

УДК 687.016

DOI 10.47367/0021-3497_2021_4_139

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЯГКОТЕЛЬНЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ ДВОЙНИКОВ
ТИПОВЫХ РОССИЙСКИХ ФИГУР
ДЛЯ ПРИМЕРКИ КОМПРЕССИОННОЙ ОДЕЖДЫ***

**DESIGNING OF DEFORMABLE DIGITAL TWINS
OF TYPICAL RUSSIAN WOMEN BODIES
FOR COMPRESSION CLOTHES VIRTUAL TRY-ON**

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 мягкотельного цифрового двойника российской женской типовой фигуры. Определены исходная антропометрическая информация и алгоритм его генерирования. Выполнено генерирование цифровых двойников при разных условиях сжатия ее мягких тканей компрессионной одеждой.

The article presents the results of deformable digital twins of typical Russian women body designing. The initial anthropometric data and algorithm of its generation were determined. The digital twins were generated under different compressive conditions of its soft fabric by compression garments.

Ключевые слова: российская женская фигура, размерные признаки, деформация фигуры, цифровой двойник, цифровая среда.

Keywords: Russian women body, measurements, compression, deformable digital twin, virtual reality.

Компьютерное моделирование применяют для разработки одежды разной степени сложности. Благодаря возможностям современных программ виртуальных примерок появляется реальная возможность проектирования эргономичных изделий,

избегая дорогостоящих экспериментов. Рынок клиентов, использующих при проектировании одежды виртуальные манекены, растет на 20...30% ежегодно [1]. Однако из-за отсутствия мягкотельных цифровых двойников типовых фигур (МЦД) пока

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

сложно проектировать компрессионную одежду, размеры которой меньше размеров манекена. Проектирование цифровых двойников фигуры человека основано на следующих базах данных: в виде антропометрических измерений и набора сечений [2]; в виде трехмерных сканов (цифровых клонов) [3...5]. Для проектирования МЦД необходима дополнительная антропометрическая база данных, которая, помимо перечисленных вариантов, должна содержать информацию о сжимаемости мягких тканей под влиянием компрессионного давления и изменении в сжатом состоянии размерных признаков.

Целью настоящей работы является разработка принципов проектирования МЦД на основе цифровых клонов типовых женских фигур.

Объектами исследования служили 50 женщин в возрасте от 18 до 26 лет, без видимых отклонений антропоморфного телосложения, со следующими размерными признаками, см: рост Р - 156,3...173,7, обхват груди третий Огз- 80,2...108,3, обхват талии От - 56,2...83,4, обхват бедер Об - 79,5...104,6. Фигуры распределены по полнотным группам следующим образом [6], %: нулевая - 20, первая - 26, вторая - 42, третья - 12.

В качестве средств исследования были взяты бодисканер INTAILOR 3-D Scanning фирмы Human Solutions (Германия) и компьютерная программа Rhinoceros.

Деформацию фигур с целью изменения их пластики, то есть моделирование процесса превращения твердотельного двойника в мягкотельный, осуществляли в области талии как наиболее подверженной изменению под влиянием компрессионного давления одежды следующими способами:

- естественное максимально возможное вытягивание живота (в дальнейшем использован символ ж),

- утягивание неэластичным поясом шириной 14 см (символ п),

- утягивание корсетом (символ к).

Утягивание фигуры проводили до достижения максимально возможных значений деформации мягких тканей, определяемой по реакции носчиков.

Размерные признаки фигур – в исходном и деформированном состояниях – измеряли бодисканером в антропометрической позе согласно стандартам [7...10].

Механизм трансформации торса исходной фигуры в деформированную был описан следующими размерными признаками: обхватом талии и высотой выступающей точки грудных желез. Эти размерные признаки наиболее сильно изменяются при деформации фигуры компрессионной одеждой.

Величины деформации фигур рассчитывали по формулам:

$$\delta_i = (O_{Ti} - O_T) \cdot 100 / O_T, \quad (1)$$

где O_T – обхват талии исходной фигуры, см; O_{Ti} – обхват талии деформированной фигуры, см;

$$Z_i = (V_{sti} - V_{стф}) \cdot 100 / V_{стф}, \quad (2)$$

где $V_{ст}$ – высота выступающей точки грудных желез исходной фигуры, см; V_{sti} – высота выступающей точки грудных желез точки деформированной фигуры, см.

Относительные данные изменения этих размерных признаков приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Полнотная группа	Величина деформации обхвата талии, %			Величина перемещения выступающей точки грудных желез, %		
	дж	дп	дк	Zж	Zп	Zк
0	0,6...2,3	1,1...3,9	2,5...5,2	0,1...1,1	1,1...1,9	2,0...3,0
1	0,7...2,5	2,4...4,6	4,8...6,8	0,3...1,3	1,3...2,3	2,2...3,4
2	0,8...2,7	2,7...5,0	5,2...9,8	0,5...1,5	1,4...2,4	2,4...3,6
3	0,9...2,9	3,0...6,2	7,8...11,1	0,6...1,8	1,5...2,5	2,5...4,0

Установлено, что с увеличением номера полнотной группы, то есть при увеличении объема мышечно - жировой ткани, величины принудительного уменьшения обхвата талии изменяются для всех выбранных средств деформирования (естественного и компрессионного): с увеличением полнотной группы с нулевой до четвертой деформация (утяжка) увеличивается в 1,2...2,1 раза. Максимальные значения перемещения выступающей точки грудных желез имеют место при использовании корсета и составляют 3,0...4 %.

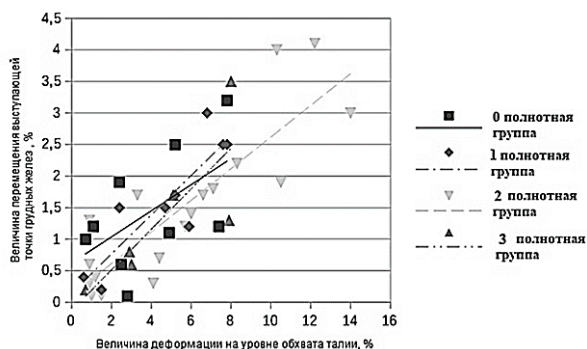


Рис. 1

Чтобы спрогнозировать перемещение основных точек грудных желез, исследовали зависимости между изменением обхвата талии и высотой выступающей точки грудных желез. Зависимости на рис. 1 (графики зависимости между величинами деформации талии и перемещения выступающей точки грудных желез точки для женских фигур) отражают закономерности изменения пластики фигур каждой полнотной группы. Видно, что с увеличением деформации талии выступающая точка грудных желез перемещается вверх. Наиболее ярко такая зависимость выражена для фигуры второй полнотной группы.

На рис. 2 (схемы работы с профильными проекциями виртуальных клонов: а – угла пространственной ориентации фигуры $У_{\text{поф}}$; б – положения корпуса Пк; в – глубины талии первой Γ_{T1} и второй Γ_{T2}) показаны схемы параметризации профильных проекций виртуальных клонов женских фигур, результаты которой необходимы для правильной ориентации в пространстве МЦД. В качестве регуляторов выбраны проекционные признаки: 1) угол пространственной ориентации фигуры $У_{\text{поф}}$, измеряемый между перпендикуляром, опущенным из местоположения седьмого шейного позвонка (ТОШЗ) к площади стояния фигуры, и наклонной линией, соединяющей седьмой шейный позвонок и крайнюю пятую точку (ПТ), 2) положение корпуса Пк, 3) глубины талии первая Γ_{T1} и вторая Γ_{T2} (в). Результаты измерений проекционных размерных признаков представлены в табл. 2.

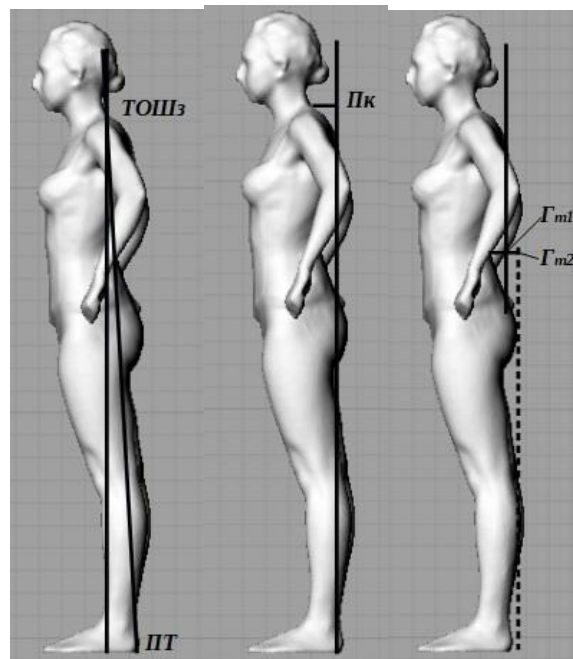


Рис. 2

Т а б л и ц а 2

Размерный признак	Значение размерного признака для полнотной группы			
	0	1	2	3
Пк, см	5,45±0,85	6,25±0,95	5,35±1,75	5,85±0,45
Γ_{T1} , см	5,4±1,8	3,85±1,35	4,45±1,95	4,55±0,5
Γ_{T2} , см	5,9±0,9	7,1±2,0	6,9±1,7	4,2±1,6
$У_{\text{поф}}$, град	1,28±0,19	2,03±0,32	1,99±0,23	2,71±0,63

Перечисленные признаки наряду с указанными в стандарте [5] составили новую антропометрическую базу данных для генерирования МЦД.

Генерирование МЦД включало построение каркаса и моделирование поверхности с учетом различных компрессионных условий в программе Rhinoceros. Каркас поверхности МЦД получали из сечений на ос-

новных (груди, талии, бедер) и дополнительных уровнях с шагом 2 см [11]. Построение поверхности цифровых клонов и ее аппроксимация выполнена с применением трехмерных сплайн-поверхностей: контрольные точки на сплайн-поверхностях располагали таким образом, чтобы наиболее точно повторить поверхность цифровых клонов [12].

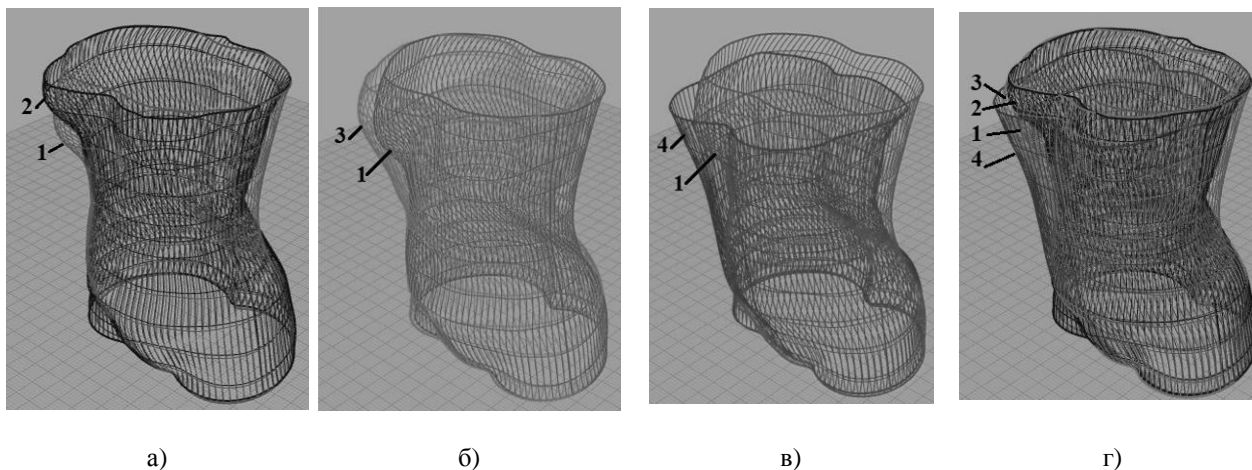


Рис. 3

На рис. 3 показаны поверхности торсов цифровых клонов женской фигуры второй полнотной группы при различных условиях сжатия мягких тканей. На рис. 3 приняты следующие обозначения: исходная фигура 1; втягивание живота 2 (а); утягивающий

пояс 3 (б); корсет 4 (в); совмещенные клоны (г). Видно, что при исследованных схемах деформации по-разному изменяются пластика и конфигурация контура поверхности женской фигуры.

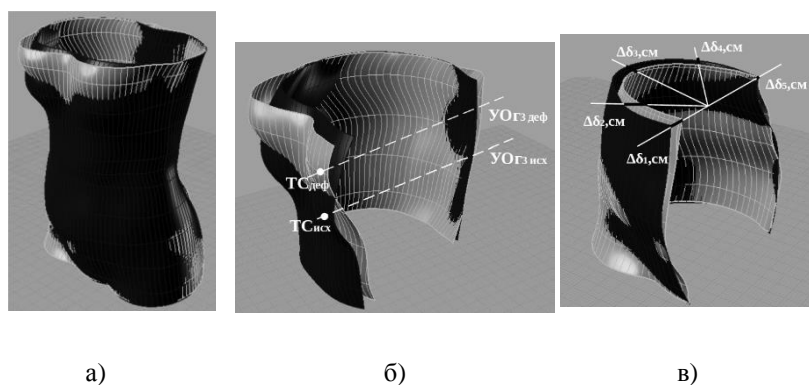


Рис. 4

Генерирование поверхности торса МЦД выполняли на основании установленных зависимостей на рис. 1 посредством перестроения исходной поверхности с использованием подхода искусственного интеллекта. Новую поверхность МЦД "притяги-

вали" к ней точкам исходной поверхности ТЦД, моделируя таким образом деформацию необходимых участков. Процесс "притягивания" точек от твердотельной к мягкой поверхности происходит по нормали между ними. На рис. 4 показан вари-

ант деформации ТЦД в мягкотельный МЦД под влиянием компрессии: а – внешний вид совмещенных поверхностей ТЦД (1) и МЦД (2); б – перемещение точек поверхности на уровне обхвата груди; в – перемещение точек поверхности на уровне обхвата талии.

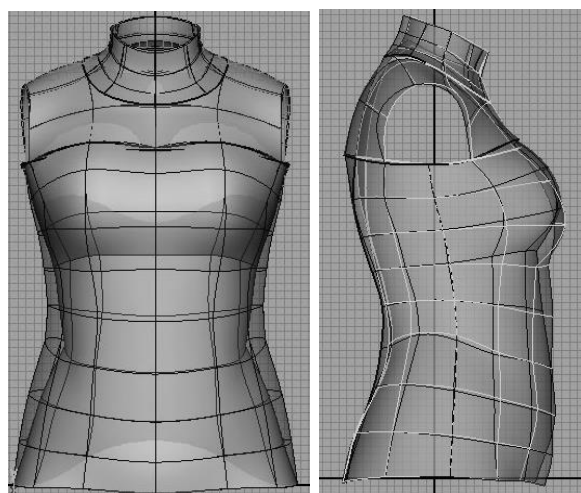
При трансформации ТЦД точки его поверхности (ТСисх) на уровне обхвата груди

третьего (УОг_{зисх}) смещаются вверх до нового уровня (УОг_з деф), а точки в области обхвата талии смещаются к конструктивному центру фигуры на величину сжатия ($\Delta\delta$). Для цифровых клонов второй полнотной группы экспериментально измеренные величины перемещения точек в области талии представлены в табл. 3 (единица измерения – сантиметр).

Т а б л и ц а 3

$\Delta\delta_1$	$\Delta\delta_2$	$\Delta\delta_3$	$\Delta\delta_4$	$\Delta\delta_5$
2,2±0,4	1,9±0,25	1,4±0,3	0,25±0,05	0,05±0,02

На рис. 5 представлен окончательный результат трансформации ТЦД в МЦД при максимальной деформации мягких тканей женской фигуры исходного размерного варианта, см: Р -164; Ог3 - 92; Об - 98.



а) б)
Рис. 5

При проектировании МЦД типовых российских фигур можно использовать существующие базы сканированных индивидуальных фигур. Все исследованные цифровые мягкотельные цифровые двойники типовых фигур представлены в формате *.obj, что позволяет легко их интегрировать в любой САПР общего и специального назначения.

ВЫВОДЫ

Определены основные принципы проектирования мягкотельных цифровых двойников российских женских типовых фигур

на основе новой исходной информации, включающей размерные признаки фигур и величины их деформации под влиянием компрессионного давления в области талии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тушкин И. Виртуальные манекены: расширение функциональности [Электронный ресурс]. <https://zoom.cnews.ru/> (дата обращения 11.04.2020).
2. Sheng Fuu Lin, Shih-Che Chien. Create a Virtual Mannequin Through the 2-D Image-based Anthropometric Measurement and Radius Distance Free Form Deformation // International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA). – Vol. 2. Is.4, 2011.
3. Тутова А.А., Петросова И.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Особенности построения трехмерной модели манекена для одежды по данным трехмерного сканирования // Современные проблемы науки и образования. – 2015, № 2-1.
4. Петросова И.А. Разработка методологии проектирования внешней формы одежды на основе трехмерного сканирования: Дис. ... докт. техн. наук. – М.: МГУДТ, 2014.
5. Кузнецова, А.В., Кузьмичев В.Е. Совершенство проектирования манекенов фигур типового телосложения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, № 1. С. 99...104.
6. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды. – М.: ОАО "ЦНИИШП", 2003.
7. 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)
8. 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).

9. 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).

10. 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).

11. Сахарова Н.А., Жукова И.В. Преимущества использования современных технологий 3D-сканирования для генерирования виртуальных манекенов фигур // Сб. научн. ст. 3-й Междунар. научн. конф. перспективных разработок молодых ученых: Наука молодых – будущее России. – В 6 томах. – Курск, 2018. С. 327...330.

12. Тисленко И.В. Разработка метода проектирования компрессионной трикотажной одежды: Дис. ... канд. техн. наук. – Иваново: ИВГПУ, 2018.

REFERENCES

1. Tishkin I. Virtual'nye manekeny: rasshirenie funktsional'nosti [Elektronnyy resurs]. <https://zoom.cnews.ru/> (data obrashcheniya 11.04.2020).

2. Sheng Fuu Lin, Shih-Che Chien. Create a Virtual Mannequin Through the 2-D Image-based Anthropometric Measurement and Radius Distance Free Form Deformation // International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA). – Vol. 2. Is.4, 2011.

3. Tutova A.A., Petrosova I.A., Guseva M.A., Andreeva E.G. Osobennosti postroeniya trekhmernoj modeli manekena dlya odezhdy po dannym trekhmernogo skanirovaniya // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015, № 2-1.

4. Petrosova I.A. Razrabotka metodologii proektirovaniya vneshney formy odezhdy na osnove trekhmernogo skanirovaniya: Dis. ... dokt. tekhn. nauk. – М.: MGUDT, 2014.

5. Kuznetsova, A.V., Kuz'michev V.E. Sovershenstvovanie proektirovaniya manekenov figur tipovogo teloslozheniya // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2012, № 1. С. 99...104.

6. Tipovye figury zhenshchin. Razmernye priznaki dlya proektirovaniya odezhdy. – М.: ОАО "TsNIIShP", 2003.

7. 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)

8. 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).

9. 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).

10. 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).

11. Sakharova N.A., Zhukova I.V. Preimushchestva ispol'zovaniya sovremennykh tekhnologiy 3D-skanirovaniya dlya generirovaniya virtual'nykh manekenov figur // Sb. nauchn. st. 3-y Mezhdunar. nauchn. konf. perspektivnykh razrabotok molodykh uchennykh: Nauka molodykh – budushchee Rossii. – V 6 tomakh. – Kursk, 2018. S. 327...330.

12. Tislenko I.V. Razrabotka metoda proektirovaniya kompressionnoy trikotazhnoy odezhdy: Dis. ... kand. tekhn. nauk. – Ivanovo: IVGPU, 2018.

Рекомендована кафедрой конструирования швейных изделий. Поступила 17.05.21.