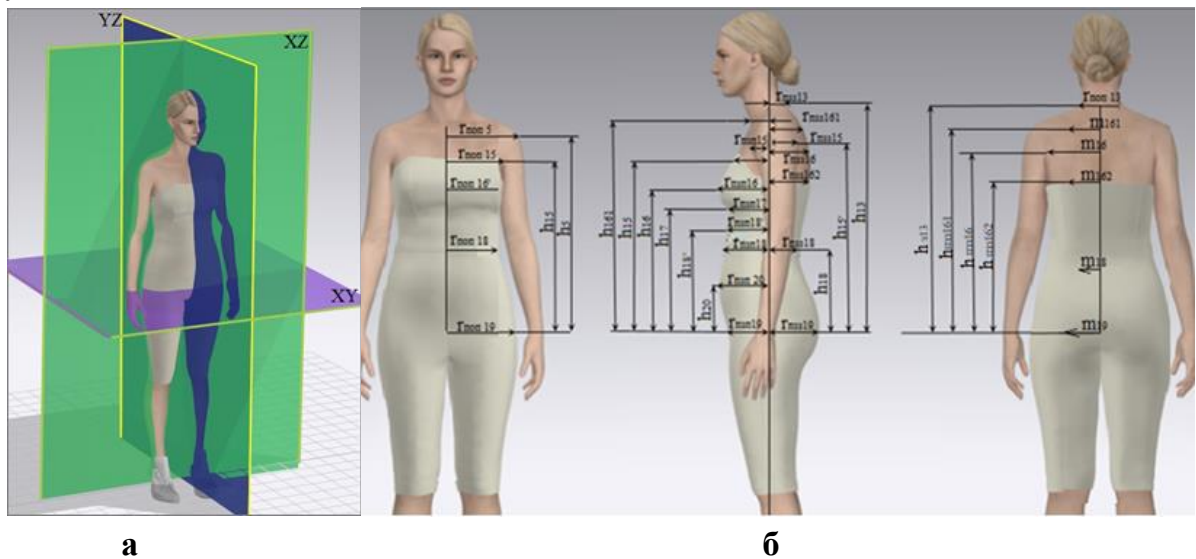


Рисунок 5 – Параметрическое описание информативных точек торса фигуры: а) расположение плоскостей; б) проекционные параметры

Использование разработанной параметрической модели внешней формы фигуры человека в процессе виртуального проектирования позволяет в интерактивном режиме задавать её характеристики и размеры, визуализировать её трехмерный цифровой образ, обеспечивая интеграцию информации между объектом проектирования и потребителем проектируемого изделия.

Таблица 1 – Фрагмент математической модели поверхности фигуры человека

Обозначение функции описания фрагмента	Функция образующей	Переменные направляющие	Условия
F5'	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$y_1 = f''_{n0n16}$ $y_0 = r'_{n0n16}$ $x_1 = f'_5$ $x_0 = f_5$ $\text{tg } \alpha_1 = f_{\text{tan}13}$ $\text{tgn } \alpha_0 = f_{\text{tan}12}$	$x \in [f'_5; f_5]$ $y \in [-f''_{n0n16}; -r'_{n0n16}] \cup [r'_{n0n16}; f''_{n0n16}]$ $z \in [h_{n17}; h_{n16}]$
F7a (боковая часть)	$y = F_{\text{ellipse}}(x, z)$	$a = f_2$ $b = f_9$ $\Delta a = 0$ $\Delta b = 0$	$x \in [f_{32}; f_{36}]$ $y \in [-f_9; -f_{35}] \cup [f_{35}; f_9]$ $z \in [h_{n17}; \pm f_{35}]$

В четвертой главе описаны этапы параметрического проектирования пространственной формы одежды и её двухмерной развёртки, которое основано на исходной информации о пространственной форме фигуры человека и информации о расположении изделия в пространстве относительно фигуры с учетом свойств материалов. В системе параметров базовой формы изделия каждой информативной точке фигуры поставлена в соответствие информативная точка-след базовой формы изделия. Расстояние между информативными точками фигуры и изделия представляет собой

величину проекционного зазора, для расчета которой разработаны методика и математическая модель преобразования традиционных прибавок в проекционные зазоры, основанные на изучении конструктивных решений изделия на антропометрических уровнях, анализе конструктивных прибавок и исследовании геометрии линий сечений.

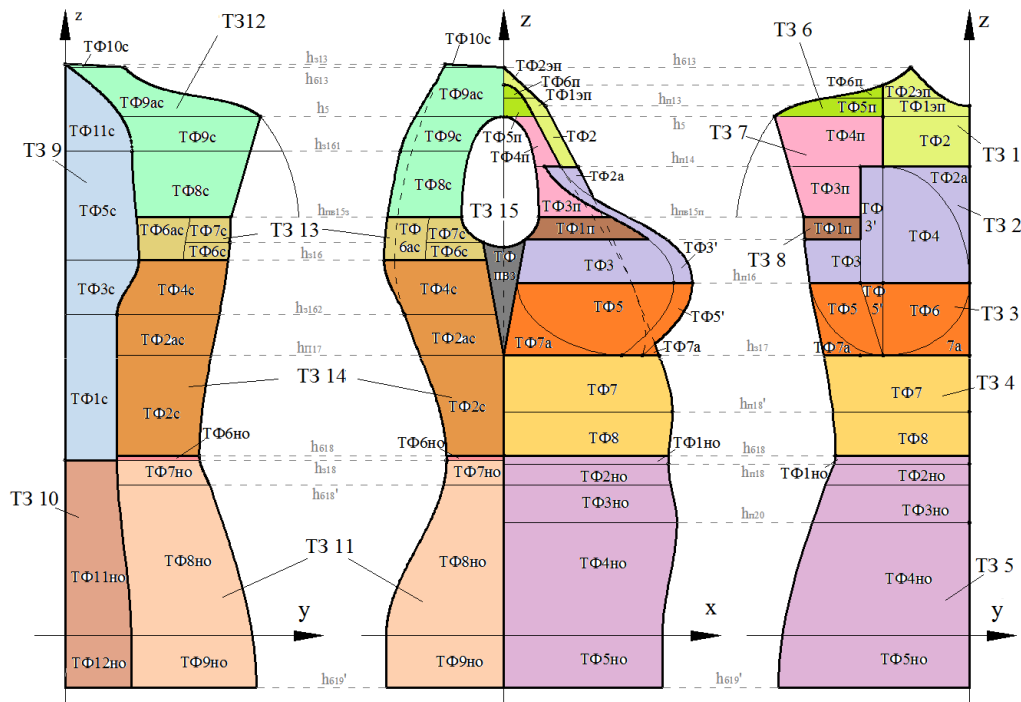
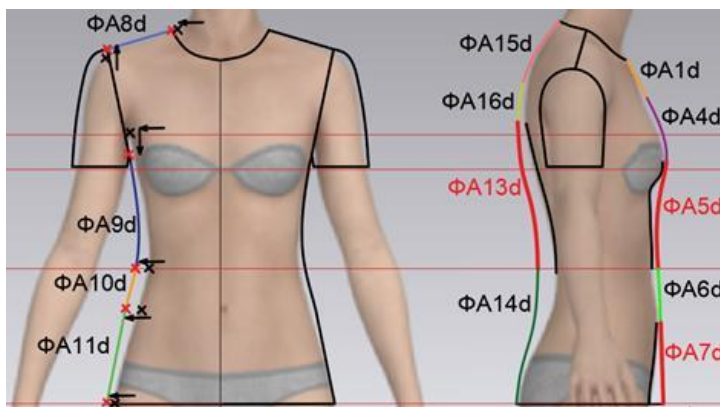
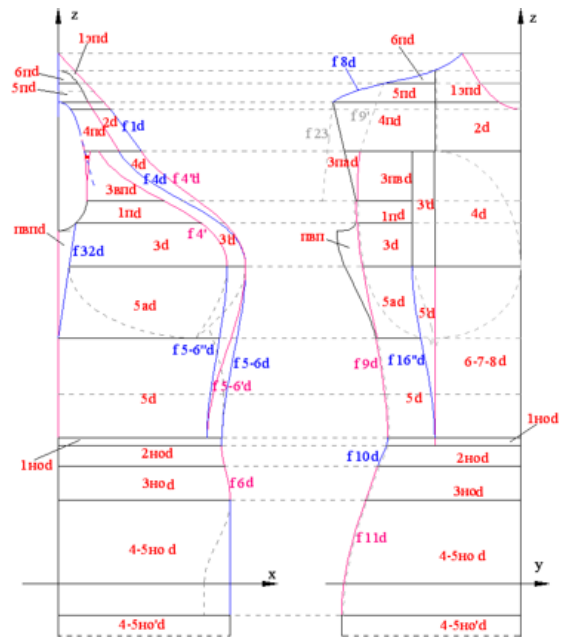


Рисунок 6 – Фрагментация поверхности фигуры

При исследовании геометрии поверхности внешней формы изделий проанализированы контуры поперечных сечений и вертикальных рельефных линий изделия (Рисунок 7, а) и определено, что:



а



б

Рисунок 7 – Топографическая фрагментация поверхности плечевого изделия:

а) геометрия фрагментов вертикальных рельефных линий изделия; б) передняя часть: вид сбоку и спереди

- 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;
- геометрия большинства фрагментов вертикальных рельефных линий изделия подобна геометрии аналогичных вертикальных рельефных линий фигуры, положение информативных точек, определяющих параметры вертикальных рельефных линий изделия, определяется величиной смещения информативных точек фигуры на величину проекционного зазора, зависящего от значения конструктивных прибавок.

По аналогии с проведенной фрагментацией поверхности фигуры поверхность плечевого изделия разбита на топографические зоны и фрагменты (см. Рисунок 7, б).

Математическая модель внешней формы одежды построена с учетом расположения вертикальных рельефных линий фигуры и проекционных прибавок (Таблица 2). Система параметров, предназначенных для проектирования двухмерной конструкции одежды, включает координаты информативных точек конструкции.

Таблица 2 – Фрагмент математической модели поверхности одежды

Фрагмент 3D формы		Функция	Переменные	Условия
изделия	фигуры			
F _{4d}	F _{2a} + F ₄	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$y_0 = 0$ $x_0 = f_4 d$ $\tan \alpha_0 = 0$ $y_1 = R_{\text{пон}16}'$ $x_1 = f_4 \cdot d$ $\tan \alpha_1 = f_{\tan 12}$	$x \in [f_4 d; f_4 \cdot d]$ $y \in [-R_{\text{пон}16}'; R_{\text{пон}16}']$ $z \in [h_{\text{п}16}; h_{\text{п}14}]$
F _{6-7-8d}	F ₆ + F _{7a} + F ₇ + F ₈	$x = F_{\text{parabola}}(y, z)$	$y_0 = 0$ $x_0 = f_{5-6} d$ $\tan \alpha_0 = 0$ $y_1 = R_{\text{пон}16}'$ $x_1 = f_{5-6} \cdot d^*$ $\tan \alpha_1 = \tan \alpha_1^{6-7-8d} = \tan 1(x)$ $X_{10} = r_{\text{пзп}16}, X_{11} = r_{\text{пзп}186}'$ $\tan_{10} = 0,$ $\tan_{11} = F_{\text{нод}}'(r_{\text{пон}16}', h_{618})$	$x \in [f_{5-6} \cdot d; f_{5-6} d]$ $y \in [-R_{\text{пон}16}'; R_{\text{пон}16}']$ $z \in [h_{618}; h_{\text{п}16}]$

Для алгоритмизации и последующей автоматизации построения двухмерной конструкции одежды, параметрически взаимосвязанной с трёхмерной моделью внешней формы изделия (Таблица 3):

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

Разработанные математические модели пространственной формы фигуры человека, изделия и развёртки его поверхности на плоскость представляют собой единую параметрическую систему взаимосвязанных параметров, включающую 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 (Рисунок 8), что отражается на внешнем образе графического решения одежды (Св-во № 2012610088). Такое решение процесса проектирования конструкций позволяет организовать информационную взаимосвязь между объектом и субъектом проектирования как на этапах проектирования, так и на этапах изготовления изделия.

Таблица 3 – Фрагмент математической модели 2D базовой конструкции женской одежды

Наименование среза	Конструктивное обозначение	Функция	Параметры	Примечания
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'	$x = f_{\text{parabola}}(y)$	$x_0 = x_{332}$ $x_1 = x_{14}'$ $y_0 = y_{332}$ $y_1 = y_{14}'$ $\tan \alpha_0 = 0$ $\text{tg } \alpha_1 = -1,52 \times \frac{y_{125}' - y_{14}'}{x_{14}' - x_{125}'}$	$x \in [x_{332}; x_{14}']$ $y \in [y_{332}; y_{14}']$
Внешняя часть плечевого среза спинки	125'-14'	$x = f_{\text{line}}(y)$	$x_0 = x_{125}'$ $x_1 = x_{14}'$ $y_0 = y_{125}'$ $y_1 = y_{14}'$	$x \in [x_{125}'; x_{14}']$ $y \in [y_{14}'; y_{125}']$

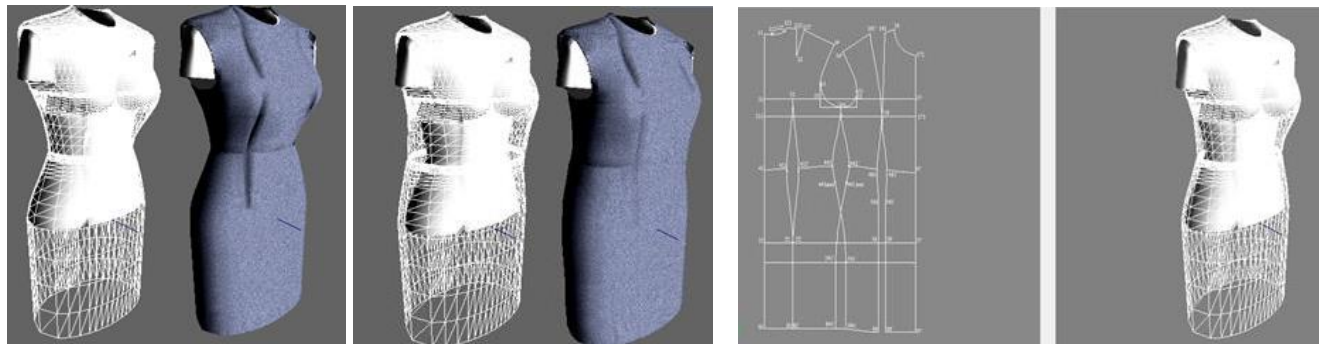


Рисунок 8– Параметрическое редактирование базовой формы плечевого изделия и его конструкции

Исходя из предложенного цифрового описания изделия, разработан способ виртуального проектирования, технически реализованный на платформе интегрированной САПР, включающей модули эскизного проектирования «Eleandr Sketch» и конструирования «Eleandr CAD» (Св-ва №№ 2011612237, 2007613734, 2007615071, 2007615072) и разработки технологии изготовления изделий «Eleandr САРР», которые могут обеспечить автоматизацию как полного цикла процесса проектирования одежды, так и его отдельных этапов. В зависимости от технической оснащённости швейного производства вышеуказанные модули САПР могут

интегрироваться как между собой, так и с отдельными модулями других САПР одежды, ранее внедренных в производственный процесс.

Для информационного обеспечения процесса проектирования предложены алгоритмы получения информации, позволяющие вносить изменения в параметры конструкции в автоматизированном режиме, и определены рекомендуемые параметры информационного массива (Рисунок 9). Интеллектуализация интерактивных диалогов в САПР осуществлена путем выделения оптимальных значений конструктивных параметров, используемых в системе в качестве «параметров по умолчанию».



Рисунок 9 – Конструирование в «Eleandr CAD»: а) виртуальное моделирование; б) цифровое описание конструкции; в) градация деталей женского и детского пальто

В пятой главе описана методология процесса виртуального проектирования одежды сложных форм и покроев включающая 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.

Процесс интеллектуализации трудноформализуемого этапа художественного моделирования построен на изучении результатов эмпирических исследований, анализе

и систематизации готовых творческих решений, обобщении информации об удачных технических образцах. В качестве интеллектуальной поддержки на этапах конструктивного и художественного моделирования предложено использовать графические прототипы трехмерных базовых форм изделий, представляющих собой 3D визуализацию базовой формы 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. Разработан метод описания базовых форм одежды, включающий определение опорной сетки изделия, определение топографических зон изделия, определение способов описания линий сечения и вертикальных абрисов, характеризующих геометрию изделия (Рисунок 10).

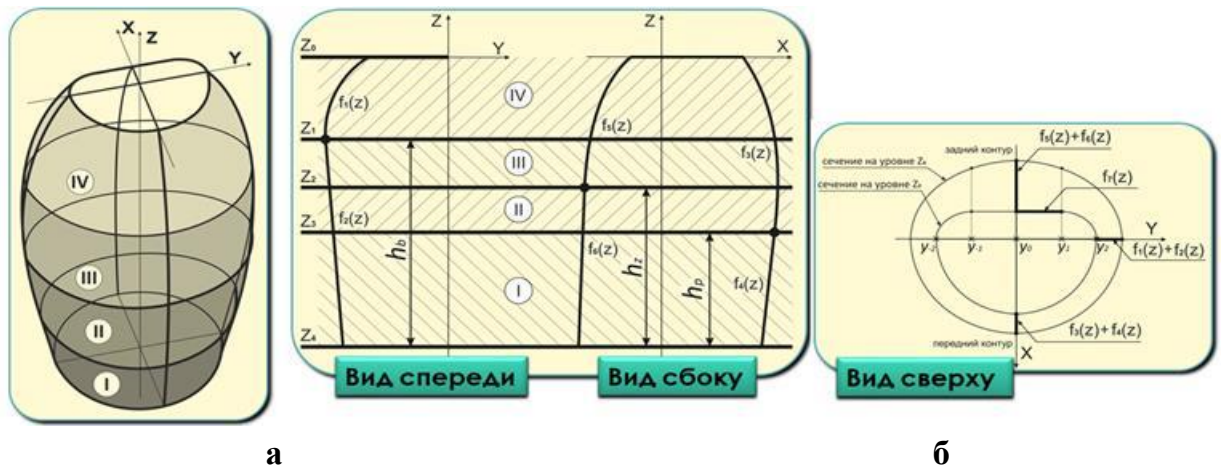


Рисунок 10 – Топография модельной формы изделия: а) схема расположения топографических зон; б) особенности геометрии сечений и абрисов

Изучено влияние параметров конструктивных решений и характеристик материала на пространственную форму изделия и представлен метод математического моделирования внешней формы изделия с учетом различных факторов, параметров и сочетаний их значений, однозначно определяющих проектируемую форму (Рисунок 11).

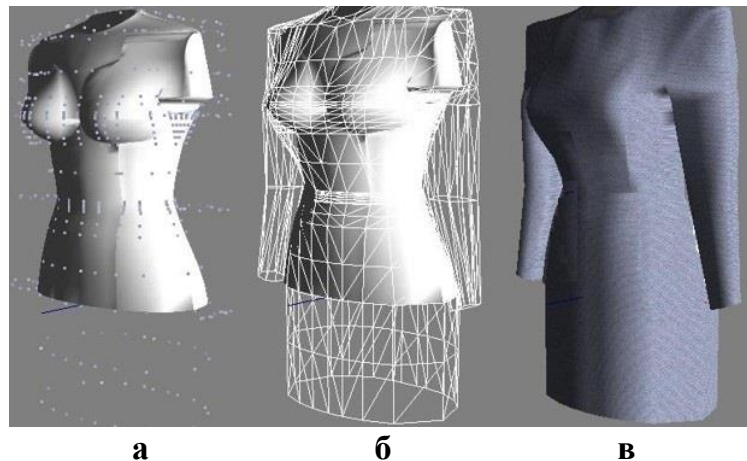
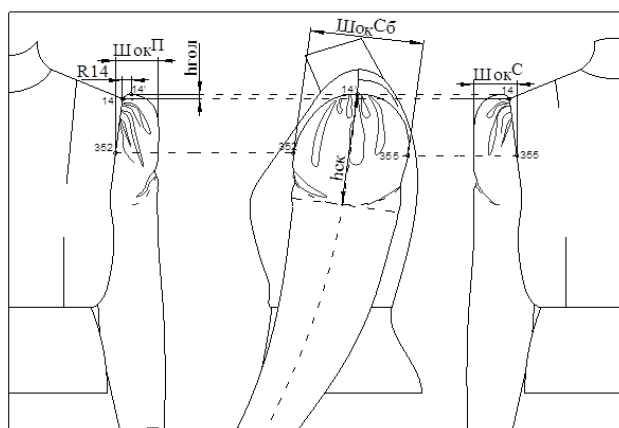


Рисунок 11 – Визуализация платья: а) точками; б) сеткой; в) поверхностью

Математические зависимости внешней формы изделия от различных факторов представляют в виде многомерных информационных моделей, табличной форме или графиков (Рисунок 12).



Параметр	Описание
$\text{Шок}^{\text{П}}$	Ширина оката рукава, измеряемая на виде спереди на уровне передней надсечки
$h_{\text{гол}}$	Величина визуального выступания оката рукава над плечевой точкой
$R14$	Горизонтальное смещение верхней точки оката рукава относительно передней надсечки
$\text{Шок}^{\text{С}}$	Ширина оката рукава, измеряемая на виде сзади на уровне задней надсечки
$\text{Шр}^{\text{Сб}}$	Ширина оката рукава, измеряемая на виде сбоку на уровне задней и передней надсечек
$h_{\text{ск}}$	Уровень провисания свободных складок, см, измеряемый вдоль вертикальной линии рукава от наивысшей точки оката рукава до уровня провисания его ткани на участке, сопряженном с передом изделия

а

б

Рисунок 12 - Схема параметризации внешней формы рукавов: а) эскиз рукава; б) формообразующие параметры

Параметрическую модель виртуального моделирования рукавов сложных покроев и форм можно представить в виде структуры конструктивных параметров и параметрической информации о внешней форме изделия, о физико-механических свойствах используемых материалов, о фигуре потребителя и пяти групп интеллектуальных поддержек, отображающих влияние и характер зависимостей между всеми группами параметров (Рисунок 13).

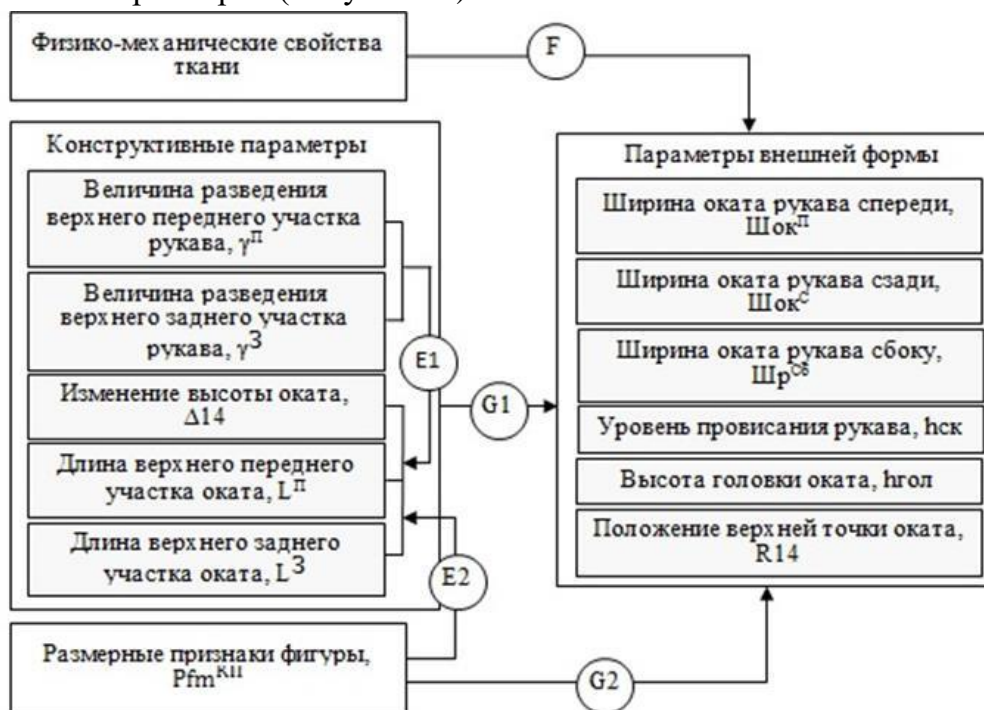


Рисунок 13 - Модель процесса параметрического моделирования рукавов

Интеллектуальные поддержки E1 и E2, представленные на рисунке 13, отображают информацию о том, как влияет величина отведения верхних переднего ($\gamma^{\text{П}}$) и заднего ($\gamma^{\text{З}}$) участков рукава (E1), размерные признаки фигуры (E2) на значения таких параметров, как величина смещения точки высоты оката ($\Delta L^{\text{П}}$) и заднего ($\Delta L^{\text{З}}$) верхних участков оката. Иллюстрация интеллектуальных поддержек F, G1 и G2 на рисунке 13 отражает информацию о влиянии параметров

конструкции, фигуры человека и физико-механических свойств ткани на формообразующие параметры изделия (Таблица 4).

Таблица 4 – Фрагмент параметрической модели описания внешней формы рукава

Параметры костюмной ткани											
$\gamma^{\text{П}}=\gamma^{\text{З}},^{\circ}$	Шок ^П ,	Шок ^С ,	Шр ^{С6} ,	hск, см	hгол,	Δ Шок ^П ,	Δ	Δ Шр ^{С6} ,	Δ hск,	Δ hгол,	
	см	см	см	см	см		Шок ^С ,				см
	170-88-96										
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	

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». 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), используемая при организации диалога конструктора с системой автоматизированного проектирования (Св-во №2013611419).

Таблица 5 – Модификация конструкции воротника при изменении его 3D эскиза

Изменение параметра	Визуальное отображение изменения срезов деталей	Изменение базовой конструкции деталей	Изменение конструкции воротника
Расширение базовой линии горловины		Изменение участков горловины полочки, спинки, плечевых срезов 	Изменение конструктивных параметров в соответствии с изменением длины горловины 

В шестой главе описана методология разработки технологий изготовления интеллектуальных швейных и текстильных изделий, позволяющих прогнозировать и удовлетворять явные, скрытые и потенциальные потребности клиентов благодаря

развитию инновационных технологий и материалов с новыми функциями. Для изготовления интеллектуальных швейных изделий предложен следующий алгоритм создания принципиально новых проектных решений, устанавливающий:

- **функции** проектируемого объекта, предопределяемые уровнем развития технологий, материалов, оборудования, дизайна, условиями его назначения и эксплуатации;
- **потребности**, удовлетворяемые проектируемым объектом;
- **техническое решение**, формализующее функции объекта в рамках заявленной потребности и впоследствии влияющее на дальнейшую модификацию и развитие технологий, материалов, дизайна и др.

При проектировании изделия с однозначно определенной функцией её параметры являются исходной и постоянной величиной, а остальные параметры выбираются для обеспечения основной функции. Требования к такому изделию определяют на основе обратной связи от потенциальных или реальных потребителей конкретного продукта, что проиллюстрировано на примере спортивного наколенника (Рисунок 14). Для проектирования изделий с заданными специальными свойствами, таких как комплекты одежды противоосколочные или для защиты от электромагнитного излучения, входной параметрической информацией являются сведения об условиях эксплуатации изделий, нормативные требования, а также данные о регулируемых свойствах специальных токопроводящих материалов.

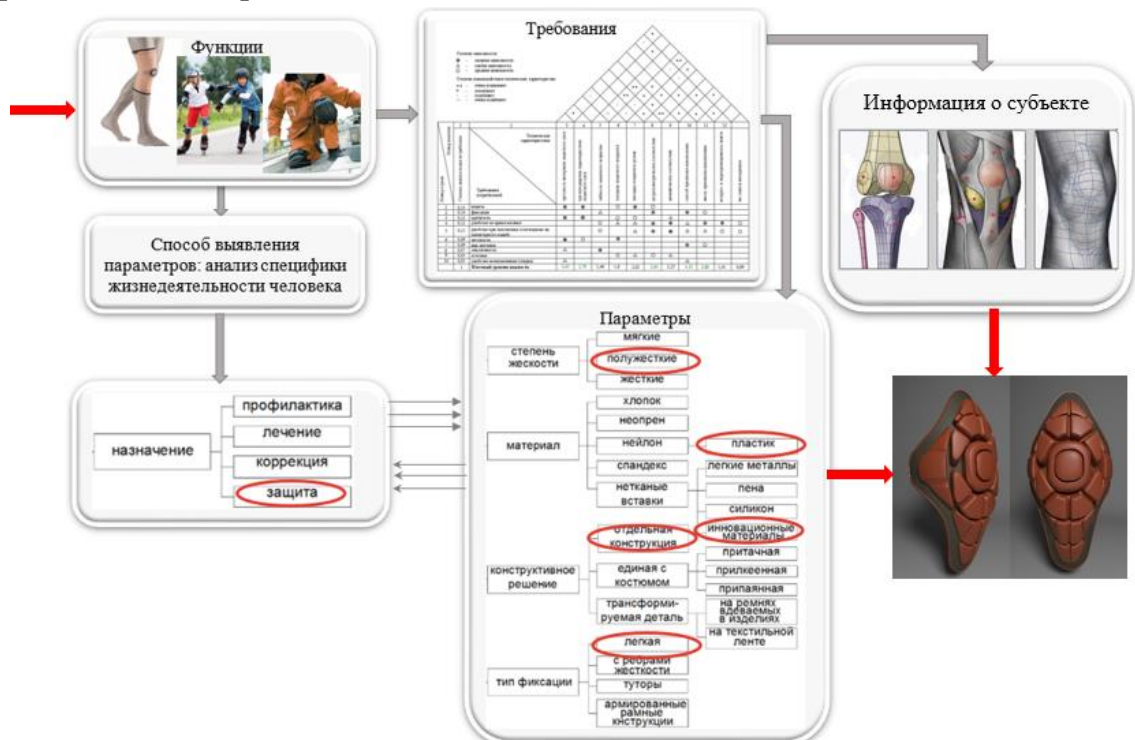


Рисунок 14 – Схема параметрического проектирования спортивных наколенников

Для реализации интеллектуальных функций в одежде из материалов с памятью формы определена система параметров, определяющих изменение конструкции одежды (объем, длину или ширину) и характер модификации материала под ожидаемым внешним воздействием; режим и метод активации изменения и запоминания формы материала (Рисунок 15).

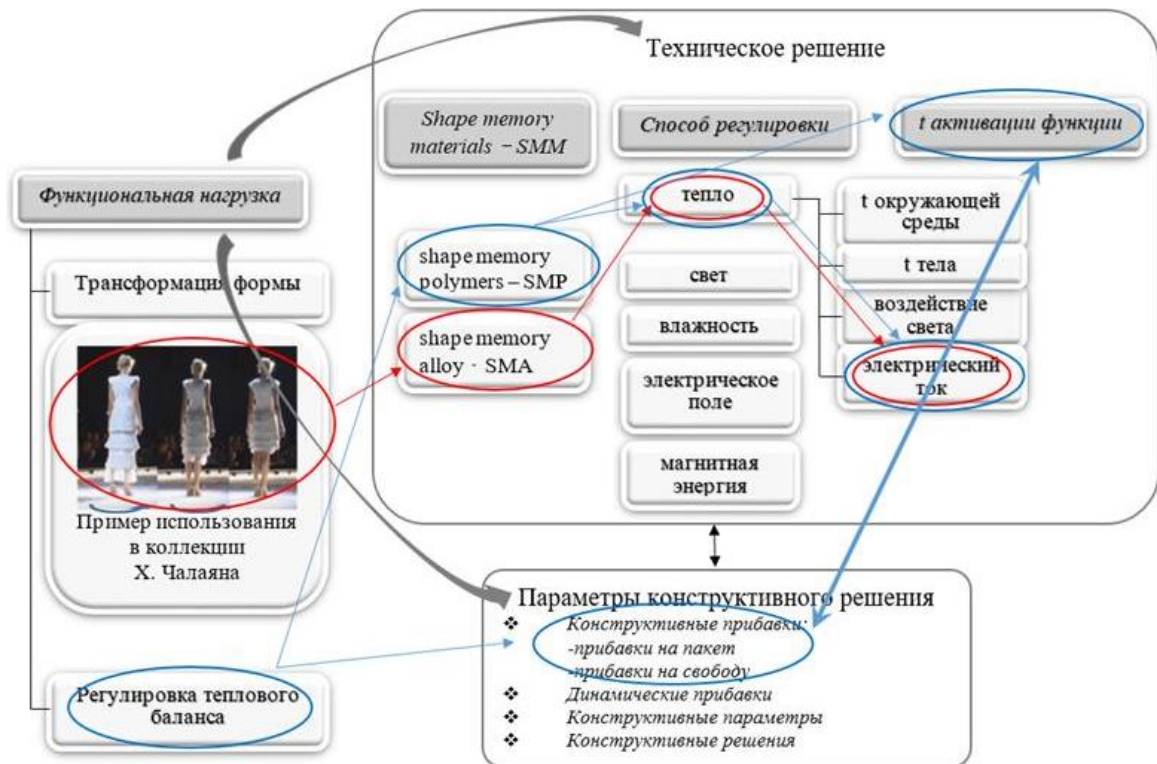


Рисунок 15 – Параметры проектирования одежды с функцией памяти формы

Материалы с памятью формы предложено использовать для интеллектуальных противопожарных костюмов с подшлемником, перчатками и карманами, меняющими свою толщину в зависимости от температуры окружающей среды (Рисунок 16 а). Разработаны кинетические текстильные элементы, обладающие визуальным эффектом «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 16 б).



Рисунок 16 – Интеллектуальная одежда с эффектом памяти формы:

а) противопожарный костюм; б) кинетический текстильный декор

Возможность управления индивидуальной терморегуляцией одежды предлагается реализовать с помощью материалов, способных изменять фазовое состояние (Рисунок 17), терморегулирующий эффект которых зависит от таких параметров, как химический состав, количество и ёмкость инкорпорированных микрокапсул, сырьевой состав и площадь инкапсулирования текстильного полотна, различие температур плавления и кристаллизации, определяющие объем высвобождаемой или поглощаемой энергии,

изменение которых позволяет обеспечить заданные температурные интервалы фазовых переходов и соответственно реализацию функций обогрева и охлаждения.



Рисунок 17 Теплозащитный комплект одежды с зональным инкапсулированием термобелья и термоносков элементами с изменяемым фазовым состоянием

Вариацией технологий, материалов, параметров структуры могут быть заданы различные характеристики тканей, позволяющие выпускать изделия разной функциональности (Рисунок 18).

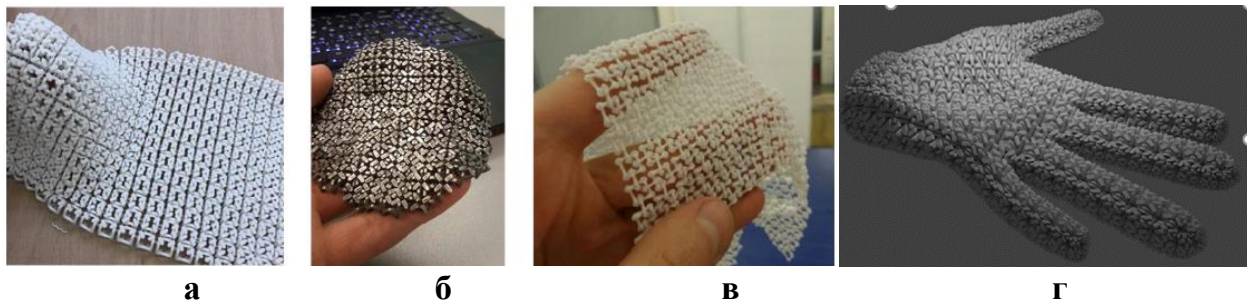


Рисунок 18 – Материалы и изделия с подвижной структурой, произведенные 3D печатью: а, в) из полиамида SLS; б) из алюминиевого порошка SLM; г) изделие

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.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

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.

Публикации, отражающие основное содержание диссертации:

Монографии

1. Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. Методы интеллектуализации процесса проектирования одежды: монография. -М.: Научная библиотека, 2020. - 200 с.
2. Гетманцева В.В., Тюрин И.Н., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. Инновационные технологии изготовления «умной одежды» повышенной функциональности: монография. – М.: Научная библиотека, 2020. – 180 с.

Статьи в журналах перечня ВАК

3. Ковалевич А.И., Гетманцева В.В. Пути реализации параметрических связей 2-D и 3-D модулей в САПР одежды// Швейная промышленность. - 2007, №6. - С.41-52.

4. *Колпинская А.Н., Гетманцева В.В.* Классификация геометрических объемных форм моделей одежды// Швейная промышленность. - 2007, №6. - С.35-36.
5. *Гетманцева В.В.* Концептуальное решение интеллектуального интегрированного модуля САПР одежды «3D-эскиз»// Дизайн и технологии. - 2008, №10. - С.61.
6. *Киселева М.В., Гетманцева В.В.* Основные этапы разработки параметрического модуля 3D проектирования декоративных элементов одежды// Швейная промышленность. - 2008, №4. - С.49-50.
7. *Маслова Е.Г., Гетманцева В.В., Масалова В.А.* Возможности интенсификации процесса автоматизированного проектирования конструкций одежды// Швейная промышленность. - 2008, №2. - С.56-57.
8. *Струневич Е.Ю., Гетманцева В.В., Лопасова Л.В.* Подсистема художественного проектирования моделей одежды// Швейная промышленность. - 2008, №3. - С.45-47.
9. *Гетманцева В.В., Струневич Е.Ю., Андреева Е.Г.* Интеллектуализация начальных этапов проектирования моделей одежды// Дизайн и технологии. - 2008, №9.- С.66-71.
10. *Гетманцева В.В.* Структура интегрированного модуля САПР одежды «3D-эскиз»// Дизайн. Материалы. Технология. - 2009, №2 (9). - С.100-104.
11. *Журавлева В.А., Гетманцева В.В.* Разработка информационного обеспечения для автоматизации этапа конструктивного моделирования одежды// Дизайн и технологии. - 2009, №13 (55). - С.55-60.
12. *Гальцова Л.О., Гетманцева В.В.* Разработка метода модификации трехмерного манекена на нетиповую фигуру// Дизайн и технологии. - 2010, №17 (59). - С.65-70.
13. *Гетманцева В.В., Гончарова А.С., Никитина Н.Г., Андреева Е.Г.* Влияние показателей физико-механических свойств тканей на пространственную форму плечевого изделия// Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2011, № 6. С.88-94.
14. *Мурашова Н.Г., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г.* Этапы разработки метода автоматизированного проектирования декоративных деталей одежды с элементами интеллектуализации// Дизайн. Материалы. Технология. – 2011, №1. - С.95-99.
15. *Киселёва М.В., Максимова М.Т., Гетманцева В.В.* Разработка метода задания пространственной формы внутренней поверхности женской одежды// Дизайн. Материалы. Технология. - 2011, №1 (16). - С.100-104.
16. *Гетманцева В.В.* Формализация информационного массива для целей проектирования конструкций одежды в виртуальном пространстве// Дизайн. Материалы. Технология. - 2011, №4 (19). - С.114-118.
17. *Гетманцева В.В., Гальцова Л.О., Бояров М.С.* Исследование и разработка математической модели абрисов фигуры человека, определяющих их пространственную форму// Дизайн. Материалы. Технология. - 2011, №5 (20). - С.94-97.
18. *Гетманцева В.В.* Структура формирования электронного образа модели при виртуальном проектировании одежды// Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 2011, Т.11, №1. - С.67-70.
19. *Обухова М.Н., Гетманцева В.В.* Способы задания поверхности руки для проектирования пространственной формы рукава в современных 3D САПР одежды// Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 2011, Т.14, №4. - С.99-102.
20. *Гетманцева В.В., Мурашова Н.Г.* Разработка параметрического описания внутренних связей системы «конструктивно-декоративные элементы - швейное изделие»// Известия вузов. Технология легкой промышленности. - 2011, Т.14, №4. - С.86-89.
21. *Гетманцева В.В., Мурашова Н.Г.* Особенности параметрического описания пространственной формы конструктивно-декоративных элементов// Швейная промышленность. - 2011, №5. - С.37-39.
22. *Бояров М.С., Гетманцева В.В., Максимова М.Т., Андреева Е.Г.* Средства разработки САПР одежды с учетом 3D-специфики// Дизайн и технологии. – 2011, № 22 (64). - С.39-42.
23. *Бояров М.С., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В.* Разработка параметрического способа моделирования внешней формы фигуры человека// Дизайн и технологии. - 2012, № 31(73). - С.44-49.
24. *Булычева И.В., Гетманцева В.В., Телегина С.В.* Элементы автоматизации этапа художественного проектирования втачных рукавов// Дизайн и технологии. - 2012, №32 (74). - С.40-47.

25. Гетманцева В.В., Булычева И.В., Петросова И.А., Фетисова А.М. Разработка системы параметров для трехмерного проектирования внешней формы и конструкции втачных рукавов с нерегулярной поверхностью в области оката// Дизайн и технологии. - 2013, №37 (79). - С.38-44.
26. Петросова И.А., Андреева Е.Г., Ду Ц.С., Гетманцева В.В., Булычева И.В. Разработка метода оценки конструктивных решений одежды с помощью трехмерного сканирования// Дизайн и технологии. - 2014, № 39 (81). - С.17-27.
27. Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Новоселова А.В., Колиева Ф.А. Разработка информационной модели процесса параметрического проектирования рукавов сложных форм// Дизайн и технологии. - 2018, №67 (109). - С.61-68.
28. Белгородский В.С., Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Проектирование одежды на основе материалов с функцией памяти формы// Дизайн и технологии. - 2018, № 68 (110). - С.46-52.
29. 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.
30. 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, No.4. - P.1-8.
31. Сухинина Е.В., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Гусева М.А. Влияние конструктивных параметров цельнокроеного рукава на внешний вид готового изделия// Дизайн. Материалы. Технология. – 2019, Т.1, №53. - С. 51-54.
32. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В., Стаханова С.И., Чаленко Е.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С. Разработка карты зонального распределения патогенной микрофлоры на поверхности тела спортсмена// Дизайн и технологии. - 2019, № 69 (111). - С.38-44.
33. 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.
34. Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Гусева М.А., Петросова И.А., Белгородский В.С., Филинова Н.Г. Цифровые инновационные технологии в производстве высокофункциональных изделий// Дизайн и технологии. - 2019, № 71 (113). – С 40-48.
35. Алибекова М.И., Гетманцева В.В., Кузнецова А.М. Разработка дизайна и концепции капсульной коллекции верхней одежды с внедрением инновационных технологий 3D печати// Дизайн и технологии. - 2019, № 72 (114). - С.14-19.
36. Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Горковенко Л., Копылова М.Д., Рогожина Ю.В. Этапы проектирования персонализированного сценического костюма// Костюмология. – 2020, Т.5, №1. - С.12.
37. Сухинина Е.В., Гетманцева В.В. Анализ факторов, влияющих на качество посадки изделия с цельновыкроенными рукавами// Дизайн. Материалы. Технологии. - 2020, Т.58, №2. - С.203-207.
- Статьи в материалах конференций и других научных изданиях
38. Гетманцева В.В., Николайчик А.В., Яйлоян Л.С. Способы формирования графического решения внешнего образа моделей одежды// Естественные и технические науки. - 2007, №6 (32). - С.252-255.
39. Гетманцева В.В. Автоматизированный модуль «Распознавание творческого эскиза одежды»// САПР и графика. - 2008, № 6. - С.111.
40. Струневич Е.Ю., Гетманцева В.В., Лопасова Л.В. Актуальность создания реалистичных инженерно-заданных манекенов для проектирования одежды в САПР// САПР и графика. - 2008, №10. -С.46.
41. Кофанова Ю.А., Киселёва М.В., Гетманцева В.В. Исследование свойств формообразования юбки в 3D САПР// Техника и технология. - 2009, №4. - С.53-54.
42. Гетманцева В.В., Гальцова Л.О., Бояров М.С., Андреева Е.Г. Virtual dummy development in 3D environment// В сб. Междунар. Корейско-Российской конф. «Grand Fashion». – М.: KF&CDA, 2011. - С.45-47.
43. Kiseleva M.V., Galtsova L.O., Getmantseva V.V. Development of the method to calculate the spatial form of the internal surface of skirt// Tekstilna Industrija. - 2011, Т.59, №2. - С.12-16.
44. Pakhomova T.A., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Disigning children's clothes with a 3-dimensional parametric dress form// 2012 Korea-China International Conference “Fashion Connecting”. - Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2012.- P.76-78.
45. Getmantseva V.V., Murashova N.V., Razin I.B. CAD module of pocket design// 2012 Korea-China International Conference “Fashion Connecting”. - Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2012. - С.67-69.

46. Булычева И.В., Гетманцева В.В., Колиева Ф.А. Исследование форм и определение параметров проймы плечевых изделий с втачным рукавом для трёхмерного проектирования внешней формы и разверток втачных рукавов// В сб. V Междунар. науч.-практ. конф. «Мода и дизайн. Инновационные технологии-2012». - Владикавказ: СОГУ им. К.Л. Хетагурова, 2013. -С. 51-55.
47. Новоселова А.В., Колиева Ф.А., Гетманцева В.В. Разработка системы параметров для проектирования рукавов сложных форм// В сб. трудов VI Международной научно-практической конференции «Мода и дизайн. Инновационные технологии-2016». - Владикавказ: СОГУ им. К.Л. Хетагурова, 2016. -С. 96-10.
48. Гетманцева В.В., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Колиева Ф.А. Методика параметрического моделирования одежды из различных материалов в автоматизированной интеллектуальной среде// Территория новых возможностей. Вестник ВГУЭС. - 2017, №3. - С.215-225.
49. Goncharuk E.O., Getmantseva V.V., Andreeva E.G., Guseva M.A. Algorithm of constructive modeling of complex forms sleeves in automated intelligent environment// International Journal of Professional Science. – 2017, № 6. - С. 33-42.
50. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Анализ 3D визуализации процесса формообразования одежды со сложной топографией поверхности// Международный научно-исследовательский журнал. - 2017, № 7-3 (61). – С.26-30.
51. Guseva M.A., Andreeva E.G., Getmanceva V.V., Petrosova I.A. Three-dimensional virtual technology to simulate the garment with a complex surface topography// Materials of the XIII international research and practice conference "Science, Technology and Higher Education", Westwood, 2017. - P.59-69.
52. Гетманцева В.В., Колиева Ф.А., Гусева М.А. Разработка информационного описания пространственной формы моделей одежды// В сб. тр. V Междунар. науч.-практ. конф. «Мода и дизайн. Инновационные технологии». - Владикавказ: СОГУ им. К.Л. Хетагурова, 2017. - С.50-53.
53. Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Обобщенная модель процесса параметрического проектирования одежды// В сб. Междунар. науч.-техн. симп. «Современные инженерные проблемы промышленности товаров народного потребления». – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2017. - С.86-90.
54. Грушина А.А., Гетманцева В.В. Методика параметрического описания складчатой поверхности элементов одежды// Синергия наук. – 2018, №21. - С.377-382.
55. Тюрин И.Н., Гетманцева В.В. Обеспечение защитных функций одежды при эксплуатации ее в условиях электромагнитного излучения// Синергия наук. - 2018, №23. - С.1232-1238.
56. Тюрин И.Н., Овлякулиева М.С., Гетманцева В.В. Исследование принципов взаимодействия одежды и поверхности тела спортсмена для разработки спортивных изделий с применением технологии ароматической микроинкапсуляции// Синергия наук. - 2018, №24. - С.508-517.
57. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Разин И.Б., Гусев И.Д., Гончарук Е.О. Систематизация входной информации для проектирования швейных изделий со специальными свойствами// Территория новых возможностей. Вестник ВГУЭС. - 2018, №4. - С.112-121.
58. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г. Применение трехмерной печати для формозакрепляющих элементов в швейные изделия// Материалы и технологии. - 2018, №2(2). - С.70-75.
59. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Application of QFD method for determining performance properties of tight-fitting and compression sportswear// Proceedings of the 18th World Textile Conference "Autex 2018: Leading Edge Technologies and Trends in Textiles", Istanbul: ITU, 2018. - P.1041-1044.
60. 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.
61. Getmantseva V.V., Guseva M.A., Goncharuk E.O., Andreeva E.G. Basic aspects of knee-pad design technology for sportswear// III International scientific and practical conference «Education and science in the 21st century». – Витебск: ВГТУ, 2018. – С.21-24.
62. Ovlyakulieva M.S., Getmantseva V.V. Exploration of the graphic from of a raglan sleeve product design// В сб. III International scientific and practical conference «Education and science in the 21st century». - Витебск: ВГТУ, 2018. - С.39-42.
63. Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Шахматова Ю.Д., Гусев И.Д. Применение материалов для объемной печати в проектировании швейных изделий// В сб. мат. Четвёртого

междисциплинар. науч. форума «Новые материалы и перспективные технологии». - М.: СМУ РАН, 2018. - С.366-369.

64. *Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Тюрин И.Н.* Возможности использования материалов с памятью формы в процессе проектирования одежды с терморегулирующими свойствами// *Костюмология*. - 2019, Т.4, №4. - С.8.

65. *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.

66. *Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Петросова И.А.* Параметризация цифровой антропометрической информации для 3D-проектирования швейных изделий// *Территория новых возможностей*. Вестник ВГУЭС. - 2019, Т.11, № 2-11. - С.130-138.

67. *Гетманцева В.В., Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Смирнова Н.А.* Основные аспекты процесса формирования цифровых моделей для проектирования и производства одежды с использованием аддитивных технологий// *Текстильная и лёгкая промышленность*. – 2019, №1. – С.23-25.

68. *Tyurin I., Getmantseva V., Andreeva E., Belgorodsky V.* The technology of shape memory as a way of clothing fit improvement// *Proceedings of the 19th World Textile Conference - Autex 2019*. – Ghent, Belgium: Ghent University, 2019. <https://ojs.ugent.be/autex/article/view/15634>

69. *Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Гусева М.А., Белгородский В.С., Разбродин А.В., Смирнова Д.С., Крючкова А.А.* Анализ технологии использования элементов солнечных батарей в одежде// *Территория новых возможностей*. Вестник ВГУЭС. - 2020, Т.12, №1 (48). - С.131-144.

70. *Гусева М.А., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г., Разин И.Б., Петросова И.А., Гусев И.Д.* Технологии 3D-печати в производстве персонализированных швейных изделий// *Территория новых возможностей*. Вестник ВГУЭС. - 2020, Т.12, №3 (50). - С.132-142.

Патенты, свидетельства

71. 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.

72. 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.

73. 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.

74. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2011612237 Распознавание художественного эскиза модели одежды / *Е.Г. Андреева, В.В. Гетманцева, Н.Г. Мурашова, И.Б. Разин*; правообладатель: МГУДТ; зарег. 17.03.2011.

75. 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.

76. 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.

77. Патент на полезную модель №194487 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.

78. Свидетельство о гос. регистрации базы данных №2019620688 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.

79. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2019621730 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.

80. Патент на изобретение № 2727885 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. Бюл. №21.