А.Г. КУЗЬМИН

Старший преподаватель кафедры информационных технологий и компьютерного дизайна в РГУ им. А.Н. Косыгина
e-mail: 3demia@mail.ru

Л.А. ЧАЙКА

Студент группы ИТД-123 РГУ им. А.Н. Косыгина
e-mail: lubochkachayka@gmail.com

М.А. ГРУЗДЕВА

К.т.н., доцент кафедры информационных технологий и компьютерного дизайна в РГУ им. А.Н. Косыгина
e-mail: gruzdeva_ma@mail.ru

С.В. ЗАХАРКИНА

К.т.н., доцент кафедры автоматики и промышленной энергетики в РГУ им. А.Н. Косыгина
e-mail: zakharkina-sv@rguk.ru

A.G. KUZMIN

Senior Lecturer, Department of Information Technology and Computer Design, Kosygin Russian State University
e-mail: 3demia@mail.ru

L.A. CHAIKA

Student, ITD-123 group, Kosygin Russian State University
e-mail: lubochkachayka@gmail.com

M.A. GRUZDEVA

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Information Technology and Computer Design, Kosygin Russian State University
e-mail: gruzdeva_ma@mail.ru

S.V. ZAKHARKINA
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department of Automation and Industrial Power Engineering, Kosygin Russian State University
e-mail: zakharkina-sv@rguk.ru

DOI: 10.37485/1997-4663_2025_4_2_387_399

ТЕХНОЛОГИИ 3D-СКАНИРОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДИЗАЙНА ТЕКСТИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

3D SCANNING TECHNOLOGY AS A TOOL FOR TEXTILE DESIGN

Статья посвящена использованию передовых технологий 3D-сканирования и цифрового моделирования в проектировании текстильных изделий, адаптированных под индивидуальные особенности телосложения. Проведен сравнительный анализ методов 3D-сканирования, таких как фотограмметрия, структурированный свет и технологии на базе Kinect, с оценкой их точности, скорости работы и других характеристик. Особый акцент сделан на оптимизации полигональных моделей в Blender и их последующем использовании в CAD-системах и специализированном ПО для моделирования одежды, например, CLO 3D.

Работа подчеркивает практическую ценность этих технологий для автоматизированного создания цифровых двойников, разработки персонализированных выкроек и виртуальной примерки, что позволяет сократить время производства и улучшить посадку изделий. Также рассматривается применение 3D-моделей в виртуальных шоурумах и музейных экспозициях, что способствует сохранению культурного наследия.

Научная значимость исследования заключается в комплексном анализе возможностей 3D-моделирования и их реализации, включая создание интерактивных виртуальных пространств с помощью Unity 3D. Полученные результаты подтверждают перспективность внедрения 3D-технологий в текстильную отрасль и сферу дизайна одежды.

The article is devoted to the use of advanced 3D scanning and digital modeling technologies in the design of textiles adapted to individual body characteristics. A comparative analysis of 3D scanning methods, such as photogrammetry, structured light, and Kinect-based technologies, has been performed to assess their accuracy, speed, and other characteristics. Special emphasis is placed on optimizing polygonal models in Blender and their subsequent use in CAD systems and specialized clothing modeling software, for example, CLO 3D.
The work highlights the practical value of these technologies for the automated creation of digital doubles, the development of personalized patterns and virtual fit-ting, which reduces production time and improves the fit of products. The use of 3D models in virtual showrooms and museum exhibitions is also being considered, which contributes to the preservation of cultural heritage.
The scientific significance of the research lies in a comprehensive analysis of the possibilities of 3D modeling and their implementation, including the creation of interactive virtual spaces using Unity 3D. The results obtained confirm the prospects of introducing 3D technologies into the textile industry and the field of fashion design.

Ключевые слова: 3D-сканирование, бодисканирование, фотограмметрия, CLO 3D, Unity 3D, CAD-система, Blender, цифровой двойник.
Keywords: 3D scanning, bodyscanning, photogrammetry, CLO 3D, Unity 3D, CAD system.

Современный рынок текстильной промышленности стремится к персонализации, требуя учета уникальных анатомических особенностей каждого потребителя. Традиционные методы проектирования одежды, основанные на усредненных размерных сетках, зачастую не способны обеспечить идеальную посадку и комфорт, что подчеркивает необходимость внедрения инновационных решений. В данной статье рассматриваются передовые технологии 3D-сканирования и цифрового моделирования, которые открывают новые возможности для создания текстильных изделий, точно соответствующих индивидуальным параметрам тела.

Актуальность исследования обусловлена растущим спросом на персонализированную продукцию и необходимостью оптимизации про-

изводственных процессов. Использование таких методов, как фотограмметрия, структурированный свет и технологии на базе Kinect, позволяет получать высокоточные цифровые модели человеческого тела. Эти данные интегрируются с профессиональным программным обеспечением, таким как CLO 3D и Blender, для проектирования одежды, симуляции поведения тканей и виртуальной примерки.

Целью работы является анализ эффективности применения 3D-технологий в текстильной промышленности, включая их влияние на точность посадки, сокращение сроков производства и расширение возможностей визуализации. Особое внимание уделяется практическому применению полученных моделей, например, в виртуальных шоурумах и музейных экспозициях, что способствует сохранению культурного наследия и популяризации дизайнерских коллекций.

Исследование направлено на комплексную оценку современных методов 3D-сканирования, их сравнительных характеристик, а также на разработку алгоритмов оптимизации полигональных сетей для дальнейшего использования в CAD-системах. Результаты работы подтверждают перспективность внедрения этих технологий, что способствует цифровой трансформации текстильной отрасли и удовлетворению потребностей современного рынка.

Научная новизна состоит в комплексной оценке технологий 3D-моделирования, включая оптимизацию полигональных сетей и параметрическое моделирование одежды, а также в демонстрации практического применения среды Unity 3D для создания интерактивных выставок с высокой степенью визуализации отсканированных объектов.

Практическая значимость состоит в разработке методов автоматизации создания цифровых двойников, генерации индивидуальных выкроек и виртуальной примерки одежды. Такой подход способствует повышению точности посадки изделий, уменьшению количества необходимых примерок и сокращению сроков производства.

Дополнительно исследуется возможность использования 3D-технологий для организации виртуальных шоурумов и музейных выставок, что может внести вклад в сохранение и популяризацию культурного наследия.

Для достижения поставленной цели были проанализированы три метода 3D-сканирования:

1. Фотограмметрия (с использованием Agisoft Metashape): съемка объекта с 80 кадров (40 для верхней и 40 для нижней части тела) и последующее преобразование в полигональную модель.

Рис. 1. Местоположение камеры во время съемки

2. Структурированный свет (Creality CR-Scan Ferret): высокоточное сканирование с детализацией до 95 %.

3. Kinect-технологии (ParametriX Duo): быстрое сканирование (5–10 минут) с автоматизированной обработкой данных.

Полученные модели оптимизировались в Blender с использованием модификатора Decimate для уменьшения количества полигонов. Далее данные импортировались в CLO 3D для моделирования одежды и симуляции поведения тканей. Для визуализации результатов использовалась платформа Unity 3D, на примере проекта «Виртуальный шоурум В.М. Зайцева».

Одним из ключевых аспектов является фотограмметрия. Процесс включает в себя создание серии изображений с помощью камеры. Для полного охвата объекта производится съемка из различных ракурсов. Сначала выполняется серия из 40 снимков, охватывающих верхнюю часть тела, включая область до пояса, путем кругового перемещения камеры вокруг объекта. Затем аналогичным образом осуществляется съемка нижней части тела, состоящая из следующих 40 кадров.

Программа Agisoft Metashape позволяет сращивать фотографии в виртуальное облако точек для обеспечения координации объекта в пространстве (рис. 1). Преобразовывать их в замкнутую полигональную поверхность тела с высокой точностью после удаления сторонних объектов и учета окружающей среды. Затем настраивать соответствие реальных физических размеров.

Объектом исследования является цифровое проектирование модных коллекций. Предметом исследования являются современные трехмерные мерные технологии, используемых для проектирования аксессуаров костюма, такие как головные уборы и обувь.

Цель исследования — проанализировать и доказать эффективность использования 3D-сканирования и цифрового моделирования при

создании текстильных изделий, адаптированных под индивидуальные параметры человеческого тела.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

1. Проанализировать современные методы 3D-сканирования человека (фотограмметрия, структурированный свет, Kinect, Artec Eva) и сравнить их по ключевым характеристикам.

2. Исследовать процесс построения цифрового двойника человека на основе данных 3D-сканирования, включая этапы оптимизации моделей в программной среде Blender.

3. Изучить возможности программного обеспечения CLO 3D для конструирования одежды с учетом анатомических параметров и симуляции поведения тканей.

4. Определить оптимальные параметры упрощения полигональных моделей для обеспечения совместимости с различными CAD-системами.

5. Разработать последовательность интеграции 3D-сканированных данных в автоматизированные системы проектирования и моделирования текстильных изделий.

6. Продемонстрировать практическое применение полученных моделей в виртуальной среде на примере проекта «Виртуальный шоурум В.М. Зайцева» с использованием Unity 3D.

Технологии 3D сканирования посвящено много работ, в том числе [1–5]. Система бодисканирования ParametriX Duo, разработанная в Российском государственном университете имени А.Н. Косыгина, представляет собой метод, позволяющий учитывать анатомические особенности человека при создании одежды [10]. В ходе работы человек размещается на автоматизированной поворотной платформе, управляемой специализированным программным обеспечением. Для сканирования принимается А-образная поза, что обеспечивает точное и детальное отображение фигуры [6]. При этом процессе важна быстрая обработка модели человека, которая не должна занимать более 15 секунд. В процессе сканирования может наблюдаться непроизвольная двигательная активность конечностей человека, вызванная усталостью. В результате возрастает погрешность, что может привести к появлению дефектов.

Далее два сенсора одновременно анализируют все тело, создавая полную картину анатомических особенностей. Это позволяет получить высокоточные данные, которые могут быть использованы при разработке текстильных изделий.

Система совершает один полный оборот вокруг тела человека и завершает сканирование. После сбора данных производится оптимизация в программе Blender путем сокращения количества полигонов и создание цифровой модели тела человека. С учетом анатомических особенностей создается прототип желаемой одежды, по размеру и внешним характеристикам. В результате, потребитель сможет быстро и удобно оценить, как одежда будет сидеть, без необходимости ориентироваться на таблицы размеров.

Произведено 3D-сканирование человека в одежде тремя базовыми технологиями: методом фотограмметрии, с помощью технологии на базе структурированного света (Creality CR-Scan Ferret), а также устройствами Kinect 360. В результате создания цифрового двойника человека составлена таблица сравнения по базовым показателям (таб. 1).

Таблица 1. Сравнение базовых технологий 3D-сканирования при создании цифрового двойника человека

	Creality Scan	Agisoft	ParametriX (Kinect)
Точность сканирования, %	90–95	80–92	70–83
Факторы, влияющие на качество сканирования	1. Неподвижность объекта; 2. Волосы и мелкие детали (фурнитура); 3. Зеркальные поверхности; 4. Ровные плоскости более 30 см в длину	1. Качество фокусировки на объекте; 2. Количество снимков; 3. Смена экспозиции; 4. Однородные по цвету поверхности	1. Неподвижность объекта; 2. Волосы и мелкие детали (фурнитура)
Текстуры	90–98 %	85–99 %	70–83 %
Продолжительность 3D-сканирования	8–12 минут	12–18 минут	5–10 минут
Распределение граней	Равномерные, большое количество полигонов	Неравномерные, разных размеров	Равномерные, избыточно большое количество полигонов

Количество граней, шт.	300–400 тыс.	420–540 тыс.	500–700 тыс.
Итоговый объект			

При сканировании любым из существующих методов создается цифровой двойник с избыточным количеством полигонов, что приводит к затруднению использования 3D-модели в сторонних программах. Изучен модификатор Decimate программы Blender и выявлен оптимальный диапазон коэффициента упрощения (рис. 2).

Рис. 2. График распределения количества полигонов при применении функции упрощения полигональной сетки

В 3D-программах, таких как CLO 3D, можно импортировать антропометрические параметры и построить модель, учитывающую все необходимые пропорции. Этот процесс включает в себя детальную проработку изгибов и суставов тела человека (рис. 3).

Рис. 3. Отсканированный человек в среде конструирования одежды CLO 3D

С помощью симуляции поведения тканей в 3D-среде можно оценить, как изделие будет выглядеть и вести себя в реальных условиях. Программа предоставляет обширную библиотеку, поэтому можно выбрать ткань с соответствующими физическими свойствами. Пользователь имеет возможность настроить под себя такие параметры, как вес, жесткость и эластичность. Эти характеристики влияют на достижение реалистичного поведения материала при тестировании.

CLO 3D использует физические законы для моделирования того, как одежда будет вести себя на фигуре человека. Симуляция взаимодействия одежды с телом помогает определить возможные проблемы, такие как сжатие или ограничение движений. Это особенно актуально в сфере разработки активной и спортивной одежды, где свобода движений играет ключевую роль. Дизайнеры могут просмотреть и откорректировать модель в реальном времени, что позволяет быстро устранить недостатки и внести изменения. Пользователи применяют различные настройки освещения, фонов и камер для создания высококачественных изображений. Это особенно полезно для демонстраций готовых изделий.

Готовые 3D-модели могут быть экспортированы в различные форматы, такие как OBJ или FBX, что позволяет использовать их в других приложениях или для печати на 3D-принтерах. CLO 3D также поддерживает интеграцию с другими инструментами проектирования и разработки. Это обеспечивает гибкость в процессе работы.

Создание прототипа — завершающий этап разработки. Физические прототипы могут быть изготовлены с использованием гибких материалов, что позволяет проводить тестирование с привлечением реальных пользователей.

Данные, полученные при 3D-сканировании, легко интегрируются с компьютерными системами автоматизированного проектирования

(CAD) [7]. 3D-моделирование дает возможность дизайнерам и инженерам эффективно воплощать идеи в готовые изделия.

Применение цифровых 3D-моделей способно ускорить как разработку, так и производство текстильной продукции. Эти технологии не только экономят время, но и улучшают качество итоговых изделий. С помощью компьютерного моделирования можно заранее проанализировать поведение материала в разных условиях, минимизируя ошибки на производственных этапах.

Одно из ключевых преимуществ 3D-моделирования — быстрое создание прототипов, что избавляет от необходимости изготавливать множество физических образцов. Все изменения вносятся в цифровую модель, что сокращает расходы и ускоряет процесс разработки. Согласно исследованиям, виртуальные прототипы позволяют значительно уменьшить временные и финансовые затраты, а также повысить качество продукции благодаря детальному анализу на ранних стадиях [8].

Для дополнительного ускорения производства, такие процессы как создание выкроек, раскрой ткани и моделирование могут быть автоматизированы. Данный процесс выполняется посредством использования 3D-сканеров, таких как, например, Artec Eva. Данные сканирования тела или конкретных частей тела передаются в CAD-систему, где на основе точных анатомических измерений формируются выкройки, идеально подходящие по размеру. CAD-система автоматически генерирует выкройки с учетом всех пропорций и особенностей тела, исключая необходимость вручную подгонять шаблоны для каждой модели.

Используя алгоритм параметрического моделирования, который адаптирует выкройки, в зависимости от полученных измерений, система анализирует анатомические особенности человека и автоматически корректирует выкройки для точного соответствия фигуре. Это актуально для создания персонализированной одежды, где особенно важно обеспечить точное соответствие изделия индивидуальным параметрам потребителя.

Технологии 3D-сканирования используются не только для создания индивидуальной и адаптивной модели одежды, но и для создания точных цифровых копий старинных костюмов с высокой степенью детализации и модели могут быть использованы для создания виртуальных выставок, а также для научных исследований, где важно изучать каждую деталь костюма (рис. 4). Это могут быть как простые онлайн-галереи, так и интерактивные экспозиции с возможностью виртуального тура, где поль-

зователи могут «перемещаться» по выставочному пространству, изучая экспонаты в подробностях.

Рис. 4. Старинный костюм

«Виртуальный шоурум В.М. Зайцева» Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина является отличным примером, продемонстрировавшим использование технологий 3D-сканирования в создании виртуальной реальности с широким функционалом [9]. Данный проект был реализован при помощи платформы для разработки видеоигр и интерактивных приложений Unity 3D.

Программный пакет Unity 3D использовался для реализации интерактивного процесса в 3D-среде. Это позволило повысить уровень удобства для пользователя и обеспечить возможность свободного перемещения между экспонатами. В рамках интерактивного процесса, включая использование технологии Unity 3D, была реализована функция вращения экспонатов. Пользователь подходит к стеклянным кабинкам, активируя кнопку вращения, ознакомиться с коллекцией вымышленных экспонатов, созданных Вячеславом Зайцевым, в количестве тридцати единиц.

Также с помощью Unity 3D была реализована книга со стихотворениями автора, с которой также пользователь может взаимодействовать, а именно пролистывать страницы и читать рукописи, отсканированные с реальных работ поэта. На стенах можно заметить картины, которые являются важной частью интерьера.

Данное решение наглядно иллюстрирует целесообразность использования Unity 3D в качестве инструмента для разработки виртуальных музейных экспозиций, в которых важна точность передачи изделий, их форм и особенностей. Таким образом, возможно создание виртуальных пространств для демонстрации работ молодых современных дизайнеров для специализированных коллекций под точные фигуры моделей, включая работы студентов Российского государственного университета имени А.Н. Косыгина, а также для сохранения культурного наследия прошлых эпох, исторических памятников и музейных экспонатов, и их передачи новому поколению в инновационном формате [10].

В данной статье рассмотрены перспективные направления внедрения технологий 3D-сканирования и цифрового моделирования в сферу текстильного производства и дизайна одежды. Авторами проведено срав-

нительное исследование различных методов 3D-сканирования, включая фотограмметрию, структурированный свет и решения на основе Kinect, с оценкой их точности, производительности и других значимых параметров. Важным аспектом работы стало изучение методов оптимизации полигональных моделей в Blender и их адаптации для использования в CAD-системах и специализированных программах, таких как CLO 3D.

Практическая значимость исследования заключается в доказательстве эффективности данных технологий для автоматизированного создания цифровых двойников, разработки индивидуальных выкроек и виртуальной примерки. Это позволяет не только ускорить производственные процессы, но и добиться более точной посадки изделий. Дополнительно продемонстрированы возможности применения 3D-моделей в виртуальных шоурумах и музейных экспозициях, что способствует сохранению культурного наследия и расширению форматов презентации дизайнерских коллекций.

С научной точки зрения работа представляет ценность благодаря комплексному анализу технологий 3D-моделирования, включая методы оптимизации полигональных сетей и параметрического проектирования одежды. Особого внимания заслуживает демонстрация использования платформы Unity 3D для создания интерактивных виртуальных сред, что открывает новые перспективы для визуализации и взаимодействия с цифровыми объектами.

В перспективе дальнейшее развитие и совершенствование рассмотренных технологий будет способствовать цифровой трансформации текстильной отрасли, обеспечивая высокую точность, оперативность и персонализацию при создании одежды и аксессуаров. Это позволит не только повысить качество продукции, но и удовлетворить растущий спрос на индивидуальные решения в сфере моды и дизайна.

Исследование подтвердило перспективность технологий 3D-сканирования и цифрового моделирования для текстильной промышленности. Они позволяют создавать одежду с идеальной посадкой, сокращать производственные сроки и расширять возможности визуализации. Дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование алгоритмов автоматизации и снижение стоимости внедрения этих технологий.

Список литературы:

1. *Гркикян А.О., Гетманцева В.В., Андреева Е.Г.* Анализ развития 3d технологий в швейной промышленности // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. — 2020. — № 1. — С. 120–124.

2. *Борзунов Г.И., Каршакова Л.Б., Груздева М.А., Обетковская М.А., Смирнов В.Б., Захаркина С.В.* Особенности проектирования одежды в цифровой среде // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2022. — № 2 (398). — С. 183–191.

3. *Замотин Н.А., Дягилев А.С.* Разработка 3D-сканера для сканирования фигуры человека // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2020. — № 6 (390). — С. 139–146.

4. *Тюрин И.Н., Кудринский С.В., Кузьмин А.Г., Соболева Л.А., Белгородский В.С.* Проектирование поворотного механизма системы бодисканирования // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. — 2021. — № 3. — С. 48–52.

5. *Обетковская М.А., Коробцева Н.А., Кузьмин А.Г.* Опыт использования бодис-канера для 3d-моделирования одежды // Всероссийский форум молодых исследователей «Дизайн и искусство — стратегия проектной культуры 21 века»: Сборник материалов Всероссийская научно-практическая конференции (ДИСК-2022). Часть 1. — Москва: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. — С. 110–111.

6. *Кузьмин А.Г., Тюрин И.Н.* Особенности проектирования интерактивной виртуальной среды. Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2023): сборник материалов Международной 61 научной студенческой конференции. Часть 2. — Москва: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. — С. 6–9.

7. *Груздева М.А., Яковлева Н.Б., Шестак Я.М.* Формирование современных концепций цифровой эстетики искусства — новый этап эволюции искусства // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. — 2019. — № 2. — Часть 1. — С. 330–345.

8. *Груздева М.А., Яковлева Н.Б., Шестак Я.М.* Современные информационные технологии в цифровом искусстве // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. — 2019. — № 4. — Часть 2. — С. 318–325.

9. *Каршакова Л.Б., Серков А.М., Груздева М.А.* Генеративный дизайн в индустрии моды // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. — 2018. — № 1. — Часть 1. — С. 138–144, 249–251.

10. *Манцевич А.Ю., Стор И.Н., Иванов В.В., Груздева М.А.* Формообразование в графическом дизайне на основе бионического метода // Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. Вестник МГХПА. — 2020. — № 2. — Часть 1. — С. 344–351.