ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 685.348
ГРНТИ 64.41

E.O. Ermakova
Postgraduate Student of the Department of Artistic Modeling,
Design and Technology of Leather Goods,
Russian State University named after A.N. Kosygin
(Technology. Design. Art)
S.Ju. Kiselev
Doctor of Technical Sciences,
Professor of Department of Artistic Modeling,
Design and Technology of Leather Goods,
Russian State University named after A.N. Kosygin
(Technology. Design. Art)

METHODOLOGY OF AUTOMATED SELECTION OF FOOTWEAR IN THE TASKS OF SUPPORTING DECISION MAKING IN ORTHOPEDIC PROVIDING OF PATIENTS

Ермакова Е.О.
Аспирант кафедры художественного моделирования,
конструирования и технологии изделий из кожи,
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)
Киселев С.Ю.
Доктор технических наук,
профессор кафедры художественного моделирования,
конструирования и технологии изделий из кожи,
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)

МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДБОРА ОБУВИ В ЗАДАЧАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОРТОПЕДИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ

DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2021.2.71.90

Summary. Nowadays, customization is becoming an increasingly applicable approach for the individualization of goods made in mass production. Another trend is the technology of virtual, or contactless, shoe fitting, aimed at selecting goods in accordance with the individual anthropometric parameters of customers' feet. The article is considered to the presentation of the results of scientific developments in the field of optimization of orthopedic providing of patients using customization approaches and conceptual solutions of contactless shoe fitting technologies. As part of the study, an algorithm of shoe selection and a method for assessment of matching the internal shape of the shoe to the patient's feet measurements have been developed. The possibilities and conditions for the application of the results obtained in the tasks of supporting orthopedic specialists in the orthopedic providing of patients on the basis of data mining in the implementation of the automated remote selection of shoes and ordering for custom shoes are presented. The reported study was funded by RFBR, project number 19-37-90152.

Аннотация. В настоящее время кастомизация становится все более актуальным подходом для индивидуализации изделий, произведенных в условиях серийного или массового производства. Еще одной тенденцией являются технологии виртуальной, или бесконтактной примерки обуви, направленные на подбор изделий в соответствии с индивидуальными антропометрическим параметрами стоп покупателей. В статье изложены результаты научных разработок в области оптимизации ортопедического обеспечения пациентов с использованием подходов кастомизации и концептуальных решений технологий бесконтактной примерки обуви. В рамках исследования разработаны алгоритм подбора обуви и методика оценки степени соответствия параметров внутренней формы обуви антропометрическим данным стоп. Представлены возможности и условия применения полученных результатов в задачах поддержки специалистов-ортопедов при ортопедическом обеспечении пациентов на основе интеллектуального анализа данных при реализации автоматизированного дистанционного подбора обуви и заказа на индивидуальное изготовление.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90152.

Keywords: automated footwear selection, mass customization, orthopedic shoe, custom shoe, remote order, concept of customization, contactless fitting, data mining, shoe last, complex matching factor.

Ключевые слова: автоматизированный подбор обуви, массовая кастомизация, ортопедическая обувь, индивидуальная обувь, дистанционный заказ, концепция кастомизации, бесконтактная примерка, интеллектуальный анализ данных, обувная колодка, комплексный показатель соответствия.

Введение. На сегодняшний день все большую популярность обретает тенденция кастомизации изделий легкой промышленности, особенно предметов одежды и обуви. В частности, массовая кастомизация как подход является эффективным инструментом удовлетворения нужд потребителей, сочетая преимущества индивидуального подхода и эффективность массового производства. Одним из принципов кастомизации является разработка унифицированных решений по изменению изделия, благодаря чему производитель может предлагать варианты индивидуализации изделия в соответствии с собственными возможностями, эффективно управляя ресурсами. Более широкое применение данного подхода становится возможным благодаря интенсивному развитию цифровых технологий получения и обработки информации различного типа, современных методов компьютерного моделирования, проектирования и изготовления изделий, технологий 3D-печати.

Подход кастомизации может стать особенно востребованным в области обеспечения ортопедической обувью лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ), имеющие различные патологии нижних конечностей и заболевания опорно-двигательного аппарата [1]. Данная область изначально предполагает высокую степень индивидуализации изделий. Тем не менее, для оптимизации процессов ортопедического обеспечения разрабатываются изделия унифицированных конструкций, к которым, в частности, относится малосложная ортопедическая обувь. Такая обувь проектируется на основе усредненных параметров стоп, полученных в результате массового обмера пациентов, имеющих схожие деформации стоп при конкретном заболевании. Подбор готовой обуви сокращает временные и материальные затраты на ортопедическое обеспечение, однако такой подбор не всегда возможен, что обуславливается различными факторами. Условия подбора и уровень взаимодействия специалиста с пациентом – очно либо в дистанционном режиме, наличие требуемого размера определенной модели, степень деформации стоп, индивидуальные пожелания пациента и другие факторы могут оказывать влияние на возможность подбора готовой малосложной ортопедической обуви.

При кастомизации обуви важно не только улучшение внешнего вида модели, но также обеспечение функциональных свойств, связанных с соответствием параметров внутренней формы обуви (ВФО) данным стоп покупателя. При несоответствии параметров ВФО и данных стоп зачастую возникает необходимость доработки основы изделия – обувной колодки, что также усложняет процесс кастомизации. При кастомизации стандартной обуви массового или серийного производства для изготовителей основную сложность, увеличивающую логистические и производственные издержки, представляет получение антропометрических данных стоп клиента и их обработка. Решением могут стать технологии виртуальной, или бесконтактной примерки обуви, основанные на использовании цифрового трехмерного сканирования для получения антропометрической информации. Данные технологии позволяют производить автоматизированный обмер, обеспечивать удаленную передачу и обработку полученных данных, что позволяет разрешить сложности, связанные с соблюдением соответствия внутриобувных параметров и данных стоп клиентов при осуществлении массовой кастомизации.

В настоящий момент бесконтактная примерка также становится одной из современных технологических тенденций, направленных на оптимизацию онлайн-продаж и сокращение возвратов, связанных с неподходящими размерами изделий. Для своевременного и оперативного обеспечения пациентов ортопедической обувью бесконтактная примерка является особенно актуальной, создавая возможности не только для дистанционного подбора обуви, но и совершения удаленного заказа на индивидуальное изготовление [2].

При ортопедическом обеспечении эффективность от применения подходов кастомизации состоит в дифференциации заказов по степени сложности их выполнения на основе стандартизации решений по доработке изделий. В свою очередь сложность выполнения заказа может быть определена на основе степени соответствия базового изделия и индивидуальных данных стоп пациента.

Определение степени соответствия базовых моделей обуви параметрам стоп пациентов с учетом медицинских назначений отвечает также задаче по реализации автоматизированного подбора малосложной ортопедической обуви.

Таким образом, при разработке специальных решений по оптимизации процессов ортопедического обеспечения могут быть совмещены возможности бесконтактной примерки для осуществления дистанционного подбора и заказа ортопедической обуви и преимущества кастомизации, позволяющие сократить время на обеспечение пациентов ортопедической обувью.

Методы и результаты исследований.

Для оптимизации обеспечения пациентов ортопедической обувью разработана концептуальная модель кастомизации ортопедической обуви (рис. 1).

В ходе предварительных исследований проведен системно-деятельностный анализ процессов обеспечения пациентов ортопедической обувью, рассмотрены особенности ортопедического обеспечения при подборе и индивидуальном изготовлении, проведен обзор технологических решений бесконтактной примерки [3], исследованы способы кастомизации, применимые для изделий легкой промышленности и ортопедической обуви, в частности.

Рис. 1. Концептуальная модель кастомизации ортопедической обуви

Практическая реализация предлагаемой модели достигается выполнением нескольких этапов, необходимых для обеспечения эффективной кастомизации ортопедической обуви.

Начальным этапом является диагностика состояния стоп пациента специалистом-ортопедом. В зависимости от степени деформации стоп предварительно определяется способ обеспечения пациента ортопедической обувью. Это может быть как подбор готовой обуви, так и индивидуальное изготовление.

В любом случае, диагностика необходима для получения медицинских рекомендаций по применению специальных ортопедических элементов, оказывающих корригирующее или коррекционное воздействия. По результатам диагностики специалистом-ортопедом должны быть даны рекомендации по использованию малосложной ортопедической обуви, что предполагает отсутствие у пациента сложных деформаций стоп.

Затем с помощью алгоритма подбора ортопедической обуви проводится поиск моделей, отвечающих конструктивным и медицинским требованиям [4, 5]. Простейший вариант алгоритма включает подбор готовой обуви либо модели для индивидуального изготовления при умеренно-выраженной деформации стоп.

С использованием теоретических основ и методов квалиметрии разработана методика оценки степени соответствия параметров ВФО данным стоп, с применением которой отобранные по алгоритму модели проходят дальнейший анализ. Оценка степени соответствия внутренней формы обуви и стоп пациента основывается на преобразовании исходных данных стоп в параметры рациональной обувной колодки с учетом вкладных ортопедических элементов и их сравнении с параметрами базовой ортопедической колодки, на которой проектировалась и изготавливалась модель.

При анализе реальных процессов подбора малосложной ортопедической обуви выявлены три вероятных результата, которые могут быть описаны следующими категориями соответствия модели данным стоп:

1) Оптимальное соответствие – применение малосложной обуви;

2) Устранимое несоответствие – адаптация, или подгонка малосложной обуви;

3) Неустранимое несоответствие – индивидуальное изготовление с использованием конструкторско-технологической основы базовой модели.

В основе внутренней формы обуви серийного или массового производства находятся усредненные параметры стоп, полученные в ходе массовых антропометрических исследований стоп различных групп населения. Поэтому параметры ВФО могут в различной степени отклоняться от

индивидуальных данных стоп конкретного потребителя. Для первых двух категорий соответствия моделей вполне допустимы некоторые отклонения усредненных параметров ВФО, которые неощутимы при эксплуатации обуви, либо могут быть нивелированы при подгонке.

Для третьей категории соответствия допустимые отклонения определяются исходя из рациональности применения конструкторско-технологической основы базовой модели при индивидуальном изготовлении.

Таким образом, для каждой категории соответствия задается определенный диапазон отклонений параметров.

В простейшем варианте применения алгоритма для подбора готовой обуви используется два диапазона отклонений. Если необходимо подобрать модель для индивидуального изготовления, то количество диапазонов может быть расширено до трех.

Для определения параметров, по которым возможно провести оценку соответствия внутренней формы обуви данным стоп, проведен анализ исследований в области перехода от формы и размеров стопы к рациональной внутренней форме обуви [6,7]. Выделен перечень наиболее значимых параметров обувной колодки, которые в совокупности в достаточно полной мере характеризуют ВФО, и определены значения диапазонов отклонений.

Для отнесения модели к какой-либо категории соответствия необходимо, чтобы все параметры колодки, на которой проектировалась и изготавливалась модель, укладывались в один из диапазонов отклонений. В случае, если один из перечня параметров выходит за последний (второй или третий) диапазон, то модель отклоняется как не отвечающая параметрам рациональной внутренней форме обуви.

По методике сначала последовательно анализируются отдельные одноименные параметры рациональной и базовой колодок, затем рассчитывается комплексный показатель соответствия совокупности параметров.

Оценка отдельных параметров находится по отклонениям фактических параметров базовой колодки от параметров рациональной колодки, рассчитанных по данным стопы.

Отклонение $O(i)$ оцениваемого фактического значения параметра $P_ф(i)$ от рекомендованного расчетного $P_р(i)$ с учетом диапазонов допустимых отклонений находится по формуле:

$$O(i) = \frac{|\Delta P(i)|}{D(i)} = \frac{|P_ф(i) - P_р(i)|}{D(i)}.$$

где: $D(i)$ – допустимое отклонение i-го параметра.

Область допустимых значений: $O(i) \in [0 ; < 1]$.

Оценка параметра $K(i)$ выражается как:

$$K(i) = 1 - O(i) .$$

Полученная величина $K(i)$ является частным коэффициентом соответствия по i-му параметру.

При $K(i) = 1$ наблюдается полное соответствие параметра.

При $0 < K(i) < 1$ - частичное соответствие.

При $K(i) \leq 0$ - отсутствие соответствия.

Для оценки колодок по совокупности параметров рассчитывается комплексный показатель соответствия K_0. При расчете комплексного показателя необходимо учесть влияние каждого отдельного параметра на итоговую оценку, поэтому для каждого параметра определяется весовой коэффициент.

$$K_0 = \sum_{i=1}^{k} (K(i) * V(i)) ,$$

где: $V(i)$ – весовой коэффициент для i-го параметра

$$\sum_{i=1}^{k} V(i) = 1 .$$

Весовые коэффициенты определены на основе ранжирования параметров колодок по данным экспертного опроса. Опрос 33 экспертов – модельеров-конструкторов, технологов в области обувного производства, специалистов-ортопедов, был организован дистанционно с применением онлайн-приложения. По результатам опроса подтверждена высокая согласованность мнений экспертов путём расчета коэффициента конкордации: W=0.8

По результатам подбора моделей по алгоритму и расчету степени их соответствия параметрам стоп конкретизируется способ ортопедического обеспечения. Подбор готовой обуви производится с учетом параметров вкладных ортопедических элементов, при этом местоположение в обуви отдельных элементов может носить индивидуальный характер. Тем не менее, учет параметров типовых вкладных элементов – пронатора и супинатора в различных областях стельки, метатарзального валика, выкладок сводов – позволяет даже на основе приближенных расчетов сделать заключение о соответствии ВФО или необходимости доработок. Так, модели малосложной ортопедической обуви, подобранные с учетом деформации стоп могут быть рекомендованы как к непосредственному использованию без доработок, так и требовать локальной коррекции внутренней формы, отдельных конструктивных элементов. Также параметры колодок базовых моделей, соответствующие диагнозу пациента, могут не укладываться в диапазоны, при которых готовая обувь может быть использована. В таком случае подбираются модели для индивидуального изготовления, параметры колодок которых отвечают соответствующему диапазону отклонений. Также по желанию пациента базовая модель малосложной ортопедической обуви может быть изготовлена без конструктивных изменений,

если она соответствует параметрам рациональной ВФО, но с заменой материалов для улучшения внешнего исполнения изделия.

По результатам анализа для выбранной модели назначается категория соответствия. Категории соответствия определяют сложность выполнения заказа – от подбора готовой обуви до вариантов индивидуального изготовления. Исходя из данного заключения разработана система кастомизации ортопедической обуви, включающая 3 уровня сложности. Каждый уровень содержит несколько типовых вариантов кастомизации. Для того, чтобы эффективно применять подход кастомизации при выполнении индивидуальных заказов в условиях массового или серийного производства необходимо стандартизировать решения по доработке моделей. Это позволит быстрее формировать техническое задание на выполнение заказа, определять объем и специфику работ, уровень вовлеченности специалистов.

Типовой вариант кастомизации представляет собой набор стандартизированных инструкций и рекомендаций по выполнению индивидуального заказа в зависимости от степени соответствия рассчитанных параметров рациональной колодки и базовой колодки выбранной модели.

Таким образом, для реализации концептуальной модели кастомизации необходимо выполнить следующие этапы:

1) Провести диагностику состояния стоп, определить возможность подбора готовой обуви;

2) На основе медицинских заключений провести подбор модели по разработанному алгоритму и с помощью предлагаемой методики оценить степень соответствия параметров внутренней формы обуви данным стоп пациента;

3) Конкретизировать способ ортопедического обеспечения на основе результатов подбора, оценивания модели и пожеланий пациента и определить типовой вариант кастомизации ортопедической обуви;

4) Реализовать кастомизацию модели с использованием инструкций и рекомендаций, заложенных в выбранном типовом варианте кастомизации.

Обсуждение. Заключение.

Предлагаемая концептуальная модель совмещает актуальные технологические идеи бесконтактной примерки и кастомизации.

Методология автоматизированного подбора обуви базируется на применении системного подхода для всестороннего учета возможных условий подбора рациональной обуви, таких как диагностика морфофункционального состояния стоп, медицинские показания к использованию ортопедической продукции, эстетические предпочтения потребителя, технологическое обеспечение производства. Такой подход позволяет определять необходимые критерии подбора индивидуально для каждого потребителя.

Использование технологий цифрового трехмерного сканирования позволяет гораздо эффективнее и в большем объеме получать исходную информацию о форме и размерах нижних конечностей. Устройства трехмерного сканирования становятся все более мобильными и позволяют осуществлять бесконтактный обмер по месту жительства пациента, обмерять данные стоп в специализированных ортопедических салонах и удаленно передавать их для обработки на производство. Создание специального программного обеспечения на основе разработанных алгоритма подбора обуви и методики оценки степени соответствия ВФО данным стоп с использованием технологий цифрового трёхмерного сканирования позволит автоматизировать процессы подбора как ортопедической, так и стандартной обуви бытового назначения. При этом и традиционные методы обмера стоп также могут быть применимы [8].

В свою очередь, анализ соответствия наиболее значимых параметров внутренней формы обуви и данных стоп в ходе дистанционного подбора предоставит специалистам возможность более точно определять способ ортопедического обеспечения пациентов в условиях недостатка информации, когда отсутствует возможность совершить непосредственную примерку реальной модели.

Разработка системы кастомизации ортопедической обуви позволяет по результатам подбора и оценки определить наиболее оптимальный способ выполнения заказа, что упрощает для специалистов формирование технического задания. Кроме того, автоматизированный расчет параметров рациональной колодки с учетом всех необходимых данных упрощает также работу модельера индивидуальных ортопедических колодок, предопределяя выбор базовой колодки и области для доработки.

Говоря о возможностях дистанционного подбора стандартной обуви бытового назначения, прежде всего также нужно понимать, что изначально должен быть определен способ обеспечения потребителя изделием. Для потребителя, который не является пациентом, имеющим медицинские показания и необходимые документы для получения ортопедического обеспечения за счет государственного финансирования, необходимо обеспечить возможность и условия получения качественной, безопасной для эксплуатации обуви с учетом, как минимум, его индивидуальных параметров стоп. В перспективе полученные результаты проведенных исследований могут стать основой для разработки специализированных центров массовой кастомизации обуви повседневного назначения, предназначенные в том числе для ранней диагностики деформаций стоп и своевременной коррекции путем обеспечения населения индивидуализированной обувью с ортопедическими элементами.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90152.

Список литературы:

1. Ермакова Е.О., Киселев С.Ю. Особенности кастомизации ортопедической обуви.// Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2020), -2020г. – часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2020. – С. 161-164. [Ermakova E.O., Kiselev S.Ju. Features of orthopedic shoe customization// Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Dizajn, tehnologii i innovacii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti» (INNOVACII-2020), -2020g. – chast' 1. – M.: FGBOU VO «RGU im. A.N. Kosygina», 2020. – S. 161-164.]

2. Ермакова Е. О., Киселев С. Ю., Белякова Л.В. Автоматизированный подбор обуви как основа оптимизации ортопедического снабжения // Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической заочной конференции «Концепции, теория, методики фундаментальных и прикладных научных исследований в области инклюзивного дизайна и технологий» (25-27 марта 2020 г.). Часть 2. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. – 168 с., -С.109-112. [Ermakova E. O., Kiselev S. Ju., Beljakova L.V. Avtomatizirovannyj podbor obuvi kak osnova optimizacii ortopedicheskogo snabzhenija // Sbornik nauchnyh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj zaochnoj konferencii «Koncepcii, teorija, metodiki fundamental'nyh i prikladnyh nauchnyh issledovanij v oblasti inkljuzivnogo dizajna i tehnologij» (25-27 marta 2020 g.). Chast' 2. – M.: RGU im. A.N. Kosygina, 2020. – 168 s., -S.109-112.]

3. Лукач А.Ю., Киселев С.Ю., Ермакова Е.О. Развитие методик виртуальной примерки обуви.// Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности» 13–14 ноября 2019г. Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» [Lukach A.Ju., Kiselev S.Ju., Ermakova E.O. Razvitie metodik virtual'noj primerki obuvi.// Materialy dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Innovacionnye tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti» 13–14 nojabrja 2019g. Uchrezhdenie obrazovanija «Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet»]

4. Киселев С. Ю., Белякова А. В., Ермакова Е. О., Карпухин А. А., Козлов А. С. Алгоритм виртуальной примерки обуви.// Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – с. 149-152. [Kiselev S. Ju., Beljakova A. V., Ermakova E. O., Karpuhin A. A., Kozlov A. S. The algorithm of virtual fitting shoes// Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja. – 2018. – s. 149-152.]

5. E. Ermakova, S. Kiselev, V. Kostyleva. A concept of automated selection of orthopedic shoes.// Advances in health sciences research. Proceedings of the International Conference “Health and wellbeing in modern society” (ICHW 2020) Part of series «Advances in Health Sciences Research», 3 October 2020, p.119-124 https://doi.org/10.2991/ahsr.k.201001.025

6. Киселев С.Ю., Ермакова Е.О. К вопросу использования принципов перехода от формы и размеров стопы к параметрам рациональной внутренней формы обуви при разработке методов дистанционного подбора обуви.// Сборник научных трудов международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2020), -2020г. – часть 1. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2020. – С. 173-176. [Kiselev S.Ju., Ermakova E.O. To the question of using transition principles from the shape and size of the foot to the parameters of a rational inner shoe shape in the development of methods of remote footwear selection.// Sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Dizajn, tehnologii i innovacii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti» (INNOVACII-2020), -2020g. – chast' 1. – M.: FGBOU VO «RGU im. A.N. Kosygina», 2020. – S. 173-176.]

7. Фукин В.А. Теоретические основы проектирования внутренней формы обуви. – М: Экономическое образование, 2010. – 386 с. [Fukin V.A. Teoreticheskie osnovy proektirovanija vnutrennej formy obuvi. – M: Jekonomicheskoe obrazovanie, 2010. – 386 s.]

8. Ермакова Е. О., Киселев С. Ю., Волкова Г. Ю. Инновационные технологические решения при подборе и изготовлении индивидуальной ортопедической обуви.// «ДИЗАЙН и ТЕХНОЛОГИИ», 2019, 73(115) [Ermakova E. O., Kiselev S. Ju., Volkova G. Ju. Innovative technological solutions for the orthopedic shoes selection and manufacture// «DIZAJN i TEHNOLOGII», 2019, 73(115)]