

**ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ
ЦИФРОВОЙ ФОРМЫ 3D МОДЕЛИ ОДЕЖДЫ**

**TECHNOLOGY FORMALIZATION FOR CREATING
A DIGITAL FORM OF A 3D CLOTHING MODEL**

Е.А. СУЛЕЙМАНОВА, Ю.А. КОВАЛЕНКО, Н.В. ТИХОНОВА

E.A. SULEYMANOVA, Y.A. KOVALENKO, N.V. TIKHONOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: elena.a.suleymanova@gmail.com

В статье приведена формализация технологии создания цифровой формы 3D модели одежды. Разработана верхнеуровневая схема технологии создания цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма и представлено детальное описание каждого этапа с учетом формы ее представления. Авторами выделены цифровые формы 3D моделей одежды, созданные на основе преобразования физической одежды, созданные и существующие только в цифровом пространстве, а также созданные в цифровом пространстве для дальнейшего физического воспроизведения. На основе анализа существующих практик и программного обеспечения для получения цифровой одежды определены способы создания и/или преобразования различных цифровых форм 3D моделей одежды. Выбор одного из способов обуславливается целью и задачами разрабатываемой цифровой формы, а также уровнем владения специалистом программным обеспечением. В результате объектно-инструментального анализа существующей цифровой техники и программного обеспечения выделены программы для каждого из видов работ по созданию различных цифровых форм 3D моделей одежды. Определены критерии оценки полученного цифрового результата.

The article provides the formalization of the technology for creating a digital form of a 3D clothing model. An upper-level scheme for the implementation of the technology for creating a digital form of a 3D clothing model of a digital suit has been developed. And a detailed description of the implementation of each stage is presented, taking into account the form of its presentation. The authors have identified digital forms of 3D clothing models created on the basis of transforming physical clothing, created and existing only in the digital space, as well as created in the digital space for further physical reproduction. Based on the analysis of existing practices and software for obtaining digital clothing, the methods of creating and/or converting various digital forms of 3D clothing models are determined. The choice of one of the methods is determined by the purpose and objectives of the digital form being developed, as well as the level of proficiency of the software specialist. As a result of the object-instrumental analysis of the existing digital technology and software, programs for each type of work on the creation of various digital forms of 3D clothing models have been identified. The dimension for evaluating the received digital result are defined.

Ключевые слова: цифровая одежда, цифровой двойник, проектирование одежды, цифровое проектирование, виртуальная примерка, трехмерное сканирование, 3D-одежда.

Keywords: digital clothes, digital twin, clothing design, digital design, virtual fitting, three-dimensional scanning, 3D clothes.

Введение

Современные исследования в области проектирования и производства одежды последние два десятилетия в основном посвящены: изучению цифровых технологий и их применению в модной индустрии [1, 2]; обзору существующего программного обеспечения для сканирования тела человека с целью получения цифрового двойника и более точных данных о его размерах для совершенствования процесса проектирования одежды и обеспечения качества ее посадки [3, 4] и, как следствие, разработке цифровых двойников типовых фигур [5...7] для цифровизации всех этапов проектирования и производства одежды; разработке новых методов идентификации дефектов [8] на цифровых двойниках одежды; использованию 3D программного обеспечения для проектирования одежды и определения взаимосвязи между 2D разверткой и 3D формой [9], реализации идей процесса проектирования одежды с нулевыми отходами [9, 10]; исследованию и применению технологий виртуальной реальности для осуществления онлайн-примерки одежды на конкретного покупателя на сайте интернет-магазина с целью оценки соответствия готовой одежды фигуре для принятия решения на совершение гедонистических покупок [11, 12]; исследованию интеграции цифровых технологий в производственный процесс создания моделей одежды [13, 14]. Кроме того, ряд исследований посвящен выявлению модных тенденций с помощью интеллектуального анализа текста потенциальных и действительных покупателей интернет-магазинов, опыта совершения покупок в метавселенных [15...21]. Анализ современных исследований в области цифровой модной индустрии в целом и цифровом проектировании одежды с использованием 3D программного обеспечения в частности

позволил установить отсутствие формализации технологии создания 3D моделей одежды для различных цифровых форм их представления. Поэтому целью данной работы является подтверждение гипотезы о возможности применения единой технологии создания различных цифровых 3D форм моделей одежды и ее формализация. Технология рассматривает процесс проектирования, в котором в качестве объекта проектирования выступают различные цифровые 3D формы моделей одежды.

Методы исследования

В ходе исследования выполнен обзор научных работ и существующих практик по разрабатываемому вопросу с применением методов системного и функционального анализа, сравнения и обобщения, на основе которого разработана и экспериментально апробирована технология создания цифровой 3D модели одежды с учетом формы ее представления, осуществлена ее формализация.

Результаты и обсуждения

В работах [22...26] представлены схемы реализации трехмерного параметрического проектирования внешней формы одежды способом «от 3D формы к 2D развертке деталей» и схемы преобразования плоскостных параметров в пространственные, т. е. способом «от 2D развертки деталей к 3D форме». Применение данных способов проектирования рассмотрено применительно к одежде, которая в последующем воспроизводится физически. Однако приведенные схемы не раскрывают единой технологии создания различных цифровых 3D форм моделей одежды в зависимости от исходных форм их представления, что является предметом исследования авторов данной работы.

Рассмотрение вопроса создания цифровой 3D формы моделей одежды целесооб-

разно начать с определения понятия цифровой одежды. В работе [27] проведен подробный обзор трактовок и понимания виртуальной и цифровой одежды как академическим сообществом, так и представителями промышленности. Цифровая одежда является частью цифрового костюма. В работе [27] представлено авторское определение термина «цифровой костюм», который включает предметы одежды, обувь, аксессуары и составляющие имиджа, созданные с использованием цифровой техники и технологий компьютерной 2D и 3D графики, для отражения характеристик индивидуума и/или обезличенного потребителя. Следовательно, определение цифровой одежды, приведенное в [28], наиболее соответствует пониманию авторов.

С учетом сущности выделенных определений авторами приведены формы представления 3D моделей одежды цифрового костюма: а) созданные с применением технологий трехмерного сканирования; б) записанные на цифровую видеокамеру; в) созданные в 3D редакторах; г) созданные на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Форма 3D модели одежды цифрового костюма обуславливается целью и задачами ее проектирования, что в свою очередь определяет технологию ее создания. Рассмотрим подробно технологию создания 3D моделей применительно к преобразованию физической одежды (существует в виде физического объекта), созданию цифровой одежды (существует только в цифровом пространстве) и цифро-физической одежды (создается в цифровом пространстве для дальнейшего физического воспроизведения).

Исследование процесса получения различных форм 3D моделей одежды позволило установить, что несмотря на различные исходные данные, используемое оборудование, применяемые методы и приемы работы можно выделить схожие сущности (этапы). На основе результатов исследования разработана и формализована единая технология создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма (рис. 1).

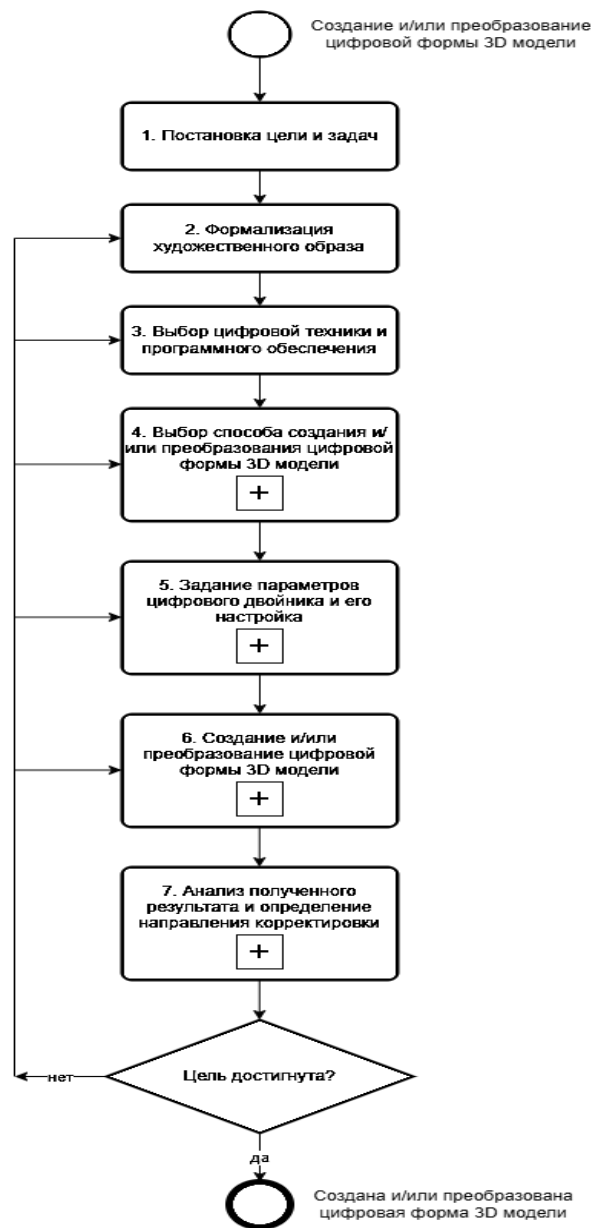


Рис. 1

Первые три этапа технологии включают в себя постановку цели и определение задач, формализацию художественного образа формы 3D модели, выбор цифровой техники и программного обеспечения. На четвертом этапе осуществляется выбор способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели. Определение необходимости (или ее отсутствия) использования цифрового двойника субъекта проектирования, задание параметров цифрового двойника и его настройка составляют пятый этап. Шестым этапом является непосредственное создание и/или преобразова-

ние цифровой формы 3D модели с помощью цифровой техники и инструментов программного обеспечения. Полученная цифровая форма 3D модели анализируется с точки зрения достижения цели (седьмой этап), и если цель не достигнута, то выбирается направление корректировки, что задает шаг, с которого повторно будет реализована технология.

Рассмотрим содержание каждого этапа подробно.

Процесс создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма начинается с постановки цели и определения задач ее проектирования (первый этап). Целями проектирования могут выступать: создание цифровой 3D модели костюма (для виртуального показа, для персонажа компьютерной игры и т. д.), создание моделей цифро-физической одежды (для промышленного производства, для индивидуального изготовления изделия и т. д.)

В соответствии с поставленными целью и задачами осуществляется разработка художественного образа, выраженного вербально/невербально элементами одежды и/или их сочетаниями, в аналоговом или цифровом виде на основе технического задания и/или как результат творческого процесса (второй этап). Разработанный таким образом художественный образ и установленная цель проектирования являются исходными данными для выбора цифровой техники и программного обеспечения (третий этап). Определим набор цифровой техники и программного обеспечения для каждой из форм представления 3D моделей одежды [27].

Создание 3D моделей одежды цифрового костюма с применением технологий трехмерного сканирования осуществляется для физической одежды (существующей в виде физического объекта) с применением 3D сканера для получения информации о форме и цвете сканируемого объекта в цифровом виде, программного обеспечения для ее распознавания, установленного на компьютер/ноутбук. Для преобразования созданной при сканировании цифровой 3D модели программное обеспечение может

быть дополнено программами трехмерного моделирования, а также САПР.

Для создания 3D модели одежды цифрового костюма с помощью цифровой видеокамеры первоисточником также является физическая одежда. Поэтому набор цифровой техники включает цифровую видеокамеру / цифровой телефон с камерой / планшет с камерой и компьютер/ноутбук для последующей работы с полученной цифровой моделью. Для передачи цифровой модели с камеры на компьютер/ноутбук набор следует дополнить внешними накопителями (USB-флеш-накопитель, или внешний жесткий диск, или карта памяти), или установить программные приложения для обмена данными (web-браузер/мессенджер), или подключить средства передачи данных в виде доступа к сети интернет или bluetooth. После передачи файла с цифровой моделью на цифровую технику начинается процесс ее преобразования. Для этого цифровая техника должна быть оснащена программным обеспечением специального и/или общего назначения для работы с 3D объектами.

В отличие от 3D моделей одежды цифрового костюма, созданных с применением технологий трехмерного сканирования или цифровой видеокамеры, 3D модели в объеме изначально имеют цифровую природу, т. к. создаются в 3D редакторах средствами трехмерной компьютерной графики (CGI-графика) или алгоритмами искусственного интеллекта. Созданные таким образом 3D модели одежды можно классифицировать на цифровые (существуют только в цифровом пространстве) и цифро-физические (создаются в цифровом пространстве для дальнейшего физического воспроизведения). В обоих случаях набор цифровой техники будет содержать компьютер/ноутбук и программное обеспечение для создания и/или преобразования 3D и 2D компьютерной графики, а в случае с цифро-физическими 3D моделями при необходимости будет дополнен САПР.

В результате объектно-инструментального анализа программного обеспечения для создания трехмерной компьютерной графики выделены программы для различ-

ных видов работ, выполняемых при создании и/или преобразовании 3D моделей

(рис. 2).

| Вид работ | Наименование программного обеспечения | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------------------|---------|-----------|-----------|-------------|-----------|-------------|----------|---------------|-------------|----------|
| Моделирование | Assyst | Clo3D | Gerber | Lectra | 3ds Max | Optitex | Browzwear | Modo | Blender | MagiScan 3d | Kaedim3d |
| Скульптинг | ZBrush | Blender | 3D-Coat | Mudbox | MagiScan 3d | Kaedim3d | | | | | |
| Риггинг (костная система) | Assyst | Clo3D | Gerber | Lectra | 3ds Max | Optitex | Browzwear | Maya | | | |
| 3D-анимация | Clo3D | 3ds Max | Optitex | Browzwear | Maya | Houdini | MagiScan 3d | Kaedim3d | | | |
| Моушн-графика | Assyst | Clo3D | 3ds Max | Optitex | Browzwear | Cinema 4D | Maya | Houdini | After Effects | MagiScan 3d | Kaedim3d |
| Композитинг | Clo3D | Optitex | Browzwear | Nuke | Avid MC | Fusion | MagiScan 3d | Kaedim3d | | | |

Рис. 2

В соответствии с определенными выше наборами цифровой техники и возможностями программного обеспечения для реализации каждой из форм 3D моделей авторами выделены следующие способы создания и/или преобразования 3D моделей одежды:

- от 2D развертки деталей к 3D форме;
- от 3D формы к 2D развертке деталей;
- преобразование 3D формы;
- от промпта к 3D форме.

Выбор способа создания и/или преобразования 3D моделей одежды из представленных выше составляет четвертый этап технологии (рис. 3). Важно отметить, что выбранные способы создания и/или преобразования 3D моделей определяют инструментальную базу и содержание работ последующих этапов технологии. Названные способы могут дополняться за счет развития цифровых технологий, однако по существу не изменяют верхнеуровневую структуру представленной авторами технологии.

Рассмотрим названные выше способы создания и/или преобразования цифровой формы 3D моделей одежды цифрового костюма подробно:

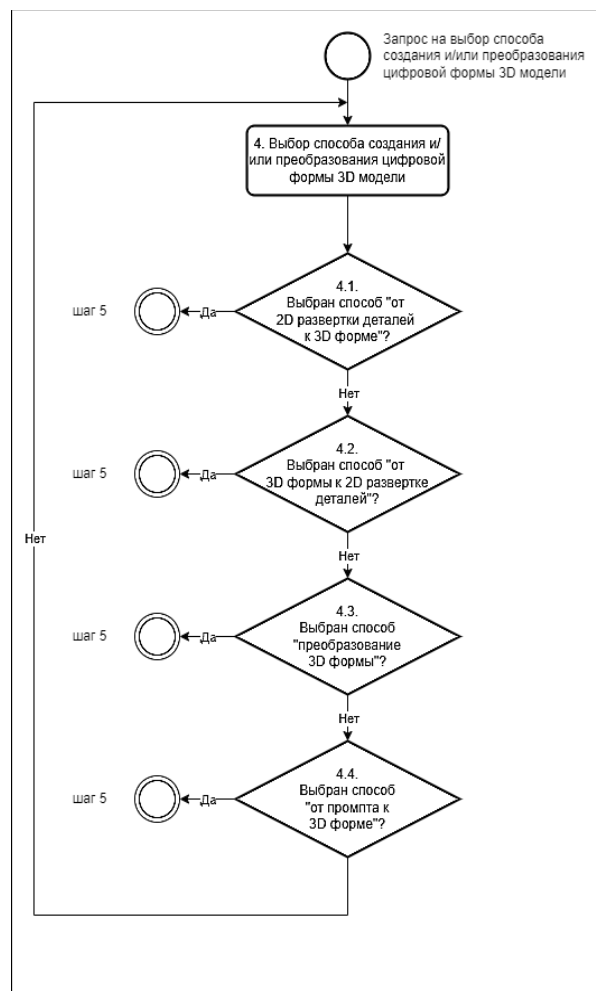


Рис. 3

1. Способ «от 2D развертки деталей к 3D форме» – в программном обеспечении (например, Clo3D) создается 2D развертка деталей модели путем построения непосредственно в программной среде, или импорта лекал из САПР и их преобразования в 2D развертки деталей, или перевода с цифрового 2D изображения.

2. Способ «от 3D формы к 2D развертке деталей» – в программном обеспечении (например, 3D СТАПРИМ) осуществляется автоматическое построение базовой трехмерной модели одежды (например, плечевое изделие типа жакет) на основе исходных данных о размерных признаках и заданных параметров формы цифрового двойника (трехмерной модели типовой фигуры или трехмерной модели индивидуальной фигуры) или ручное построение на основе применения инструментов программной среды и ввода заданных параметров.

3. Способ «преобразование 3D формы» – в программном обеспечении (например, 3ds Max) осуществляется преобразование цифровой формы 3D модели одежды, полученной в результате ее трехмерного сканирования или посредством цифровой видеокамеры. Для преобразования цифровой формы 3D модели одежды используются инструменты программной среды.

4. Способ «от промпта к 3D форме» – в программном обеспечении (например, нейросети MagiScan 3d, Kaedim3d) осуществляется создание цифровой формы 3D модели одежды на основе промпта. Промпт может быть текстовым описанием, 2D изображением, фотографией и видео. Для преобразования полученной цифровой формы 3D модели одежды используются новые промпты.

Выбор способа осуществляется исходя из имеющихся у специалиста исходных данных, полученных на 1-3 этапах технологии, и завершается переходом на 5 этап технологии «Задание параметров цифрового двойника и его настройка».

Считаем важным отметить, что возможно применение гибридного способа создания и/или преобразования формы 3D моделей одежды для получения иной формы ее представления. К гибриднему

способу можно отнести последовательное применение двух и/или более способов, например, «преобразование 3D формы» + «от 2D развертки деталей к 3D форме» для получения цифровой формы одежды исходя из физической формы. Причем в данном случае применение одного из способов становится инструментом для применения основного, позволяющего получить конечный результат нового вида одежды. Возможные варианты числа сочетаний целесообразного с точки зрения временных и трудовых затрат применения гибридного способа представлены на рис. 4, на котором обозначено:

Ф – физическая одежда;

Ц – цифровая одежда;

ЦФ – цифро-физическая одежда;

1 – способ «от 2D развертки деталей к 3D форме»;

2 – способ «от 3D формы к 2D развертке деталей»;

3 – способ «преобразование 3D формы»;

4 – способ «от промпта к 3D форме».

$$\Phi \rightarrow \Psi = 3 + 4 \text{ или } 4 + 3$$

$$\Phi \rightarrow \Psi\Phi = 3 + 1 \text{ или } 4 + 1$$

$$\Psi \rightarrow \Psi\Phi = 4 + 1$$

$$\Psi\Phi \rightarrow \Psi = 1 + 4 \text{ или } 2 + 4$$

Рис. 4

Выбранный на четвертом этапе технологии способ создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели определяет необходимость использования цифрового двойника [28] и его вид (с точными параметрами формы фигуры или с приближенными), а также задание параметров цифрового двойника и его настройку, что составляет сущность пятого этапа технологии. На пятом этапе проектирования в нашем исследовании речь идет только о выборе цифрового двойника объекта, на который будет одеваться одежда, т. е. субъекта проектирования, который представлен в виде аватара, 3D манекена, трехмерной модели, воспроизводящей размерные признаки и параметры формы фигуры человека в точности или приближенно. В различном 3D программном обеспечении встречаются цифровые двойники в виде:

- трехмерной модели типовой фигуры (аватар и/или 3D манекен);
- трехмерной модели индивидуальной фигуры (аватар и/или 3D манекен);
- трехмерной параметрической модели.

Трехмерные модели типовой или индивидуальной фигуры представлены в виде аватара (графическое представление формы тела человека) или 3D манекена (графическое представление стана формы фигуры человека), а трехмерные параметрические модели являются графическим представлением усредненных размерных значений параметров формы фигуры человека, которые имеют упрощенную объемно-пространственную структуру/рельеф в виде простых геометрических фигур. Например, в виде двух усеченных конусов, соединенных малыми диаметрами.

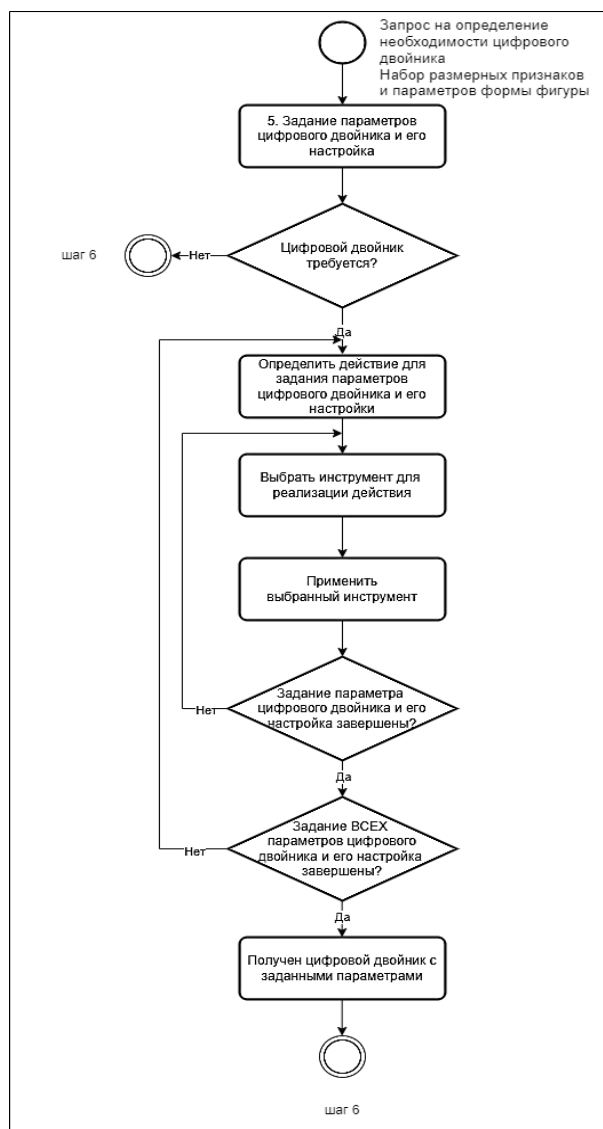


Рис. 5

На рис. 5 приведена схема пятого этапа технологии создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма.

Заметим, что если для 1 и 2 способов использование аватара является необходимым условием для создания цифровой формы 3D модели, то в 4 способе он применяется для визуального представления созданной формы.

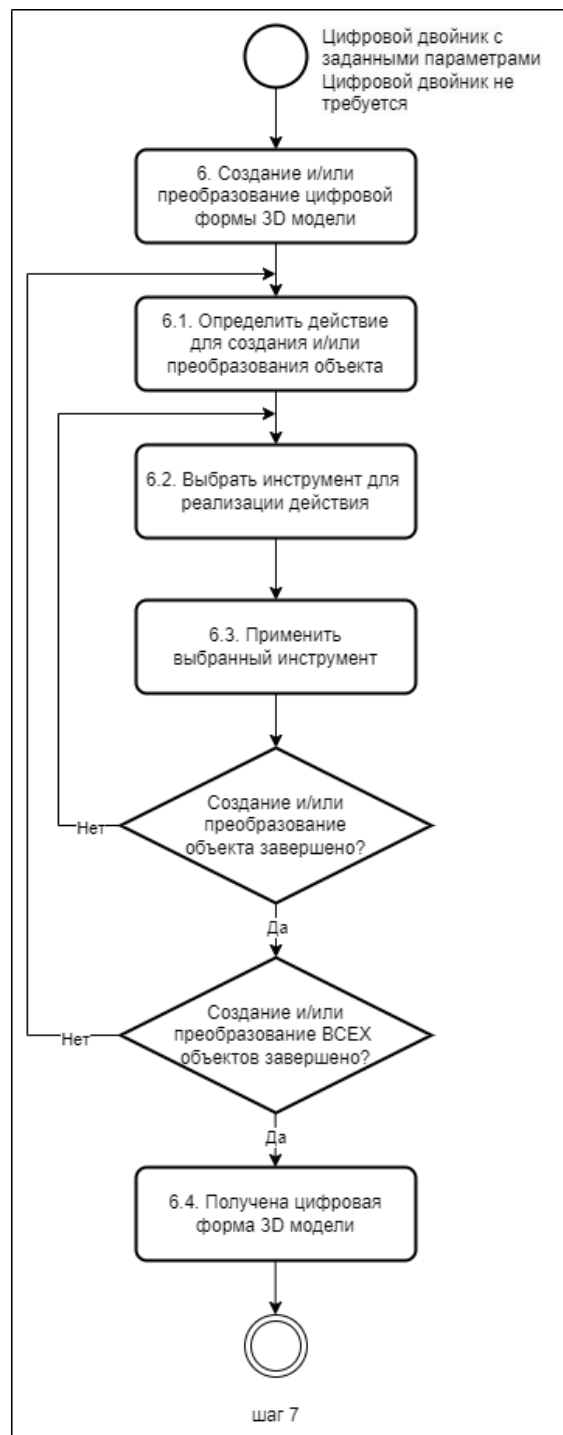


Рис. 6

После того как выбран способ создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели, определена необходимость использования цифрового двойника или ее отсутствие, заданы точные или приближенные параметры цифрового двойника и произведена его настройка, начинается работа над созданием и/или преобразованием цифровой формы 3D модели с помощью цифровой техники и инструментов программного обеспечения – 6 этап технологии «Создание и/или преобразование цифровой формы 3D модели» (рис. 6).

Работа по созданию и/или преобразованию цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма осуществляется с помощью объектов, имеющих в 3D редакторе и являющихся элементами, из которых создается форма. Для получения заданной цифровой формы 3D модели к каждому объекту в процессе создания/преобразования формы необходимо применить соответствующий инструмент, т. е. выполнить действие, в результате которого начальная форма изменится. Применение инструмента к выбранному объекту происходит до тех пор, пока заданная форма не будет достигнута.

Полученный результат следует подвергнуть анализу, а именно задать вопрос: «Соответствует ли полученный результат поставленным цели и задачам?», что является содержанием 7 этапа технологии – «Анализ полученного результата» (рис. 7).

Результат оценивается на соответствие представленным ниже критериям:

- корректность формализации художественного образа (показатели степени соответствия формы в целом, ее пластики, фактуры материала, пропорций частей от целого, пропорций частей относительно фигуры, степени прилегания, расположения конструктивных элементов, расположения конструктивно-декоративных и декоративных элементов исходному эскизу / замыслу / идее и т. д.);

- корректность выбора цифровой техники и программного обеспечения (показатели: доступность программного обеспечения; простота освоения объектно-инструментального содержания программного

обеспечения; степень соответствия объектно-инструментального содержания программного обеспечения решению поставленных задач; соответствие уровня трудоемкости уровню сложности поставленных задач);

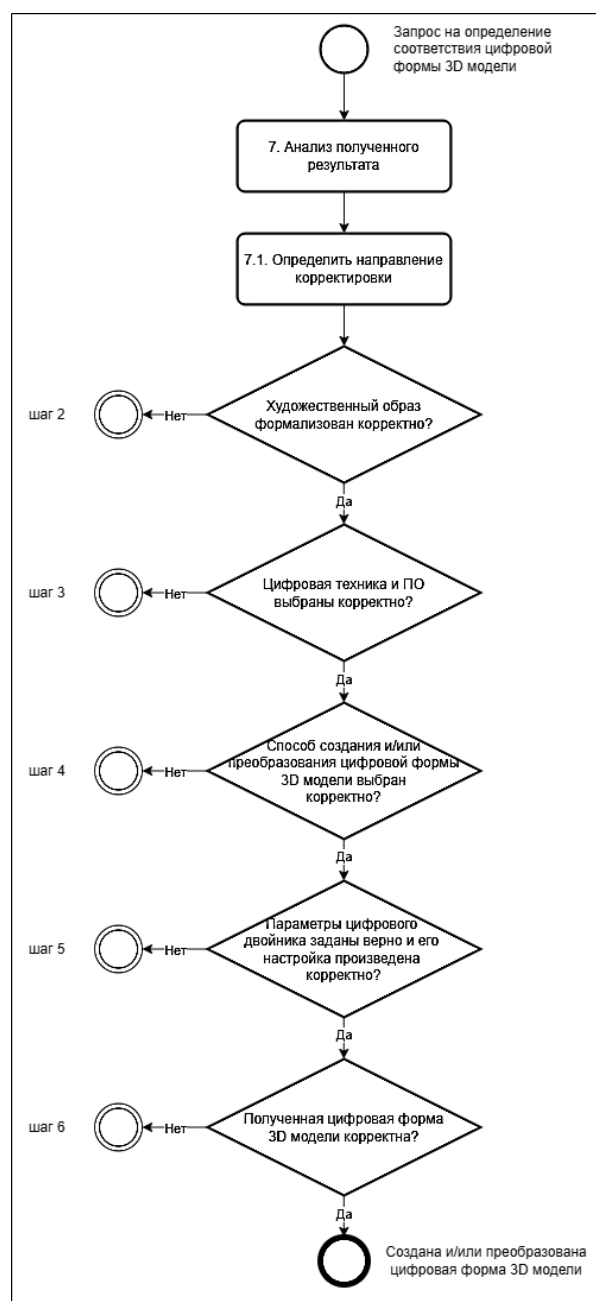


Рис. 7

- корректность выбранного способа («от 2D развертки деталей к 3D форме», «от 3D формы к 2D развертке деталей» и т.д.) создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели (показатели: степень соответствия способа цели создания 3D мо-

дели, соответствие способа решаемым задачам, соответствие способа выбранной цифровой технике и программному обеспечению);

– корректность задания параметров цифрового двойника и его настройки (показатели: определение необходимости использования цифрового двойника, соответствие размерных признаков цифрового двойника исходному набору размерных признаков фигуры, соответствие заданных параметров цифрового двойника исходному набору параметров формы фигуры);

– корректность полученной цифровой формы 3D модели (показатели степени соответствия визуального образа исходному художественному образу, такие как степень соответствия художественному замыслу, целостность, детализация, реалистичность 3D модели; показатели степени соответствия 3D модели цифровому двойнику в статике, такие как отсутствие горизонтальных, вертикальных и наклонных заломов, отсутствие складок и морщин, отсутствие угловых заломов, отсутствие балансовых нарушений, отвесность положения краев бортов полочек (для распашных плечевых изделий), отсутствие наклонных свободных складок на спинке от проймы или боковых швов, отвесность положения рукава, отсутствие горизонтальных свободных и напряженных складок на спинке под воротником, горизонтальность положения низа изделия (для поясных изделий), отсутствие излишнего отставания воротника от шеи сзади и сбоку, отсутствие излишнего прилегания воротника сзади к шее, отсутствие напряжения ткани внутри детали, отсутствие свободных складок в области талии полочки или спинки; показатели степени соответствия 3D модели цифровому двойнику в динамике, такие как отсутствие деформации материалов в деталях 3D модели, отсутствие критического значения давления ткани 3D модели на опорные поверхности цифрового двойника, горизонтальность положения низа 3D модели при размахе рук цифрового двойника, горизонтальность положения низа 3D модели при подъеме рук цифрового двойника; показатели степени соответствия конфигурации конструктив-

ных линий 3D модели 2D развертке деталей и соблюдение технологических приемов сборки: направление нити основы, сопряжение соединяемых деталей, отсутствие смещения монтажных надсечек, отсутствие растяжения и/или посадки срезов деталей, отсутствие искривления швов и краев 3D модели, соответствие прокладок и подкладки 3D модели).

Оценка полученного результата по каждому критерию определяется с использованием метода экспертной оценки. Для оценки каждого критерия разработаны единичные показатели соответствия с указанием их коэффициентов весомости. Для комплексной оценки качества достижения результата предложено использовать относительные показатели (5-балльная шкала оценки единичного показателя). Итоговые значения баллов по каждому единичному показателю суммируются, определяя величину балла по критерию в целом, где 5 – максимальный балл, 1 – минимальный балл. Таким образом, если полученный результат оценки каждого единичного показателя имеет максимальную оценку балльной шкалы, то считаем, что критерий полностью соответствует поставленной цели и задачам.

Если полученный результат не соответствует поставленным цели и задачам, то осуществляется определение направления корректировки и технология выполняется повторно с необходимого этапа.

Апробация формализованной авторами технологии создания цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма реализована на примере создания одежды цифрового костюма для персонажа компьютерной игры [29]. В соответствии с поставленной целью и задачами осуществлен сбор референсов и разработан мудборд, что позволило формализовать художественный образ создаваемой цифровой одежды персонажа. В соответствии с формализованным художественным образом выбраны программное обеспечение (Marvelous Designer для создания одежды) и способ создания («от 2D развертки деталей к 3D форме») цифровой одежды. Далее в программном

обеспечении ZBrush создан цифровой двойник – персонаж игры, а в программе Marvelous Designer путем создания контура по предварительно загруженному в программу изображению лекал требуемой одежды создана цифровая одежда. Полученный результат подвергнут анализу в соответствии с предложенными критериями оценки.

ВЫВОДЫ

В данной работе описана верхнеуровневая схема технологии создания цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма, предложены и рассмотрены способы создания и/или преобразования различных цифровых форм 3D моделей одежды.

Предложены критерии для экспертной оценки соответствия полученного результата – цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма – поставленным цели и задачам.

Рассмотренные теоретические положения создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма подтверждены практической реализацией на примере разработки цифровой одежды для персонажей компьютерных игр.

Практическая реализация технологии создания цифровой формы 3D модели одежды цифрового костюма позволила выделить следующие положения:

1. Технология создания различных цифровых форм 3D моделей одежды может быть единой вне зависимости от формы представления 3D модели и видов одежды, ее составляющих.

2. Выбор способа создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели находится в прямой зависимости от поставленной цели, решаемых задач и имеющихся цифровой техники и программного обеспечения.

3. Процесс создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели возможен с использованием цифрового двойника или без него.

4. Цифровой двойник для создания и/или преобразования цифровой формы 3D модели может быть задан и настроен инструментами программного обеспечения или посредством промпта (текстового описания или визуального представления).

5. Цифровая форма 3D моделей одежды может иметь различные характеристики объемно-пространственной структуры в зависимости от используемых цифровой техники и программного обеспечения.

6. Для создания цифровой одежды специалисту требуется владение специальным программным обеспечением, а наличие художественного образования или образования в области проектирования одежды в ряде случаев не является обязательным.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Särmäkari N.* Digital 3D Fashion Designers: Cases of Atacac and The Fabricant. *Fashion Theory*, 27(1), 85–114. – <https://doi.org/10.1080/1362704X.2021.1981657>.

2. *Rijmenam M.V.* Digital Fashion: The Next Frontier in Fashion. – <https://www.thedigitalspeaker.com/digital-fashion-next-frontier-fashion/>.

3. *Wang S., Qin S., Guan C.* Feature-Based Human Model for Digital Apparel Design, in *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 620...626, April 2014. – doi: 10.1109/TASE.2014.2300876.

4. *Zakaria N.* Digital Manufacturing Technology for Sustainable Anthropometric Apparel // 1st Edition, Cambridge, United Kingdom, Woodhead Publishing, 2022. 252p.

5. *Zhang Li & Zhou Wei & Chen Xiaoqi.* Digital Twins and Additive Manufacturing. – doi: 10.1007/978-3-031-11401-4_4.

6. *Zhihan Lv, Fersman E.* Digital Twins: Basics and Applications // Springer Cham, pp. 45-57, 18 November 2022. – doi: 10.1007/978-3-031-11401-4_4.

7. *Дементьева К.А., Жукова И.В., Кузьмичев В.Е.* Разработка цифрового двойника торса типовой женской фигуры для швейной промышленности // Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). Иваново, 2023. № 1. С. 636...638. – EDN GPZPNH.

8. *Суда В., Кузьмичев В.Е.* Новый алгоритм идентификации дефектов на виртуальных двойниках одежды // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 159...168. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_159. – EDN KELUWN.

9. *Yong-Jin L., Dong-Liang Z., Matthew Ming-Fai Y.* A survey on CAD methods in 3D garment design, *Computers in Industry*, Vol. 61, Issue 6, 2010, P. 576...593. ISSN 0166-3615. – doi.org/10.1016/j.com-pind.2010.03.007.

10. *McQuillan H.* Digital 3D design as a tool for augmenting zero-waste fashion design practice. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 13(1), 89–100. – <https://doi.org/10.1080/17543266.2020.1737248>.

11. *Choi K.* Modular Redesign Process Based on 3D Digital Technology for Upcycling Apparel Design, *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings* 80(1). – doi: <https://doi.org/10.31274/itaa.17108>.

12. *Петросова И.А., Шанцева О.А., Андреева Е.Г.* Оценка соответствия готовой одежды фигуре потребителя в трехмерной среде // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2017. № 5 (371). С. 139...142.

13. *Alzayat A., Hwan (Mark) Lee S.* Virtual products as an extension of my body: Exploring hedonic and utilitarian shopping value in a virtual reality retail environment, *Journal of Business Research*, Volume 130, 2021, Pages 348-363, ISSN 0148-2963. – <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.03.017>.

14. *Gill S., Januszkiewicz M., Ahmed M.* Digital fashion technology: A review of online fit and sizing. *Digital Manuf. Technol. Sustain. Anthropol. Appar.* 2022, 135–163.

15. *Kim S.E., Jung D., Ha J.* Evolution of trend perception in the fashion industry: Within a digital technology-driven landscape. *J. Fashion Des.* 2023, 23, 141–161.

16. *Mu X., Zhang H., Shi J. etc.* Fashion intelligence in the metaverse: Promise and future prospects. *Artif. Intell. Rev.* 2024, 57, 67.

17. *Sayem A.S.M.* Digital fashion innovations for the real world and metaverse. *Int. J. Fashion Des. Technol. Educ.* 2022, 15, 139–141.

18. *DuBreuil M., Lu S.* Traditional vs. big-data fashion trend forecasting: An examination using WGSN and EDITED. *Int. J. Fashion Des. Technol. Educ.* 2020, 13, 68–77.

19. *Rahman O., Hu D., Fung B.C.M.* A systematic literature review of fashion, sustainability, and consumption using a mixed methods approach. *Sustainability* 2023, 15, 12213.

20. *Kim M.* Understanding the evaluation of quality of experience for metaverse services utilizing text mining: A case study on Roblox. *J. Serv. Res. Stud.* 2023, 13, 160–172.

21. *Kim J.-Y., Lee S.-Y.* Analysis of meta fashion meaning structure using big data: Focusing on the keywords ‘metaverse’ + ‘fashion design’. *Korean Fashion Text. Res. J.* 2023, 25, 549–559.

22. *Гетманцева В.В.* Научные основы интеллектуализации виртуального проектирования конструкции и технологии изготовления одежды: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2020.

23. *Раздомахин Н.Н.* Теоретические основы и методическое обеспечение трехмерного проектирования одежды: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2004.

24. *Гусева М.А.* Совершенствование метода трехмерного проектирования элементов конструкции плечевой одежды: дис. ... канд. техн. наук. М., 2007.

25. *Гальцова Л.О.* Разработка метода трехмерного проектирования внешней формы изделия на типовые и индивидуальные фигуры: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012.

26. *Moskvin A.Yu., Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.* Shaping digital twins of tight-fitting clothes // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2023. No. 5(407). P. 138...147. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_138. – EDN QIHOXS.

27. *Сулейманова Е.А., Тихонова Н.В., Коваленко Ю.А.* Понятие «цифровой костюм» и сфера его применения // *Костюмология*. 2023. Т. 8. № 4. – URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL423.pdf>.

28. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения.

29. *Сулейманова Е. А. и др.* От идеи до реальности: процесс создания одежды для персонажа компьютерной игры // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2024. №5 (413). С. 13...19.

REFERENCES

1. *Särmäkari N.* Digital 3D Fashion Designers: Cases of Atacac and The Fabricant. *Fashion Theory*, 27(1), 85–114. – <https://doi.org/10.1080/1362704X.2021.1981657>.

2. *Rijmenam M.V.* Digital Fashion: The Next Frontier in Fashion. – <https://www.thedigitalspeaker.com/digital-fashion-next-frontier-fashion/>.

3. *Wang S., Qin S., Guan C.* Feature-Based Human Model for Digital Apparel Design, in *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 620-626, April 2014. – doi: 10.1109/TASE.2014.2300876.

4. *Zakaria N.* Digital Manufacturing Technology for Sustainable Anthropometric Apparel // 1st Edition, Cambridge, United Kingdom, Woodhead Publishing, 2022. 252p.

5. *Zhang Li & Zhou Wei & Chen Xiaoqi.* Digital Twins and Additive Manufacturing. – doi:10.1007/978-3-031-11401-4_4.

6. *Zhihan Lv, Fersman E.* Digital Twins: Basics and Applications // Springer Cham, pp. 45...57, 18 November 2022. – doi:10.1007/978-3-031-11401-4_4.

7. *Dementeva K.A., Zhukova I.V., Kuzmichev V.E.* Development of a digital twin of the trunk of a typical female figure for the garment industry // *Molodye uchenye – razvitiyu Nacional'noj tekhnologicheskoy iniciativy (POISK)*. Ivanovo, 2023. № 1. S. 636...638. – EDN GPZPNH.

8. *Sida V., Kuzmichev V.E.* New algorithm of defect identification on virtual clothing twins // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2022. № 2(398). P. 159...168. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_159. – EDN KELUWN.
9. *Yong-Jin L., Dong-Liang Z., Matthew Ming-Fai Y.* A survey on CAD methods in 3D garment design, *Computers in Industry*, Volume 61, Issue 6, 2010, Pages 576-593, ISSN 0166-3615. – doi.org/10.1016/j.compind.2010.03.007.
10. *McQuillan H.* Digital 3D design as a tool for augmenting zero-waste fashion design practice. *International Journal of Fashion Design, Technology and Education*, 13(1), 89–100. – https://doi.org/10.1080/17543266.2020.1737248.
11. *Choi K.* “Modular Redesign Process Based on 3D Digital Technology for Upcycling Apparel Design”, *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings* 80(1). – doi: https://doi.org/10.31274/itaa.17108.
12. *Petrosova I.A., Shantseva O.A., Andreeva E.G.* Assessment of a right size ready-to-wear clothes to the consumer's figure in the three-dimensional system // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2017. № 5(371). P. 139...142.
13. *Alzayat A., Hwan (Mark) Lee S.* Virtual products as an extension of my body: Exploring hedonic and utilitarian shopping value in a virtual reality retail environment, *Journal of Business Research*, Volume 130, 2021, Pages 348-363, ISSN 0148-2963, – https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.03.017.
14. *Gill S., Januszkiewicz M., Ahmed M.* Digital fashion technology: A review of online fit and sizing. *Digital Manuf. Technol. Sustain. Anthropol. Appar.* 2022, 135–163.
15. *Kim S.E., Jung D., Ha J.* Evolution of trend perception in the fashion industry: Within a digital technology-driven landscape. *J. Fashion Des.* 2023, 23, 141–161.
16. *Mu X., Zhang H., Shi J. etc.* Fashion intelligence in the metaverse: Promise and future prospects. *Artif. Intell. Rev.* 2024, 57, 67.
17. *Sayem A.S.M.* Digital fashion innovations for the real world and metaverse. *Int. J. Fashion Des. Technol. Educ.* 2022, 15, 139–141.
18. *DuBreuil M., Lu S.* Traditional vs. big-data fashion trend forecasting: An examination using WGSN and EDITED. *Int. J. Fashion Des. Technol. Educ.* 2020, 13, 68–77.
19. *Rahman O., Hu D., Fung B.C.M.* A systematic literature review of fashion, sustainability, and consumption using a mixed methods approach. *Sustainability* 2023, 15, 12213.
20. *Kim M.* Understanding the evaluation of quality of experience for metaverse services utilizing text mining: A case study on Roblox. *J. Serv. Res. Stud.* 2023, 13, 160–172.
21. *Kim J.-Y., Lee S.-Y.* Analysis of meta fashion meaning structure using big data: Focusing on the keywords ‘metaverse’ + ‘fashion design’. *Korean Fash. Text. Res. J.* 2023, 25, 549–559.
22. *Getmantseva V.V.* Scientific foundations of the intellectualization of virtual design of the design and technology of clothing manufacturing: PhD of Technical Sciences. M., 2020.
23. *Razdomakhin N.N.* Theoretical foundations and methodological support for three-dimensional clothing design: PhD of Technical sciences. St. Petersburg, 2004.
24. *Guseva M.A.* Improvement of the method of three-dimensional design of structural elements of shoulder clothing: PhD of Technical Sciences. M., 2007.
25. *Galtsova L.O.* Development of a method for three-dimensional design of the external shape of a product into standard and individual shapes: PhD of Technical Sciences. M., 2012.
26. *Moskvin A.Yu. Moskvina M.A., Kuzmichev V.E.* Shaping digital twins of tight-fitting clothes // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2023. No. 5(407). P. 138...147. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_5_138. – EDN QIHOXC.
27. *Suleymanova E.A., Tikhonova N.V., Kovalenko Yu.A.* «Digital look» definition and the field of its application. *Journal of Clothing Science.* 2023; 8(4): 07TLKL423. – https://kostumologiya.ru/PDF/07TLKL423.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).
28. GOST R 57700.37-2021. Computer models and modeling. Digital counterparts of products. General provisions.
29. *Suleymanova E.A.* From idea to reality: the process of clothing design for a computer game character // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2024. N5(413). P. 13...19.

Рекомендована кафедрой конструирования одежды и обуви КНИТУ. Поступила 07.10.24.