

УДК 687.021

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В ИНКЛЮЗИВНОЙ АНТРОПОМЕТРИИ

DIGITALIZATION IN INCLUSIVE ANTHROPOMETRY

М.А. ГУСЕВА, В.В. КОСТЫЛЕВА, И.А. ПЕТРОСОВА, Е.Г. АНДРЕЕВА, Е.В. ЛИТВИН, И.Д. ГУСЕВ

M.A. GUSEVA, V.V. KOSTYLEVA, I.A. PETROSOVA, E.G. ANDREEVA, E.V. LITVIN, I.D. GUSEV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

Email: guseva_marina67@mail.ru

В статье проведен анализ возможностей и сравнение метрологических характеристик современного сканирующего оборудования, обеспечивающего построение 3D-моделей фигур и отдельных частей тела, таких как нижние конечности. Выполнено антропометрическое исследование нижних конечностей инвалидов-колясочников в характерной для испытуемых антропометрической позе "сидя". Предложена программа измерений размерных признаков нижних конечностей, использование которой позволит проектировать индивидуальные реабилитационные изделия высокого качества. Разработан способ построения конструкции в виртуальной среде, в котором

внутренние контуры изделия располагают на заданном расстоянии от трехмерной модели конечностей, а затем формируют объемную поверхность, что обеспечивает требуемую степень прилегания реабилитационного мешка к ногам на разных участках.

In the article the analysis of possibilities and comparison of metrological characteristics of the modern scanning equipment providing construction of 3D-models of figures and separate parts of a body, such as the lower extremities is carried out. An anthropometric study of the lower limbs of wheelchair users in the anthropometric sitting posture characteristic of the subjects was performed. The program of measurements of dimensional features of the lower extremities is offered, the use of which will allow to design individual rehabilitation products of high quality. A method of constructing a structure in a virtual environment in which the internal contours of the product are located at a predetermined distance from the three-dimensional model of the limbs and then form a volumetric surface, which provides the required degree of adhesion of the rehabilitation bag to the legs in different areas.

Ключевые слова: цифровизация, антропометрические характеристики, инвалиды, 3D-сканирование.

Keywords: digitalization, anthropometric characteristics, disabled people, 3D scanning.

Приоритетным направлением научно-технологического развития отечественной легкой промышленности стал переход к передовым цифровым производственным технологиям, к формированию единого информационного пространства и использованию систем обработки данных [1]. На российских швейных и обувных предприятиях активно используются системы автоматизированного проектирования, реализующие технологии виртуального конструирования изделий и системы оценки антропометрического соответствия одежды фигуре [2]. Цифровизация антропометрических характеристик позволяет обеспечить полноту и достоверность информации о пространственной форме тела человека [3], необходимой для проектирования одежды и обуви. Особенную актуальность цифровизация антропометрии приобретает для людей с ограниченными физическими возможностями, фигуры которых могут существенно различаться по длине, ширине и обхватам участков тела [4] и характеризоваться высокой вариабельностью анатомо-физиологических особенностей телосложения, что обуславливает неэффективность

использования действующих антропометрических стандартов типовых мужских, женских и детских фигур для проектирования и изготовления подходящей для них одежды [5]. Состоянию инвалидности сопутствуют различные отклонения, ограничение движений и деятельности человека [6], включая диспропорции и деформацию тела. Для удовлетворения потребностей этой группы населения гибкие технологические производства адаптируют для изготовления персонализированных продуктов, таких как модная обувь для диабетических стоп, одежда для инвалидов-колясочников и текстильные компрессионные изделия.

В рамках российских реабилитационных программ инвалидам предоставляется возможность безвозмездного приобретения специальной одежды и ортопедической обуви [7], изготовленных с учетом индивидуальных размерных признаков. Современные швейные и обувные производственные предприятия готовы использовать специальные программные продукты и новейший инструментарий для получения исходной информации о форме тела человека и отдельных частей, таких как нижние конеч-

ности. Например, метод цифровой фотограмметрии успешно применяют для проведения антропометрических измерений людей, передвигающихся на инвалидных колясках, выделяя как статические, так и динамические антропометрические характеристики, которые можно интегрировать в САПР для последующего проектирования одежды [8].

При разработке изделий для инвалидов специалистами отмечается недостаточность динамических антропометрических данных и отсутствие стандартов для методов их измерения. Условием успешной оцифровки является обязательное сохранение субъектом определенной статичной позы на протяжении исследования. Нервная система здорового человека контролирует поддержание заданной позы, в то время как для малоподвижных и обездвиженных людей с инвалидностью контактная антропометрия тела затруднительна, поскольку может стать причиной болевых ощущений, локализованных большей частью в области бедер, коленей, лодыжек, нижней и верхней частей спины [9].

Цифровое исследование фигур людей с ограниченными двигательными возможностями целесообразно проводить в позе "сидя", так как в этом положении тела они находятся большую часть времени. Для такого положения фигуры для людей с неконтролируемыми хаотичными движениями конечностей и для инвалидов-колясочников более точное и быстрое исследование, с наименьшим дискомфортом для потребителя можно провести с помощью трехмерного (3D) сканирования. Технология 3D-сканирования тела человека позволяет оценить пропорции и форму тела, визуализировать фигуру для виртуального анализа [10], получить оцифрованные антропометрические характеристики [11] и передать их в САПР для генерирования лекал изделия с хорошей посадкой на этой фигуре [12].

Следует отметить, что в настоящее время импортные товары занимают значительную часть российского рынка продукции реабилитационной индустрии, среди

которой по востребованности лидируют товары для людей с нарушением мобильности, которые составляют 37% от суммарного объема мирового рынка реабилитационных товаров [13]. Исходя из этого, разработка отечественных реабилитационных товаров, отличающихся высоким качеством и соразмерностью фигуре для людей с ограниченными двигательными возможностями, остается актуальной задачей.

Методика исследования



Рис. 1

В качестве субъектов исследования выбраны инвалиды-колясочники, основной антропометрической позой которых является положение "сидя" (рис. 1 – основная антропометрическая поза инвалида-колясочника). 3D-сканирование исследуемых фигур проводили в характерных для испытуемых антропометрических позах, чтобы максимально исключить травмирующие ситуации в физическом и психоэмоциональном проявлении.

Для проведения антропометрического исследования были выбраны следующие сканирующие устройства:

- 3D-сканер Human Solutions;
- 3D-сканер Kinect;
- 3D-сканер Artec 3D Eva.

С целью выбора сканирующего инструментария, в большей степени подходящего для оцифровки стоп сидящего человека, проведен сравнительный анализ основных характеристик используемых устройств (табл. 1).

Характеристика	3D-сканер		
	Human Solutions	Kinect	Artec 3D Eva
Форматы экспорта	XML, CSV, OBJ, STL	CSV, DXF, XML	CSV, DXF, XML, OBJ, PLY, WRL, STL, AOP, ASCII, PTX, E57, XYZRGB
Время сканирования, с	5-15	0,0002	0,0002
Частота кадров при съемке, кадров/с	-	16	16
3D-разрешение, мм	Менее 1,0	0,5	0,1
Точность, мм	0,1	0,1	0,3
Размеры устройства, м	1 x 2	0,23x0,4	0,26x0,16x0,63
Общий вес, кг	30	0,9	0,85

Исходя из результатов анализа, для оцифровки части нижних конечностей инвалидов-колясочников выбран 3D-сканер Human Solutions, позволяющий получить качественные трехмерные модели ног в качестве выходной информации (рис. 2-а) и по запросу оператора – их антропометрические характеристики (рис. 2-б). Трехмерные модели ног, полученные с помощью

сканеров Kinect (рис. 2-в) и Artec 3D Eva (рис. 2-г), отличаются достаточной реалистичностью и достоверностью, однако антропометрическую информацию (проекционные, обхватные, дуговые размерные признаки исследуемых участков) можно получить только после экспорта данных в сопряженные графические программы.

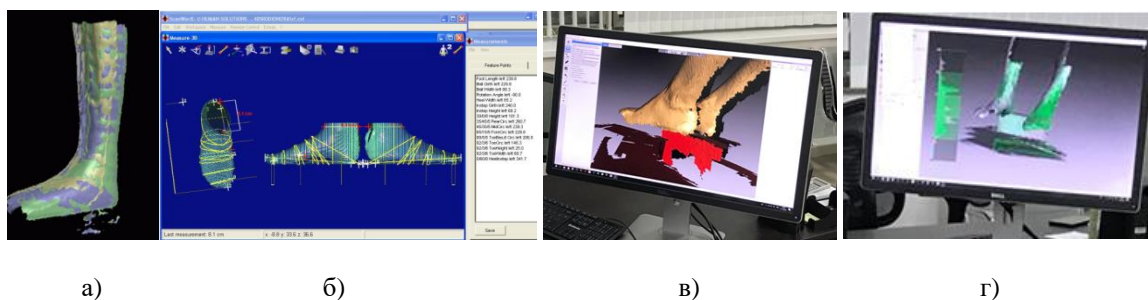


Рис. 2

С помощью выбранного 3D-сканера “Human Solutions” проведено сканирование нижних конечностей (от колена и ниже) у 37 инвалидов-колясочников и получены их виртуальные модели. Поиск рациональной пространственной формы и конструктивного решения проектируемых изделий проводили методом виртуального макетирования. Формообразование проектируемых реабилитационных изделий выполняли в графической среде специализированных программ 3D-САПР, MeshLab, Sketchup, Rhinoceros и CLO 3D.

Результаты исследования

Для снижения амплитуды произвольных фоновых движений ног при гиперкинезах разработаны специальные реабилитационные мешки, которые позволяют пози-

ционировать положение стоп инвалида на подставке для ног маломобильного средства [14], [15]. Проектирование 3D формы и конструктивных решений реабилитационных изделий для ног в инвалидной коляске осуществляли по результатам анализа трехмерных цифровых моделей ног инвалидов-колясочников так, чтобы пространственная конфигурация реабилитационных мешков анатомически соответствовала абрисам ног. Постановку стоп исследуемых потребителей выполняли с учетом условий использования проектируемых реабилитационных изделий, предполагающих надежное фиксирование положения обеих ног, одновременно помещенных внутрь специальных мешков. 3D-модель ног, полученную в результате сканирования, допол-

нительно обрабатывали с применением сглаживания, чтобы избавиться от артефактов и уменьшить количество полигонов (рис. 3 – виртуальное отображение ног инвалида-колясочника).



Рис. 3



Рис. 4

Размеры проектируемого изделия определялись наличием и величиной пространственных зазоров на каждом участке конструкции (на уровнях коленей, голени, щиколоток, стоп). Анализ пространственной формы проводился на начальном, промежуточных и конечном этапе виртуального макетирования по основным продольным и поперечным сечениям (рис. 5-а, б). В зависимости от сезонности, условий использования, анатомических особенностей потребителя и дизайна изделия выполнено проектирование линий его членения. В результате получены 3D-модели:

– типовой пространственной конфигурации проектируемого изделия (рис. 5-в),

С помощью изокривых провели 3D-моделирование изделия путем построения кривых по точкам, степень удаления которых задается с нужным коэффициентом, чтобы контролировать степень прилегания реабилитационного мешка к ногам на разных участках (рис.4). Затем построили параметрическую поверхность изделия с учетом ранее построенных изокривых, чтобы иметь возможность изменять кривые и степень облегания для следующего заказчика. Последующее проектирование параметрической сетки каркаса позволяет задавать такие параметры сетки, как ширина, высота и количество сегментов, толщина ребер (рис.4 – 3D-параметрическое проектирование мешка для ног), что позволяет отправить 3D-модель изделия для печати на 3D-принтер.

– модельных конструкций, содержащих конструктивно-декоративные членения (рис. 5-г), учитывающие индивидуальные особенности формы ног и положения стоп инвалидов, установленные по результатам 3D-сканирования их конечностей.

3D-проектирование реабилитационных изделий проводили на виртуальных моделях и проверяли на натуральных макетах. Для этого на виртуальную модель наносили линии членений в соответствии с техническим эскизом (рис. 5-г). По шаблонам развертки (рис. 5-д) изготовили муляж (рис. 6-а) и выполнили оценку соответствия формы и объема изделия заданным требованиям, а также эргономических и функциональных характеристик реабилитационных мешков.

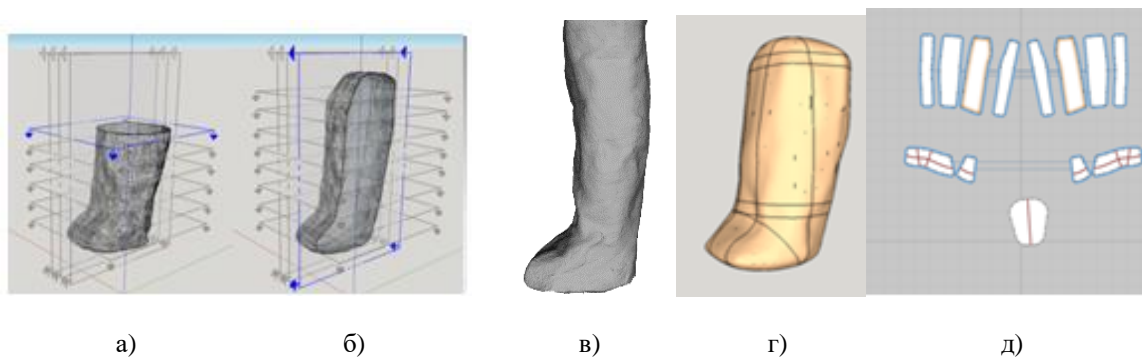


Рис. 5

По результатам натурального макетирования (рис. 6-а) уточнены контуры деталей мешка. Повторная загрузка оцифрованных шаблонов деталей в графическую среду программы CLO 3D позволила выполнить симуляцию пространственной конфигурации изделия (рис. 6-б), уточнить объем с

помощью сетчатых моделей (рис. 6-в) и предложить конструктивное решение (рис. 6-г), обеспечивающее регулирование объема изделия, размер и положение петель (1-а и 1-б на рис.6-г), которыми изделие фиксируется к каркасу инвалидной коляски [16].

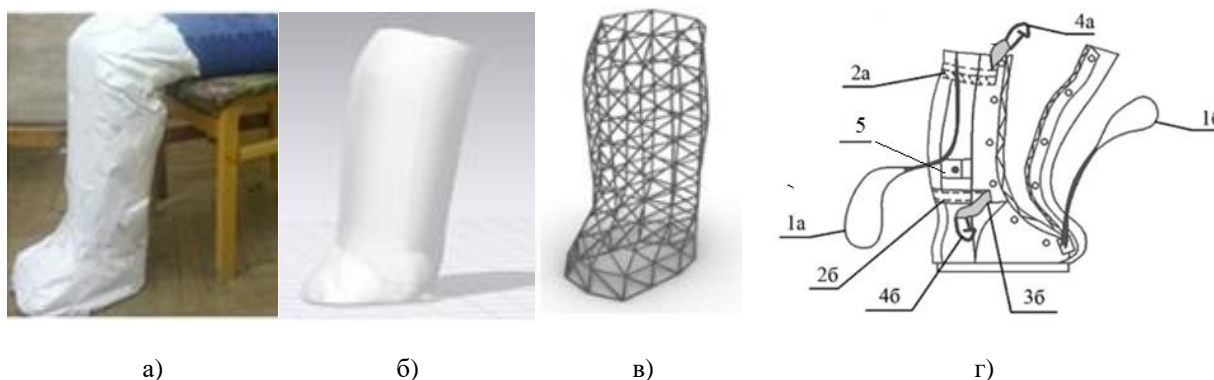


Рис. 6

ВЫВОДЫ

В рамках стратегии производства инновационных товаров реабилитационной направленности разработаны специальные мешки для ног инвалидов-колясочников, отличающиеся рядом преимуществ перед изделиями, представленными на отечественном рынке: 1) изделие компактное и имеет специальные петли-захваты, поэтому инвалид может справиться с его надеванием самостоятельно; 2) изделие имеет специальную подошву-протектор, которая предотвращает скольжение ног при движении инвалидной коляски; 3) изделие имеет индивидуальный каркас, разработанный с помощью 3D-сканирования и 3D-печати, который вставляется внутрь изделия и фикс-

сирует стопы в правильном положении для обеспечения нормального кровообращения.

Использование цифровой антропометрии для анализа фигур людей с ограниченными физическими возможностями позволяет осуществлять инклюзивное проектирование реабилитационных изделий для инвалидов в условиях массового производства отечественной промышленности. Обеспечение высокого уровня антропометрического соответствия одежды для инвалидов так же, как и для здоровых людей, реализовано с помощью методов бесконтактного 3D-сканирования и направлено на увеличение на мировом рынке объема качественной отечественной продукции специального назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа "Цифровая экономика Российской Федерации" / Утв. Распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

2. Петросова И.А., Шанцева О.А., Андреева Е.Г. Оценка соответствия готовой одежды фигуре потребителя в трехмерной среде // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 5. С. 139...142.

3. Петросова И.А., Гусева М.А., Андреева Е.Г., Тутова А.А., Гусев И.Д. 3D-проектирование внешней формы и конструкций швейных изделий с высоким антропометрическим соответствием фигуре // Дизайн. Материалы. Технология. – 2018. Т.1, №49. С.114...118.

4. Miji S., Tanaka N. Characteristics and design of clothes for the disabled persons: Figure characteristics of persons paralyzed one side and paralyzed on lower half body // Journal of Textile Engineering. – Vol.52, No.4, 2006. P.139...145.

5. Ayachit S., Thakur M. Functional Clothing for The Differently Aabled // Indian Journal of Public Health Research and Development. – Vol.8, №.4, 2017. P.904.

6. Мельникова Р.А., Лопандина С.К. Исследование зависимости изменений основных параметров конструкции плечевой одежды от степени дефекта в строении двигательного аппарата детей // Швейная промышленность. – 2007, №3. С.45...46.

7. О федеральном перечне реабилитационных мероприятий, технических средств реабилитации и услуг, предоставляемых инвалиду / Распоряжение Правительства РФ от 30.12.2005 № 2347-р (ред. от 18.11.2017).

8. Андреева Е.Г., Мокеева Н.С., Глушкова Т.В., Харлова О.Н., Чулкова Э.Н. Реабилитация и профилактика инвалидности: одежда, корректирующие приспособления. – М.: МГУДТ, 2010.

9. Гусев И.Д., Гусева М.А., Андреева Е.Г. Реабилитационные швейные меховые изделия для регуляции произвольных фоновых движений ног у малоподвижных граждан // В сб.: Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2017). Т.1. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2017. С.151...154.

10. Патент на изобретение № 2669688 RU Способ проектирования конструкций одежды на основе совмещения виртуальных образов типовой и индивидуальной фигур / Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Белгородский В.С.; опубл. 12.10.2018.

11. Гусева М.А., Андреева Е.Г., Белгородский В.С., Петросова И.А., Гетманцева В.В. Кастомизированная коррекция типового виртуального манекена оболочкой переменной толщины // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2019, №2. С. 113...123.

12. Карабанова Н.Ю., Сурженко Е.Я. Преимущества использования трехмерного проектирования при разработке плечевой одежды для инвалидов // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2014. Т.23, №1. С.53...57.

13. Стратегия развития производства промышленной продукции реабилитационной направленности до 2025 года. Проект. http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_REAPROM_until_2025.pdf

14. Патент на полезную модель № 166649 RU. Мешок для ног для людей с ограниченными двигательными возможностями / Гусева М.А., Андреева Е.Г., Клочкова О.В., Гусев И.Д.; опубл. 10.12.2016.

15. Патент на полезную модель № 172655 RU. Мешок для ног с меховой подкладкой для людей с ограниченными двигательными возможностями / Гусева М.А., Андреева Е.Г., Петросова И.А., Клочкова О.В., Гусев И.Д.; опубл. 18.07.2017.

16. Патент на полезную модель № 185890 RU. Мешок для ног в инвалидную коляску / Гусева М.А., Андреева Е.Г., Клочкова О.В., Гусев И.Д., Кашеев О.В., Лобжанидзе С.К.; опубл. 21.12.2018.

REFERENCES

1. Programma "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii" / Utv. Rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 28 iyulya 2017 g. № 1632-r.

2. Petrosova I.A., Shantseva O.A., Andreeva E.G. Otsenka sootvetstviya gotovoy odezhdy figure potrebitelya v trekhmernoy srede // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2017, № 5. S.139...142.

3. Petrosova I.A., Guseva M.A., Andreeva E.G., Tutova A.A., Gusev I.D. 3D-proektirovanie vneshney formy i konstruksiy shveynykh izdeliy s vysokim antropometricheskim sootvetstviem figure // Dizayn. Materialy. Tekhnologiya. – 2018. T.1, №49. S.114...118.

4. Miji S., Tanaka N. Characteristics and design of clothes for the disabled persons: Figure characteristics of persons paralyzed one side and paralyzed on lower half body // Journal of Textile Engineering. – Vol.52, No.4, 2006. P.139...145.

5. Ayachit S., Thakur M. Functional Clothing for The Differently Aabled // Indian Journal of Public Health Research and Development. – Vol.8, №.4, 2017. P.904.

6. Mel'nikova P.A., Lopandina S.K. Issledovanie zavisimosti izmeneniy osnovnykh parametrov konstruksii plechevoy odezhdy ot stepeni defekta v stroenii dvigatel'nogo apparata detey // Shvey'naya promyshlennost'. – 2007, №3. S.45...46.

7. O federal'nom perechne reabilitatsionnykh meropriyatiy, tekhnicheskikh sredstv reabilitatsii i uslug, predostavlyаемykh invalidu / Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 30.12.2005 № 2347-r (red. ot 18.11.2017).

8. Andreeva E.G., Mokeeva N.S., Glushkova T.V., Kharlova O.N., Chulkova E.N. Reabilitatsiya i profilaktika invalidnosti: odezhda, korrektruyushchie prispособleniya. – М.: МГУДТ, 2010.

9. Gusev I.D., Guseva M.A., Andreeva E.G. Reabilitatsionnye shveynye mekhovye izdeliya dlya regulyatsii neproizvol'nykh fonovykh dvizheniy nog u malopodvizhnykh grazhdan // V sb.: Innovatsionnoe razvitiye legkoy i tekstil'noy promyshlennosti (INTEKS-

2017). Т.1. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2017. S.151...154.

10. Patent na izobretenie № 2669688 RU Sposob proektirovaniya konstruktsiy odezhdy na osnove sovmeshcheniya virtual'nykh obrazov tipovoy i individual'noy figur / Guseva M.A., Andreeva E.G., Petrosova I.A., Belgorodskiy V.S.; opubl. 12.10.2018.

11. Guseva M.A., Andreeva E.G., Belgorodskiy V.S., Petrosova I.A., Getmantseva V.V. Kastomi-zirovannaya korrektsiya tipovogo virtual'nogo manekena obolochkoy peremennoy tolshchiny // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2019, №2. S. 113...123.

12. Karabanova N.Yu., Surzhenko E.Ya. Preimushchestva ispol'zovaniya trekhmernogo proektirovaniya pri razrabotke plechevoy odezhdy dlya invalidov// Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2014. T.23, №1. S.53...57.

13. Strategiya razvitiya proizvodstva promyshlennoy produktsii reabilitatsionnoy napravlenosti do 2025 goda. Proekt. http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_REAPROM_until_2025.pdf

14. Patent na poleznuyu model' № 166649 RU. Meshok dlya nog dlya lyudey s ogranichennymi dvigatel'nymi vozmozhnostyami/ Guseva M.A., Andreeva E.G., Klochkova O.V., Gusev I.D.; opubl. 10.12.2016.

15. Patent na poleznuyu model' № 172655 RU. Meshok dlya nog s mekhovoy podkladkoy dlya lyudey s ogranichennymi dvigatel'nymi vozmozhnostyami / Guseva M.A., Andreeva E.G., Petrosova I.A., Klochkova O.V., Gusev I.D.; opubl. 18.07.2017.

16. Patent na poleznuyu model' № 185890 RU. Meshok dlya nog v invalidnuyu kolyasku / Guseva M.A., Andreeva E.G., Klochkova O.V., Gusev I.D., Kashcheev O.V., Lobzhanipdze S.K.; opubl. 21.12.2018.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий. Поступила 27.12.19.