

ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИСТОРИЧЕСКИХ КОСТЮМОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ РЕВЕРСИВНОГО ИНЖИНИРИНГА

PROBLEMS OF HISTORICAL COSTUME DIGITAL REPLICA GENERATING BY MEANS OF REVERSE ENGINEERING TECHNOLOGY

В.Е. Кузьмичев¹, А.Ю. Москвин², Д.С. Адольф³, Чжан Шичао⁴
V.E. Kuzmichev, A.U. Moskvin, D.C. Adolphe, Zhang Shichao

¹Ивановский государственный политехнический университет

²Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

³Университет Верхнего Эльзаса, (Франция)

⁴Уханьский текстильный университет, (Китай)

¹Ivanovo State Polytechnic University

²Sankt-Petersburg State University of industrial technologies and design

³Haute-Alsace University, ENSISA, (France)

⁴Wuhan Textile University, (China)

E-mail: wkd37@list.ru, lelikn2@mail.ru,

dominique.adolphe@uha.fr, 569642835@qq.com

Рассмотрены факторы, под влиянием которых цифровизация исторического костюма качественно меняет масштабы его использования в социокультурном пространстве. Приведены примеры разнообразных подходов к получению цифровых реплик исторических костюмов с использованием существующего оборудования и информационных технологий. Показаны преимущества технологии реверсивного инжиниринга, достигаемые на основе формирования новых баз знаний о текстильных материалах, чертежах деталей, конструкции и структуре костюмов и применения систем автоматизированного проектирования и компьютерно-графических пакетов.

Ключевые слова: исторический костюм, цифровой двойник, текстильный материал, фигура, реверсивный инжиниринг

The article explores the factors due to the numerical digitalization of historical costume can greatly change its spreading and shearing in contemporary cultural society. Different approaches of digital replica of historical costume generating in terms of contemporary instruments and IT were considered. The advantages of reverse engineering technology which can be achieved by applying new data bases devoted to textile materials, patterns, construction and structure of historical costume, CAD and computer-graphics software were shown.

Key-words: historical costume, digital replica, textile material, human body, reverse engineering

История костюма является основным элементом в культурном ландшафте европейского и российского обществ. Исторический костюм выступает в роли этнического, религиозного, территориального индикатора, является объектом национальной культуры и тесно связан с историей традициями и каждого народа. В аспекте мировой культуры исторический костюм, как ее глубочайший пласт, является неиссякаемым источником творчества для специалистов в области проектирования, создания новейших художественно-конструктивных решений и изготовления современной одежды. Исторический костюм выполнял и выполняет решающую роль в формировании европейской культурной идентичности. Не случайно, в 2018 году, который был объявлен в Европе годом культурного наследия и котором приняли участие 37 стран, был проявлен высокий интерес к объектам культурного наследия, включая исторический костюм, благодаря большому количеству мероприятий [1].

Параллельное использование в культурном и научном обороте исторического костюма с признаками высокой художественно-конструктивной выразительности и современных аналогов сопряжено с несколькими проблемами, решение которых лежит в области цифровизации [2,3].

Во-первых, проведение выставок материальных костюмов сопряжено со значительными материальными затратами и рисками. По этой причине известные мировые музеи - Музей Виктории и Альберта (The Victoria and Albert Museum, Лондон), Университет искусств Лондона (University of the Arts of London), Метрополитан музей искусства (Metropolitan Museum of Art, Нью-Йорк) и Музей костюма Киото (The Kyoto Costume Institute, Япония) переводят часть своих экспозиций в виртуальную среду. Новые формы виртуальных презентаций кардинально изменяют границы мирового выставочного пространства и вовлекают в него новое поколение людей, ориентированное на удовлетворение культурных запросов в цифровой форме.

Во-вторых, традиционные экспозиции исторических костюмов демонстрируют зрителю лишь видимый результат — объемно-силуэтную форму с видимыми художественно-конструктивными решениями — и не позволяют видеть их внутреннее устройство, зачастую довольно сложное с инженерной точки зрения, без которого невозможен законченный процесс восприятия исторического костюма как объекта художественного и инженерного творчества. Фактически демонстрируемый исторический костюм является "черным ящиком". Поэтому поиск новых форм экспозиций, позволяющих демонстрировать внутреннее устройство костюма, необходим для стимулирования зрителей и исследователей к активному вовлечению в процесс его формообразования.

В-третьих, исторический костюм, изготовленный из натуральных текстильных материалов, является одним из самых уязвимых объектов культурного наследия. Его утрата может оказаться невозможной ввиду невозможности создания копий материалов и(или) незнания особых приемов формообразования и изготовления. Компьютерные технологии могут значительно изменить содержание труда реставратора исторических костюмов, особенно тех его вариантов, которые утратили часть своих элементов. При наличии мощных баз данных о конструкции исторического костюма трудоемкий ручной труд реставратора может быть адаптирован к технологиям реверсивного инжиниринга, позволяющим в условиях недостаточности информации об объекте в целом выполнять его реконструкцию с высокой степенью адекватности. На основании исследования исторических аналогов исторических костюмов, например, из выбранного временного периода и сохранившихся руководств по конструированию и технологии изготовления, можно определить способы, с помощью которых реально воспроизвести точную цифровую реплику частично утраченного исторического костюма. Поэтому применение метода реверсивного инжиниринга применительно к историческому костюму позволит решить проблему сохранения исторического наследия.

В-четвертых, музейные фонды России и Франции содержат большое количество экспонатов, которые недоступны для зрителей в настоящее время. Для введения в культурный оборот цифровых двойников необходимы знания и понимания принципов послойного формирования внешнего облика исторического костюма, что возможно сделать с помощью современных технологий.

В-пятых, зачастую единственным источником информации об историческом костюме является его графическое 2D изображение, количество которых неизмеримо больше по сравнению с сохранившимися материальными объектами. Чтобы воспроизвести 3D форму по 2D изображению исторического костюма, необходимы качественно иные подходы, начиная с анализа изображений, идентификации количественных признаков текстильных материалов и формы и заканчивая воссозданием невидимого конструктивного устройства. Поэтому проблема проектирования по схеме 2D → 3D применительно к историческому костюму пока не решена.

Решение перечисленных проблем за счет замены материальных костюмов их цифровыми репликами позволит повысить доступность исторического костюма для исследования, подражания и источника творчества для развития художественно-конструкторских и инженерных решений.

Современная практика презентации исторических костюмов в виртуальной реальности основана на применении 3D технологий предметной фотосъемки и сканирования.

Предметная 3D фотосъемка (т.н. "360") заключается в выполнении серии фотографий костюма в различных ракурсах, объединении фотографий с помощью специализированного программного обеспечения в «поворачиваемое изображение», которое становится интерактивной презентацией исторического костюма. Пользователь имеет возможность рассмотреть костюм в различных ракурсах и увеличить отдельные фрагменты. Такие изображения популярны во многих интернет-магазинах одежды, применяющихся системы для 3D фотосъемки Carracity, mode360, webrotate 360, Shutter Stream 360, Sirv и др.

3D сканирование позволяет получать точные цифровые копии одежды – цифровые двойники – с помощью бесконтактной измерительной системы, состоящей из светового или лазерного сканера и программы для обработки данных. В результате сканирования получают координаты «облака точек» на поверхности костюма, на основе которых программное обеспечение создает трехмерную модель. Для этого широко применяют системы Vitronic Vitus 3D Body Scanner, Staramba 3D INSTAGRAPH, Fit3D Proscanner, Artec Shapify Booth.

Достоинствами обеих технологий являются высокая скорость получения цифровых двойников одежды на фигуре человека и их адекватность прототипу. Однако использование таких технологий в другой области - истории костюма и моды - ограничено хорошо сохранившимися историческими костюмами. Получаемые цифровые двойники являются твердотельными объемно-пространственными объектами, не допускающими рассмотрение под внешней оболочкой скрытого конструктивного устройства и внутренних структурных взаимосвязей, существующих между элементами исторических костюмов. Поэтому современные технологии получения цифровых реплик мало пригодны для исторических костюмов.

Актуальным направлением, устраняющим недостатком рассмотренных подходов, является воссоздание цифровых двойников исторических костюмов с применением совершенно иных технических средств - систем автоматизированного проектирования (САПР) и компьютерно-графических пакетов (КГП). Эти системы широко применяют в современном цифровом проектировании одежды благодаря богатому инструментарию для выполнения всех этапов проектирования изделия в виртуальной среде, а также для инженерно-обоснованного и фотореалистичного прогнозирования внешнего вида одежды. Применение технологий непараметрического и параметрического 2D конструирования, 3D проектирования, виртуальной примерки и фотореалистичной визуализации имеет значительный потенциал в создании цифровых копий утраченных и поврежденных исторических костюмов. Однако для его реализации этого направления необходимо провести обширные исследования и разработать научно-обоснованную методологию и новые базисы данных, обеспечивающие пользователей полными знаниями обо всех элементах системы "аватар исторической фигуры - исторический костюм".

Цифровизация музейных коллекций исторических костюмов является важной научно-технической задачей, которая решается за счет расширения возможностей современных цифровых технологий и их применении для реставрации, консервации исторических артефактов и документирования архивных материалов.

Первое направление включает создание онлайн-коллекций исторических костюмов на основе 2D и 3D предметной фотосъемки хорошо сохранившихся артефактов, такие экспозиции созданы в университетах и колледжах преимущественно США и Канады: Государственном Университете Огайо (Ohio State University, США), Колледже Вассар (Vassar College, США), Консорциум пяти колледжей (the Five College Consortium, США), Университете Drexel (США), Университете Ryerson (Канада). Значительное количество коллекций исторического костюма представлено различными музеями в рамках проекта Google Arts & Culture. Эти коллекции цифровых двойников в значительной степени модернизируют традиционные подходы к сохранению и демонстрации исторической одежды за счет применения мультимедиа технологий. Однако, экспозиции изделий выполнены в

форматах 2D и "360" фотографий, что значительно уменьшает их культурно-просветительский потенциал и ограничивает возможности демонстрации в иных форматах виртуальной реальности.

Второе направление также реализовано для хорошо сохранившихся исторических костюмов и включает их оцифровывание и презентацию с помощью трехмерной компьютерной графики. Безусловно, это расширяет возможности экспозиций в современных форматах цифровых сред. Проект «Новое платье императрицы», выполненный в University of the Arts of London (Великобритания), демонстрирует применение САПР для реконструкции платья XVIII в. с высокой точностью, компьютерной анимации и реалистичной симуляции свойств исторических текстильных материалов. Экспозиция «Римская улица», выполненная студией 3D моделирования CtrlArt (Польша), является удачным примером использования дополненной виртуальной реальности в интерактивной демонстрации исторической одежды для широкой аудитории. Новые подходы к ретроспективной демонстрации одежды в трехмерном виртуальном экспозиционном пространстве применены в разработке Valentino Garavani Museum (Италия).

Третье направление основано на применении САПР. Исследователи из Drexel University (США) используют методы 3D моделирования исторических изделий путем их восстановления по историческим чертежам и последующего надевания на аватар фигуры. Сотрудники Leeds University (Великобритания) выполнили ряд разработок в области виртуальной и реальной реконструкции исторического костюма в статике и динамике. В лаборатории MiraLAB (Швейцария) разработан метод трехмерного моделирования формы исторической одежды и симуляции её разных силуэтов с учетом показателей свойств текстильных материалов. Показатели свойств материалов, использовавшиеся в различные исторические периоды, с последующим получением их цифровых двойников изучают в Польской Академии Науки (Polish Academy of Sciences, Польша) и Музее Лондона (The Museum of London, Великобритания).

В Российской Федерации пока нет удачных вариантов виртуальных музейных экспозиций. Безусловно, что развитие и поддержка таких исследований необходима с разных точек зрения: научной, культурной и социальной.

Таким образом, основными недостатками существующих технологий и реализующих их программных продуктов являются следующие ключевые характеристики:

—низкая реалистичность виртуальных двойников и их несоответствие прототипам исторических костюмов;

— отсутствие цифровых баз данных о текстильных и сопутствующих материалах исторического костюма;

—отсутствие программного обеспечения для генерирования цифровых двойников 3D исторические костюмов.

Сохранение нынешнего состояния хранения и экспозиции исторических костюмов может привести к следующим негативным последствиям:

—снижение их востребованности,

—исключение из мирового цифрового пространства,

—нарушение социокультурных связей между поколениями,

—падение интереса молодых исследователей,

—уменьшении числа культурных контактов между странами,

—снижении общей культуры.

Кроме того, может возникнуть разрыв между созданием современной одежды, проектирование которой в настоящее время полностью переведено в цифровую среду, и пока неоцифрованными базами знаний об особенностях проектирования исторической одежды, в которой аккумулирован многовековой опыт и которая содержит огромное количество интересных инженерных решений.

Для цифровизации культурного наследия используют компьютерные технологии, разработанные для проектирования трехмерных объектов, включая современную одежду. С

их помощью получают одноканальные видео и цифровые изображения, созданные методами компьютерной 2D и 3D графики и анимации (в том числе, генеративные и алгоритмические); видео- и фотодокументацию исторических перформансов в музейном и публичном пространстве (вне галерей и музеев); художественные интернет-проекты для виртуальной и смешанной реальности (Virtual and Augmented Reality); живые аудиовизуальные и интерактивные мультимедийные перформансы.

Цифровизацию исторических костюмов следует рассматривать как научную разработку, отсылающую к социальным аспектам науки и творчества (Art and Science).

Технологии для оцифровывания исторических костюмов только формируются в настоящее время и уверенно можно констатировать следующие очевидные направления их развития:

–переход от простых реплик однослойной одежды, надеваемой непосредственно на аватар фигуры, к конструктивно сложным историческим костюмам, носимых как на теле, так и каркасах (например, кринолине). Такие костюмы представляют собой многослойные конструкции, пространственная форма которых является результатом синергетического эффекта, возникающего под влиянием пластики фигуры, поведения текстильного материала, действия гравитационных сил и каркасирующих элементов. Воспроизведение таких форм костюма базируется на мультидисциплинарном подходе, объединяющим антропometriю, текстильное материаловедение, физическое и геометрическое моделирование, механику твердых и анизотропных сред, IT;

– повышение реалистичности цифровых двойников исторической одежды;

– виртуальная презентация цифровых двойников в статике и динамике с реалистичной передачей пластики текстильных материалов;

– презентация цифровых двойников исторических костюмов не в виде твердотельных визуально непроницаемых объектов (как в случае материальных музейных экспонатов), а в виде прозрачной системы "аватар исторической фигуры - исторический костюм" с возможностью осмотра структуры и структурных связей между всеми элементами, обеспечивающими объемно-пространственную форму.

Перечисленные проекты и исследования сформировали самостоятельное научное направление по цифровизации исторических костюмов благодаря применению современных технологий (САПР, виртуальная примерка и 3D сканирование). Однако получаемые цифровые двойники копируют костюмы с относительно простым конструктивным устройством, из одного - двух слоев материала. Возможности современных компьютерных технологий позволяют перейти к цифровому проектированию многослойной одежды с различными составляющими пакета текстильных материалов. Для получения цифровых двойников сложной исторической одежды необходимы дополнительные знания обо всех элементах системы "аватар исторической фигуры - исторический костюм", включая информацию о внешнем виде, конструктивном устройстве, материалах и технологиях изготовления, взаимосвязях между внутренними структурными элементами. Наличие таких знаний существенно расширит круг решаемых задач - от копирования сохранившихся объектов до восстановления формы поврежденных и утраченных изделий с высокой точностью и исторической достоверностью. Безусловно, оба направления обогатят историческое культурное наследие.

Использование современных САПР одежды ограничено базами данных и знаний, сгенерированных для современных фигур, текстильных материалов и схем формообразования одежды. Попытки использования существующих компьютерных технологий показали их ограниченность для виртуальных презентаций исторических костюмов. Поэтому для работы с историческими костюмами необходим иной подход и иное информационное и программное обеспечение в условиях недостаточной информации о его элементах.

Законченных научных, технических и технологических решений для получения цифровых двойников исторического костюма, которые симулировали бы его, составляющих

его текстильных материалов и каркасирующих элементов адекватное поведение в виртуальной среде, **в настоящее время нет**. Поэтому использование технологий реверсивного инжиниринга для получения цифровых реплик исторических костюмов является новым направлением и носит пионерский характер.

На кафедре конструирования швейных изделий ИВГПУ совместно с Санкт-Петербургским государственным университетом промышленных технологий и дизайна накоплен уникальный опыт по цифровизации исторических костюмов и созданию аватаров исторических фигур с корсетной формой [4-7]. Можно констатировать, что в настоящее время российские исследователи занимают лидирующие позиции в получении реалистично-выглядящих цифровых реплик исторических костюмов. Например, полные тексты наших статей, опубликованные в журналах, индексируемых в Web of Science, входят в топ-листы популярных статей и были скопированы и прочитаны иностранными учеными:

название статьи	год публикации	показатели интереса	
		количество прочтений	количество загрузок
Computer reconstruction of 19th century trousers[4]	2017		1655
Virtual reconstruction of historical men's suit [6]	2018	936	635
Research on 3D reconstruction of Late Victorian riding skirts [5]	2018		136
Digital replicas of historical skirts [7]	2019	80	

ИВГПУ имеет центр цифровых технологий в дизайне одежды и современное программное обеспечение для решения как традиционных, так и нестандартных задач. Примером нестандартных решений, разработанных в ИВГПУ, являются уникальные компьютерные программы:

— для распознавания стилевых особенностей исторической одежды на основе распознавания образов 2D графических изображений и определения времени ее создания (software for recognition particular stylistic elements and fashionable details to date clothing) [8];

— для моделирования аватаров женских фигур с измененной пластикой под влиянием компрессионного воздействия корсетов, деформирующего мягкие ткани. В этой программе реализованы научные основы преобразования твердотельных аватаров в мягкотельные;

— для симуляции сенсорной реакции аватаров человеческих фигур в виртуальной среде на давление одежды.

Кроме этого, выполнена большая работа по систематизации материальных исторических костюмов разных периодов.

Уникальность такого применения технологии реверсивного инжиниринга вытекает из необходимости развития нового научного направления по компьютерной реконструкции исторического костюма как актуального междисциплинарного направления, объединяющего антропологию, текстильное материаловедение, физическое и геометрическое моделирование, механику твердых и анизотропных сред и IT. Для получения цифровых копий костюмов необходимы:

– новые методы воспроизведения исторического костюма и перемещение уникальных материальных объектов в виртуальную среду он-лайн экспозиций с помощью мультимедиа.

– новые методы реконструкции аватаров исторических фигур, каркасов для одежды (кринолин, панье и др.), самой одежды, которые позволят получать цифровые двойники исторической женской и мужской одежды.

– три вида программного обеспечения 2D CAD, 3D CAD и 3D CG (computer graphics), а также собственные разработки.

Результаты нового научного направления откроют новые пути для виртуальной реконструкции, реставрации, консервации и экспозиции исторического костюма в трехмерном формате.

Таким образом, использование технологии реверсивного инжиниринга для разработки цифровых двойников исторического костюма позволит достичь следующих результатов:

— перевод и сохранение в цифровой форме материальных образцов исторических костюмов как части богатейшего культурного наследия каждой нации;

— обеспечение музейно-выставочных комплексов новым видом информационных услуг в виде виртуальных экспозиций исторических костюмов, полученных методами послойного моделирования и цифровой реконструкции исторического костюма и всех элементов системы "аватар исторической фигуры - исторический костюм";

— предоставление научно-исследовательским организациям новых и эффективных методов и средств для проведения исследований с историческим костюмом и его реконструкцией методами реверсивного инжиниринга;

— разработка научной методологии получения реалистично выглядящих цифровых двойников фигур, текстильных тканей, одежды, позволяющих переходить к созданию новых видов научно-технической продукции на основе новых баз знаний и правил;

— создание дополнительных условий для осознания национальной идентичности подрастающим поколением и формирование цифровых духовных скрепов;

— разработка новых образовательных программ высшего образования для подготовки магистров и аспирантов.

Работа выполняется по гранту № 05.616.21.0113 в форме субсидий ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" и Партнерской программы Юбера Кюрьена - А.Н. Колмогорова с участием научно-исследовательских организаций и университетов Франции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Council of Europe. European Year of Cultural Heritage [Электронный ресурс] // europa.eu: [сайт]. URL: http://europa.eu/cultural-heritage/about_en (дата обращения: 05.09.2019)
2. Martin, M. Heritage narratives in the digital era: How digital technologies have improved approaches and tools for fashion know-how, traditions, and memories // Research Journal of Textile and Apparel. 2018. doi:10.1108/RJTA-02-2018-0015
3. Kirkland, A. Sharing Historic Costume Collections Online // Dress.2015 doi:10.1080/03612112.2015.1130394
4. Kuzmichev, V., Moskvin, A., Moskvina, M., Surgenko, E. Computer reconstruction of 19th century trousers // International Journal of Clothing Science and Technology, 2017, 29 (4),594-606. doi:10.1108/IJCST-12-2016-0139
5. Kuzmichev, V., Moskvin A., Moskvina M., Pryor Jane. Research on 3D reconstruction of Late Victorian riding skirts. International Journal of Clothing Science and Technology, 2018, 30 (6),790-807. doi:10.1108/IJCST-12-2017-0192
6. Kuzmichev, V., Moskvin A., Moskvina M. Virtual Reconstruction of Historical Men's Suit // AUTEX Research Journal, 2018, 18(3), 281-294. doi:10.1515/aut-2018-0001
7. Moskvin, A., Kuzmichev, V., Moskvina, M. Digital replicas of historical skirts //The Journal of The Textile Institute, 2019 <https://doi.org/10.1080/00405000.2019.1621042>
8. Е, Хунгуан (Ye Hongguang). Разработка метода компьютерного распознавания плечевой одежды костюмной группы: дис. канд. техн. наук: 05.19.04 - Технология швейных изделий. Иваново. 2009. 323 с.