

УДК 687.016  
DOI 10.47367/0021-3497\_2021\_3\_106

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ  
ТИПОВЫХ РОССИЙСКИХ ФИГУР  
ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВИРТУАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ\***

**DESIGN OF SOLID DIGITAL TWINS  
OF TYPICAL RUSSIAN BODIES  
IMPROVING ASSESSMENT OF VIRTUAL CLOTHING QUALITY**

*И.В. ЖУКОВА, В.Е. КУЗЬМИЧЕВ*

*I.V. ZHUKOVA, V.E. KUZMICHEV*

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: iren932@gmail.com; wkd37@list.ru

*В статье представлены результаты проектирования твердотельных цифровых двойников российских типовых фигур. Определены основные принципы проектирования и новая исходная антропометрическая информация в виде новых размерных признаков. Приведен алгоритм генерирования твердотельного цифрового двойника типовой российской фигуры. Проведена сравнительная оценка разработанного цифрового двойника российской типовой фигуры с цифровыми двойниками, сгенерированными в зарубежных программах CLO3D и Rhinoceros.*

*The study presents the results related to generation of solid digital twins of the Russian typical male bodies. The basic principles of design and new anthropometric initial database in terms of body measurements were determined. The algorithm of solid-state digital twin generating of the Russian typical male bodies was proposed. The comparative assessment of developed virtual digital twin and the digital twins generated in programs CLO3D and Rhinoceros was carried out.*

---

\* Работа выполнена по гранту РФФИ и Ивановской области, номер проекта 20-47-370006.

**Ключевые слова:** мужская фигура, размерные признаки, цифровой двойник, цифровая среда, виртуальная примерка.

**Keywords:** Russian male body, measurements, digital twin, virtual reality, virtual try-on.

Использование цифровых технологий для совершенствования любой сферы человеческой деятельности стало привычным явлением. Цифровое проектирование одежды включает использование 2D-САПР для разработки плоских проектов (технические рисунки, чертежи деталей и др.) и их перевод в 3D-структурно-согласованную цифровую среду virtual reality (VR), которая становится исключительно важной в условиях кастомизации и быстрой сменяемости моды [1], [2]. Для оцифровывания объектов на традиционных этапах конструирования одежды необходимо подвергнуть переосмыслению содержание исходных баз данных и знаний относительно антропоморфных характеристик типовых фигур и их достаточности для генерирования реалистично выглядящих цифровых двойников систем "фигура-одежда". По причине несоответствия между содержанием баз данных о реальных фигурах и их цифровых двойниках результаты симуляции одежды в виртуальной среде могут отличаться от реальных примерок на манекенах типовых фигур, которые разрабатывают на основе размерных стандартов и данных о пространственной форме фигуры человека.

Интегрированные в существующие САПР-одежды параметрические модели аватаров не всегда точно описывают изменяющуюся морфологию человеческих фигур. Используемые в Российской Федерации программные продукты OptiTex, Gerber, Tex-Design, Julivi, Assyst и другие содержат цифровые двойники с иной морфологией, отличной от российской. Поэтому первой проблемой цифровизации процесса дизайна одежды является отсутствие, как минимум, следующих цифровых двойников, соответствующих действующей типологии российского населения: твердотельных цифровых двойников (ТЦД) с постоянными размерными признаками; мягкотельных цифровых двойников (МЦД) с изменяемыми размерными признаками,

которые необходимы для примерок и проектирования одежды с размерами, меньшими размеров ТЦД, в частности, компрессионной с заданными показателями сжатия мягких тканей под влиянием компрессии. Поэтому разработка цифровых двойников типовых российских фигур является актуальной.

Целью настоящей работы является разработка принципов проектирования цифровых двойников типовых российских мужских фигур на основе их цифровых клонов.

В качестве обучающей выборки были взяты 110 мужских фигур в возрасте от 18 до 30 лет без видимых отклонений антропоморфного телосложения. Сканирование фигур проводили с помощью бодисканера для трехмерного измерения тела INTALOR 3-D Scanning фирмы Human Solutions (Германия) в основной антропометрической позе согласно стандартам [3...6]. Для генерирования виртуальных клонов использовали программу "Anthroscan" (3D image processing software) [7]. Сформированная из фигур выборка имела следующие показатели:

- диапазон значений размерных признаков, см: рост Р - 165...193,9, обхват груди третий Ог<sub>3</sub> - 88,2...130,2, обхват талии От - 66...125, обхват бедер Об - 85,5...121;

- распределение фигур по полнотным группам согласно действующей типологии российского населения [8], %: 1 полнотная группа - 38, 2 полнотная группа - 46, 3 полнотная группа - 12, 4 полнотная группа - 4.

Главными задачами получения ТЦД являются их правильная ориентация в декартовой системе координат и повторение пластики реальной фигуры. Поэтому генерирование ТЦД было разбито на два этапа: определение минимального количества точек, достаточных для постановки каркаса фигуры в пространстве, и генерирование множества точек путем наполнения каркаса сечениями.

Для определения минимального количества точек виртуальные клоны параметризовали с помощью проекционных размерных признаков. На рис. 1 показаны точки и размерные признаки, измеренные на профильных проекциях виртуальных клонов, с помощью которых можно контролировать их положение в пространстве: центр тяжести по методу Н.М. Трухана [9] (а), угол

пространственной ориентации фигуры (б), положение корпуса ( $\Pi_k$ ) или идентичный ему признак "Расстояние от вертикальной плоскости до точки основания шеи сзади" в программе "Anthroscan" (в), глубины талии первая ( $\Gamma_{т1}$ ) и вторая ( $\Gamma_{т2}$ ) или идентичные им признаки "Расстояние от вертикальной плоскости до задней точки на линии обхвата талии" (г).

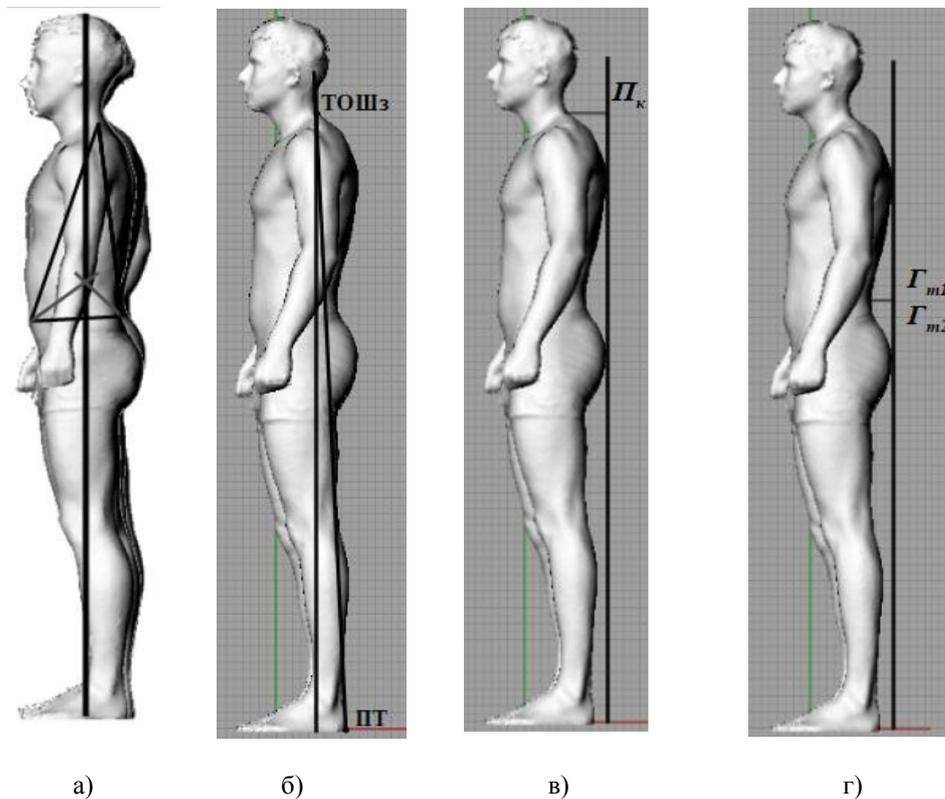


Рис. 1

Центр тяжести каждого клона находили на его профильной проекции путем пересечения биссектрис углов треугольника, вершинами которого являлись антропометрические точки: седьмой шейный позвонок, выступающая точка живота и задняя точка в месте пересечения заднего контура спины и уровня линии талии (рис.1-а). Вертикаль через центр тяжести использовали как будущее место точек для последующей разметки горизонтальных сечений по высоте цифрового клона.

Параллельно были измерены проекционные размерные признаки относительно точек, принадлежащих заднему контуру фигуры. Угол пространственной ориентации фигуры  $У_{\text{поф}}$  измеряли между перпен-

дикулярном, опущенным из местоположения седьмого шейного позвонка (ТОШз) к плоскости стояния фигуры, и наклонной линией, соединяющей седьмой шейный позвонок и крайнюю пяточную точку (ПТ) (рис.1-б). Диапазон его изменения составил 0,45 до 3,82 град. Значения всех измеренных размерных признаков приведены в табл. 1.

С помощью этих размерных признаков в трехмерном пространстве можно определить координаты следующих точек будущего каркаса ТЦД: седьмой шейный позвонок, выступающая точка лопаток, задняя точка по линии талии, ягодичная и пяточная точки.

Размерный признак, единица измерения	Значение размерного признака для номера полнотной группы			
	1	2	3	4
$P_k$ , см	$5,9 \pm 2,5$	$6,6 \pm 2,0$	$5,5 \pm 1,65$	$5,7 \pm 1,9$
$\Gamma_{т1}$ , см	$4,7 \pm 2,8$	$5,6 \pm 4,0$	$4,3 \pm 1,9$	$3,8 \pm 2,2$
$\Gamma_{т2}$ , см	$7,65 \pm 3,05$	$7,55 \pm 3,65$	$7,6 \pm 2,5$	$8,25 \pm 1,25$
$У_{\text{поф}}$ , град	$1,08 \pm 0,63$	$2,3 \pm 0,26$	$1,9 \pm 0,42$	$3,27 \pm 0,55$

Для нахождения множества точек на поверхности будущего каркаса типовой фигуры каждый цифровой клон рассекали горизонтальными сечениями, начиная от низа и заканчивая уровнем верхушечной точки с шагом 2 см в программе Rhinoceros. Для каждого клона получали от 82 до 96 сечений. Полученные на каждом уровне сече-

ния совмещали в общем центре тяжести для их усреднения. На рис. 2 показаны примеры совмещенных сечений в общем центре тяжести, принадлежащем перпендикуляру из центра тяжести фигуры (рис.1-а), и их усредненные сечения на уровнях груди (а), талии (б) и бедер (в).

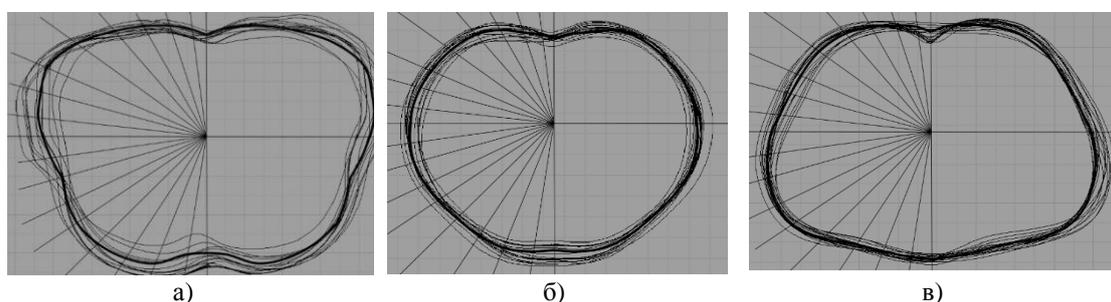


Рис. 2

Чтобы получить усредненное сечение для фигуры каждой полнотной группы, множества сечений обрабатывали следующим образом [9]. Из центра тяжести проводили лучи с шагом в 10 град, вдоль которых измеряли расстояния от центра до контура сечения. Используя средние значения длин лучей, строили усредненные сечения.

Из полученных 82...96 сечений формировали каркасы ТЦД из сплайнов первого, второго и третьего порядков, удовлетворяющих требованиям непрерывности, непрерывности касательной и непрерывности второй производной (кубический сплайн). Поскольку поверхность ТЦД является сложным объектом, то для ее создания использовали все три типа NURBS поверхности. На рис. 3 показан пример каркаса, разработанного по усредненным сечениям в программе Rhinoceros (а), и поверхность ТЦД второй полнотной группы, рост 182 см (б).

В качестве критериев качества проектирования ТЦД были взяты минимальные от-

клонения между размерными признаками типовых фигур и соответствующими им измерениям ТЦД.

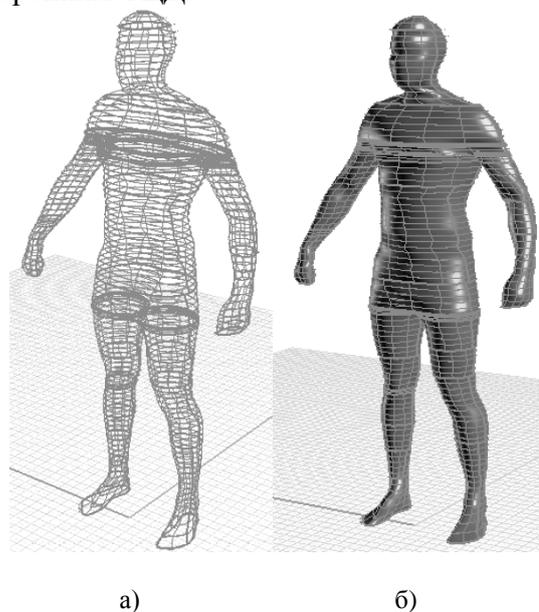


Рис. 3

Рассмотрим пример проверки разработанного ТЦД на примере мужской фигуры

второй полнотной группы (рост – 182,  $O_{г3}$  – 100,  $O_{т}$  – 84). Проверку проводили путем сравнения двух цифровых двойников, сгенерированных по следующим схемам:

1) первый цифровой двойник ТЦД1 генерировали в программе Rhinoceros на основе описанного разработанного алгоритма с использованием всей совокупности размерных признаков российской типовой фигуры [8] и дополнительных горизонтальных сечений и проекционных измерений (рис.1...3, табл.1);

2) второй цифровой двойник ТЦД2 генерировали в программе CLO-3D путем модификации существующего аватара из библиотеки программы в соответствии с размерными признаками типовой фигуры [8]: 12 обхватов (груди третий  $O_{г3}$ , груди четвертый  $O_{г4}$ , талии  $O_{т}$ , бедер  $O_{б}$ , шеи  $O_{ш}$ , плеча  $O_{п}$ , предплечья  $O_{пп}$ , запястья  $O_{зап}$ , бедра  $O_{бед}$ , колена  $O_{к}$ , икроножной

мышцы  $O_{и}$ , щиколотки  $O_{щ}$ ) и трех высот (линии талии  $В_{лт}$ , коленной точки  $В_{к}$ , точки основания шеи сбоку  $В_{тош}$ ). Выбор именно этих размерных признаков обусловлен ограничениями, имеющимися в программе CLO-3D

Оба ТЦД имели следующие одинаковые показатели: (1) рост, перечисленные обхваты и высоты; (2) форма спины – нормальная; (3) проекционные размерные признаки, см [12]: положение корпуса  $8,1 \pm 1,0$ , высота плеч  $6,4 \pm 0,75$ . Другие размерные признаки не совпадали.

На рис. 4 представлены оба ТЦД (а, б), их горизонтальные сечения на уровне  $O_{г3}$  (в) и измерения ширины груди и спины (г), а также вертикальные сечения через точку основания шеи сбоку ( $ТОШс$ ) до уровня линии талии в программе Rhinoceros (1) и CLO 3D (2) (д).

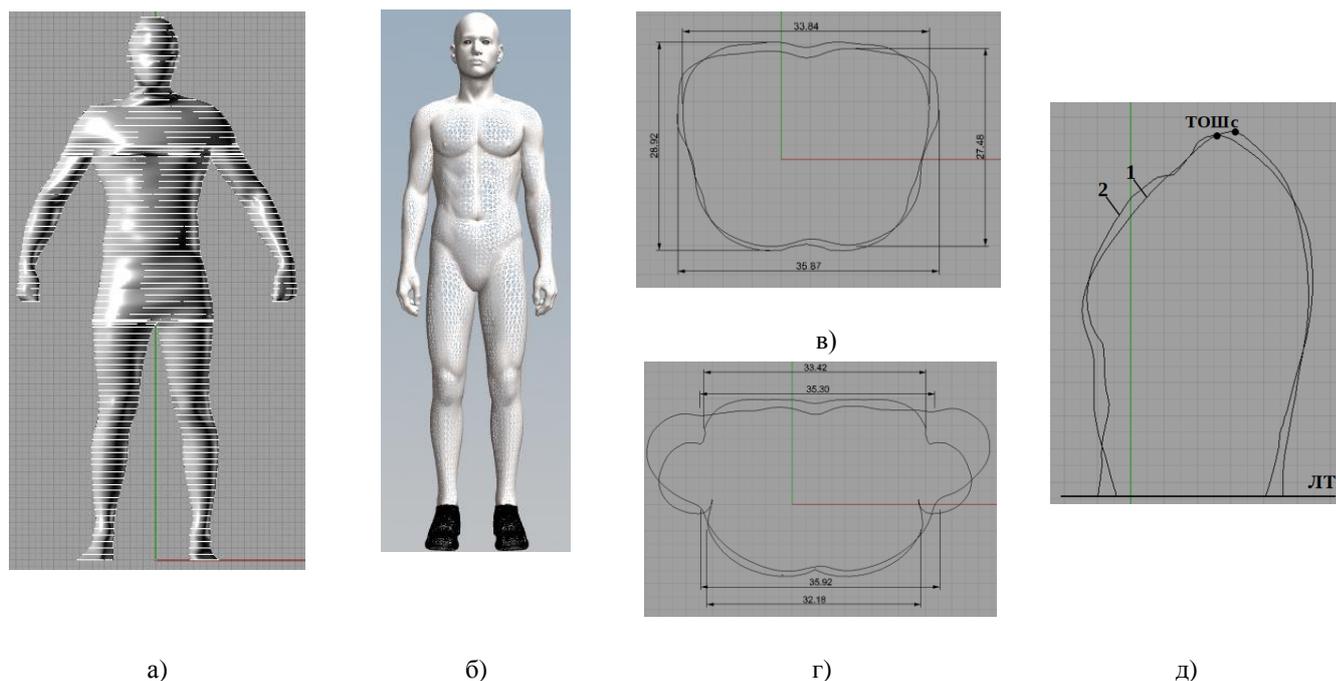


Рис. 4

Из рис. 4-в,г видно, что на уровнях обхватов груди, талии и бедер поперечные и переднезадние диаметры сравниваемых ТЦД не равны друг другу. У ТЦД1 на уровне  $O_{г3}$  поперечный диаметр больше переднезаднего, а горизонтальное сечение имеет эллипсообразный вид. Подобное со-

четание соотношений диаметров характерно для морфологии российских фигур. У ТЦД2 переднезадний диаметр почти равен поперечному и по внешнему виду соответствует окружности. Невозможность воспроизведения нужного сечения ограничено возможностями программы: изменение об-

хватов происходит посредством передвижения рычагов по заложенному алгоритму, который разработан на основе корреляционных зависимостей, не характерных для российской типологии.

Вертикальные сечения в средней сагитальной плоскости также имеют отличия для обоих ТЦД. Из рис. 4-д видно, что отличия существуют в длинах участков переднезадней дуги фигуры, измеряемой между линиями талии спереди и сзади через точку основания шеи ТОШ. Такие соотношения между диаметрами влияют на ширину груди и спины и впоследствии могут

привести к дефектам посадки виртуальной одежды.

Таким образом, имеются значительные отличия между двумя сгенерированными в разных программах ТЦД. Естественно, что такие различия приведут к возникновению разных по величине воздушных зазоров и отразятся на реалистичности виртуальной одежды.

В табл. 2 приведены абсолютные значения разностей между величинами измерений ТЦД1 и ТЦД2 и приведено допустимое отклонение по действующему стандарту [8].

Т а б л и ц а 2

Параметры	Места измерения размерных признаков					
	на уровне обхвата груди третьего		на уровне		дуга верхней части туловища через точку основания шеи сбоку	
	диаметр поперечный	диаметр переднезадний	ширины спины	ширины спины	спереди	сзади
	дп	дп-з	Шг	Шс	Дтп1	Дтс1
Разница между измерениями ТЦД1 и ТЦД2	2,03	1,44	3,2	1,8	1,4	0,6
Допустимое отклонение [8]	-	-	1,4	1,0	0,7	0,2

Видно, что разность между ТЦД1, который можно рассматривать в качестве эталонного российской типовой фигуры, и ТЦД2, сгенерированного в доступной программе с частичным использованием размерных признаков типовой фигуры, значительно превышают величины допустимых отклонений. Поэтому использование ТЦД2 при выполнении виртуальной примерки одежды для российского потребителя нецелесообразно.

При выполнении симуляции виртуальной одежды на ТЦД1, разработанном с учетом антропоморфных особенностей российского населения, предпочтительней, так как это снизит количество дефектов, возникающих из-за несоответствия параметрам фигуры, и тем самым повысит качество цифровой посадки.

Все цифровые клоны 110 фигур и разработанные ТЦД параметризованы и представлены трехмерными объектами в формате \*.obj, что позволяет легко интегриро-

вать их в любой САПР общего и специального назначения и проводить виртуальную примерку одежды на цифровых двойниках фигур российских потребителей.

## В Ы В О Д Ы

1. Созданы цифровые двойники мужских типовых российских фигур.
2. Разработаны принципы проектирования цифровых двойников типовых российских фигур на основе новой антропометрической информации, включающей горизонтальные и вертикальные сечения, а также угол пространственной ориентации фигуры.
3. Показано, что использование цифровых аватаров из программы CLO-3D в качестве цифровых двойников российских типовых фигур не позволяет воспроизвести все морфологические особенности и не гарантирует воспроизведения условий реальной примерки.

1. Кузьмичев В.Е. Цифровые технологии в дизайне одежды: ожидания VS реальность / Мультиканальная платформа Индустрии Моды [Электронный ресурс]. <https://e-mm.ru> (дата обращения 14.11.2019).
2. Блюм В.С., Килимова А.Д. Проблемы и пути цифровизации легкой промышленности // Актуальные проблемы экономики и управления. – С-П, 2019, №4. С. 33...39.
3. ISO 7250-1:2017 Basic human body measurements for technological design — Part 1: Body measurement definitions and landmarks [Электронный ресурс]. ISO. [сайт]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/65246.html> (дата обращения 04.10.2019)
4. ISO/TR 7250-2:2010 Basic human body measurements for technological design — Part 2: Statistical summaries of body measurements from national populations [Электронный ресурс]. ISO. [сайт]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/41249.html> (дата обращения 04.10.2019).
5. ISO 20685-1:2018 3D-scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases — Part 1: Evaluation protocol for body dimensions extracted from 3D-body scans [Электронный ресурс]. ISO. [сайт]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/63260.html> (дата обращения 04.10.2019).
6. ISO 20685-2:2015 Ergonomics – 3D-scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases — Part 2: Evaluation protocol of surface shape and repeatability of relative landmark positions [Электронный ресурс]. ISO. [сайт]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/63261.html> (дата обращения 04.10.2019).
7. <https://www.transmetall.ru/articles/?ID=409271> (дата обращения 10.01.2020).
8. Типовые фигуры мужчин. Размерные признаки для проектирования одежды. – М: ОАО "ЦНИИШП", 2005.
9. Кузьмичев В.Е., Жукова И.В., Гниденко А.В., Ли Ю. Методика обработки оцифрованных изображений фигур и одежды // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, №1. С.90...93.
10. <https://www.rhino-3d.ru/> (дата обращения 10.01.2020).
11. <https://www.clo3d.com/> (дата обращения 10.01.2020).
12. Дунаевская Т.Н., Кобляков Е.Б., Ивлева Г.С., Ивлева Р.В. Основы прикладной антропологии и биомеханики / Под ред. Е.Б. Кобляковой. – С-Пб.: Инф.-изд. центр МГУДТ, 2005.
1. Kuz'michev V.E. Tsifrovyye tekhnologii v dizayne odezhdyy: ozhidaniya VS real'nost' / Mul'tikanal'naya platforma Industrii Mody [Elektronnyy resurs]. <https://e-mm.ru> (data obrashcheniya 14.11.2019).
2. Blyum V.S., Kilimova A.D. Problemy i puti tsifrovizatsii legkoy promyshlennosti // Aktual'nye problemy ekonomiki i upravleniya. – S-P, 2019, №4. S.33...39.
3. ISO 7250-1:2017 Basic human body measurements for technological design — Part 1: Body measurement definitions and landmarks [Elektronnyy resurs]. ISO. [sayt]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/65246.html> (data obrashcheniya 04.10.2019)
4. ISO/TR 7250-2:2010 Basic human body measurements for technological design — Part 2: Statistical summaries of body measurements from national populations [Elektronnyy resurs]. ISO. [sayt]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/41249.html> (data obrashcheniya 04.10.2019).
5. ISO 20685-1:2018 3D-scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases — Part 1: Evaluation protocol for body dimensions extracted from 3D-body scans [Elektronnyy resurs]. ISO. [sayt]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/63260.html> (data obrashcheniya 04.10.2019).
6. ISO 20685-2:2015 Ergonomics – 3D-scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases — Part 2: Evaluation protocol of surface shape and repeatability of relative landmark positions [Elektronnyy resurs]. ISO. [sayt]. [2019]. URL:<https://www.iso.org/standard/63261.html> (data obrashcheniya 04.10.2019).
7. <https://www.transmetall.ru/articles/?ID=409271> (data obrashcheniya 10.01.2020).
8. Tipovyye figury muzhchin. Razmernyye priznaki dlya proektirovaniya odezhdyy. – M: OAO "TsNIISHP", 2005.
9. Kuz'michev V.E., Zhukova I.V., Gnidenko A.V., Li Yu. Metodika obrabotki otsifrovannykh izobrazheniy figur i odezhdyy // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2007, №1. S.90...93.
10. <https://www.rhino-3d.ru/> (data obrashcheniya 10.01.2020).
11. <https://www.clo3d.com/> (data obrashcheniya 10.01.2020).
12. Dunaevskaya T.N., Koblyakov E.B., Ivleva G.S., Ivleva R.V. Osnovy prikladnoy antropologii i biomekhaniki / Pod red. E.B. Koblyakovoy. – S-Pb.: Inf.-izd. tsentr MGUDT, 2005.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий. Поступила 17.05.21.