

УДК 685.341.16, 685.34.021.3
DOI 10.47367/0021-3497_2024_4_246

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОБУВНЫХ КОЛОДОК**

**DEVELOPMENT OF A DIGITAL METHOD FOR DESIGNING
AND MANUFACTURING INDIVIDUAL SHOE LASTS**

A.A. ВОЛКОВА, С.Ю. КИСЕЛЕВ, А.А. КОРОЛЬКОВА

A.A. VOLKOVA, S.Yu. KISELEV, A.A. KOROLKOVA

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

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: kiselev_s_u@mail.ru

Внедрение цифровых технологий в производство одежды и обуви позволяет выйти на новый уровень индивидуализации продукции. Для того чтобы в полной мере персонифицировать производство обуви, необходимо использовать индивидуальные колодки. Их разработка и изготовление становятся более доступными благодаря применению цифровых технологий. В статье показаны преимущества и перспективы цифровизации процессов проектирования и изготовления индивидуальной обуви. Предлагаемый метод проектирования и изготовления индивидуальных обувных колодок основан на использовании современных технологий, таких как 3D-сканирование, автоматизированное 3D-проектирование, аддитивные технологии быстрого прототипирования. Разработаны методика и алгоритм автоматизированного проектирования поверхности колодки на основе антропометрических данных стопы. Описан процесс проектирования поверхности обувной колодки по данным 3D-сканирования стопы. В ходе апробации предлагаемого алгоритма в программе Rhinoceros спроектирована индивидуальная колодка. Рассмотрены возможные направления дальнейших исследований и определен основной круг пользователей индивидуальных обувных колодок и обуви.

The introduction of digital technologies in the production of clothing and footwear allows us to reach a new level of product individualization. In order to fully personalize the production of shoes, it is necessary to use individual lasts. Their development and production are becoming more accessible through the use of digital solutions. The article shows the advantages and prospects of digitalization of the processes of designing and manufacturing individual shoes. The proposed method for designing and manufacturing individual shoe lasts is considered. The method is based on the use of modern technologies, such as 3D scanning, automated 3D de-

sign, and additive rapid prototyping technologies. A method and algorithm for automated design of the last surface based on anthropometric data of the foot have been developed. The process of designing the surface of a shoe last based on 3D scanning data of the foot is described. During testing of the proposed algorithm in the Rhinoceros program, an individual block was designed. The article also discusses possible directions for further research and the main circle of users of individual shoe lasts and shoes.

Ключевые слова: персонифицированная обувь, индивидуальная обувная колодка, стопа, 3D-сканирование, цифровое проектирование, 3D-моделирование, аддитивные технологии.

Keywords: personalized shoes, individual shoe last, foot, 3D scanning, digital design, 3D modeling, additive technologies.

Введение

Традиционное ручное проектирование и изготовление колодки – это сложный процесс, требующий опыта и мастерства исполнителя. Из-за его высокой трудоемкости индивидуальные колодки используются лишь в сложной ортопедии или при индивидуальном изготовлении обуви класса «люкс» [1, 2].

В настоящее время в легкой промышленности наблюдается тренд на индивидуализацию производимого продукта. В условиях массового производства индивидуализация продукта достигается за счет его кастомизации [3]. В простейшем случае кастомизация обуви затрагивает только персонификацию эстетических характеристик готового продукта на основе выбора из готовых вариантов сочетаний материалов, фактур и цветов деталей обуви. Более глубокое внедрение технологий кастомизации предполагает как внесение незначительных изменений в конструкцию изделия в соответствии с предпочтениями конкретного потребителя, так и корректировку формы и размеров изделия в соответствии с его индивидуальными антропометрическими параметрами и анатомическими особенностями. Это может достигаться подгонкой готового изделия или использованием в процессе его изготовления индивидуально доработанной технологической оснастки [2]. Высоко оценивая положительный эффект, достигаемый кастомизацией, вместе с тем нельзя не отметить ограниченность возможностей подгонки формы и размеров

массового продукта под индивидуальные параметры конкретного заказчика. Так, достаточно большое число потребителей, особенно среднего и старшего возраста, сталкиваются с проблемой приобретения впорной обуви массового производства из-за выраженных индивидуальных особенностей, связанных с нестандартными антропометрическими параметрами стоп или наличием различных ортопедических патологий. И в большинстве случаев кастомизация не решает задачи оптимальной подгонки обуви для таких клиентов. Гораздо больше возможностей индивидуализации продукта обеспечивает персонифицированное производство, подразумевающее не только выбор дизайнера и материалов, но и учет индивидуальных параметров и анатомических особенностей стопы, а также предпочтений покупателя.

С развитием новых производственных подходов, к числу которых относятся кастомизация и персонификация продукции, возросла потребность в разработке инновационных решений для создания комфортной и функциональной обуви.

Колодка – ключевой элемент в обувном производстве, ее форма и размеры определяют не только внешний вид изделия, но и соответствие обуви стопе, от которого в значительной степени зависит ее удобство в эксплуатации. Не все потребители удовлетворены комфортом, обеспечиваемым обувью массового производства, спроектированной и изготовленной на стандартной колодке. Наибольший комфорт в носке до-

стигается только при использовании индивидуально изготовленной обуви, при этом колодка, на которой производилась обувь, должна быть или специально спроектирована по параметрам стопы заказчика, или как минимум доработана с учетом этих параметров [1, 2]. Таким образом, получение достаточно полной и достоверной информации о форме и размерах стопы является необходимым условием для создания индивидуальной колодки. Применяемые до настоящего времени в индустрии обуви ручные методы обмера не обеспечивают необходимой точности измерений и предоставляют ограниченный набор параметров, не дающий полного представления об особенностях формы стопы заказчика.

3D-сканирование позволяет получить точную цифровую модель стопы, которая может быть использована для проектирования и изготовления индивидуальной колодки [4]. Применение 3D-систем автоматизированного проектирования дает возможность существенно снизить затраты времени на разработку колодок, а использование аддитивных технологий производства, таких как 3D-печать, позволяет оперативно изготавливать спроектированные колодки из различных видов пластика с высокой степенью точности. Таким образом, исключается стадия ручного изготовления колодок, что позволяет сократить сроки и повысить эффективность производства, обеспечивая при этом более высокое качество продукции по сравнению с традиционными методами [5, 6].

Нами разработана и представлена [7] концепция автоматизации процесса проектирования индивидуальной обувной колодки, основанная на использовании антропометрических данных, полученных в ходе 3D-сканирования стопы, и применении при проектировании универсальных CAD/CAM-систем.

В данной статье рассмотрены разработанные алгоритм и методика цифрового проектирования и изготовления индивидуальной обувной колодки, призванные снизить затраты на производство, сократить сроки изготовления, обеспечить требуемый уровень создаваемого комфорта в обуви за

счет лучшего соответствия ее внутренней формы индивидуальным параметрам и особенностям стоп.

Методы сканирования стопы

3D-сканер – это устройство, которое получает информацию об объекте, оцифровывая его с помощью датчиков, и использует полученные данные для создания трехмерной модели. По сути, он создает цифровую копию физического объекта любой конфигурации и степени сложности. Сам процесс сканирования может происходить по-разному в зависимости от вида 3D-устройства и применяемой технологии [4].

Для обмера стоп наибольший интерес представляют бесконтактные 3D-сканеры – устройства, способные осуществлять сканирование на расстоянии, без физического контакта с объектом.

Для сканирования стоп в настоящее время применяются как стационарные, так и портативные ручные сканеры. Последние, на наш взгляд, являются наиболее перспективными, так как обеспечивают высокую мобильность при проведении обмеров, просты в эксплуатации, дают возможность обмера стоп в различных положениях, имеют не такую высокую стоимость, как стационарные сканеры, в то время как обеспечиваемая ими точность измерений за последние годы существенно выросла и составляет порядка 50 мкм.

Современные ручные сканеры являются универсальными инструментами сканирования различных объектов, в т. ч. человеческого тела. Их вес не превышает одного килограмма, а скорость сканирования позволяет быстро проводить обмер, не утомляя обмеряемого. Сканирование стоп может производиться в разных положениях и при разных условиях нагрузки: в положении стоя и в положении сидя; в ненагруженном и в полунагруженном состоянии; в положении равномерной нагрузки на обе стопы и при полной нагрузке всей массой тела на одну стопу; с опорой на ровную горизонтальную поверхность и на профилированное основание с заданной высотой приподнятости пятки; при опоре на мягкое основание.

Для получения исходных данных стопы, оптимально отвечающих требованиям про-

ектирования индивидуальной колодки, нами предлагается проводить сканирование в положении стоя при равномерной нагрузке на обе стопы, опирающиеся на профилированное основание с заданной приподнятостью пяточной и носочной частей. Это позволит максимально передать форму, размеры и габариты стопы для последующего 3D-проектирования колодки.

Учитывая уровень развития и практически повсеместную доступность современных инфокоммуникационных средств, сканирование стопы можно проводить дистанционно с последующей передачей полученных данных разработчику колодок.

Методы проектирования колодок

В настоящее время для автоматизированного проектирования колодок используются как универсальные, так и специализированные CAD/CAM-системы [2, 4, 8, 9].

Примерами универсальных САПР, пригодных для работы с объектами сложной пространственной формы, к которым относятся и обувная колодка, являются Rhinoceros, CATIA, 3Ds MAX, SolidWorks и др. Данные системы обладают большим набором инструментов, позволяющим проводить практически любые манипуляции с цифровым объектом. Они имеют определенные различия по функционалу, но, хорошо владея инструментарием, специалист способен решить практически любую задачу либо в среде одной программы, либо используя несколько разных, более подходящих под каждый конкретный процесс. Основным недостатком универсальных программ заключается в том, что для проектирования обувной колодки они в большинстве своем довольно сложны, прежде всего, в силу обширного инструментария и требуют расширенных навыков работы у пользователя.

На крупных обувных предприятиях для проектирования колодок применяются узкоспециализированные программные продукты. К их числу относятся Shoemaster (модуль Custom), LastMaker, EasyLast, MindCAD 3D Last Design & Engineering и др. Однако несмотря на то, что эти программы специально разработаны для обувной промышленности, они не дают возмож-

ности проектирования новой колодки непосредственно по данным стопы, поскольку в них заложен принцип подбора и последующей модификации уже имеющейся колодки из ранее созданной базы данных с учетом размеров и индивидуальных особенностей стопы. По сути, такой процесс автоматизированного проектирования мало чем отличается от ручной подгонки наиболее подходящей по размерам колодки с помощью набивки личинок или подтачивания. Поэтому назвать полученную таким образом колодку индивидуально спроектированной по данным стопы нельзя. К тому же стоимость данных систем достаточно высока, что затрудняет их приобретение небольшими предприятиями, занимающимися изготовлением индивидуальной обуви.

Методика автоматизированного проектирования

За основу при разработке методики автоматизированного проектирования индивидуальной колодки авторами взята методика построения колодок, разработанная на кафедре художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи РГУ им. А.Н. Косыгина [9, 10]. Методика предусматривает построение контуров продольно-осевого и 10 поперечно-вертикальных сечений, кривой ребра следа, габаритных линий колодки по соответствующим линиям стопы. Важное значение при этом отводится обеспечению научно обоснованного перехода от кривых габаритов стопы к соответствующим габаритным линиям колодки, а также заданию требуемых периметров сечений колодки. В результате построения поверхность колодки получается заданной 3D-каркасом, образованным кривыми габаритов колодки по ширине и высоте, контурами продольно-осевого и поперечно-вертикальных сечений, кривыми ребра следа и установочной площадки, что позволяет с достаточной точностью передать форму и размеры колодки. На основе 3D-каркаса поверхности строится интерполяционная 3D-модель.

Для автоматизированного изготовления колодки по имеющейся 3D-модели в условиях массового производства традиционно используются программно-управляемые ко-

пировально-фрезерные станки. В индивидуальном производстве обуви применение таких станков является проблематичным, поэтому, на наш взгляд, для изготовления индивидуальных колодок значительный интерес представляют аддитивные технологии, они также могут быть использованы при производстве индивидуальных стелек, подошв, каблучков и других деталей [5,6]. В настоящее время существуют различные технологии 3D-печати, это направление постоянно развивается, появляются новые материалы и методы.

Среди множества технологий быстрого прототипирования для обувного производства наиболее часто применяется технология послойного наплавления материала FDM/FFF. Для печати используют термопластики: PLA, ABS, PETG и другие материалы [5, 6, 11].

В ходе исследования, проведенного в Политехническом университете Бухареста, были изготовлены и протестированы в производственных условиях обувные колодки из различных материалов [12]. Колодка из ABS-пластика выдержала затяжку и последующее нагревание в ходе крепления деталей низа обуви, в то время как колодки из

PLA и PETG-пластиков размягчились и потеряли форму. Это показывает важность того, чтобы filament по своим свойствам подходил под определенные производственные задачи.

С учетом возможностей новых производственных технологий нами предложен алгоритм проектирования и изготовления персонафицированной обувной колодки (рис. 1).

Алгоритм предусматривает следующую последовательность действий:

1. Начальный этап предполагает получение данных о стопе с помощью 3D-сканирования. В данный момент на рынке наблюдается большое разнообразие сканеров, различающихся по цене, размерам, принципу действия и обеспечиваемой точности измерений. В связи с этим важной задачей является выбор сканера. Следующая задача – это выбор методики сканирования. Важное значение при этом имеет положение стопы во время сканирования. Еще одна задача – это выбор программного обеспечения для обработки результатов сканирования. Большинство сканеров поставляются с штатным ПО, но не всегда оно позволяет получить требуемый вид данных о стопе.



Рис. 1

Полученные результаты сканирования заносятся в базу данных стоп, которая будет постоянно пополняться.

2. Методика проектирования включает в себя выделение основных сечений и габаритных линий стопы по исходному облаку точек, полученному в результате 3D-сканирования стопы, и последующее проектирование основных кривых и сечений колодки, на основе которых строится ее интерполяционная поверхность. Спроектированные колодки сохраняются в формате .stl в базе данных колодок.

3. Подготовленная 3D-модель колодки передается для печати на 3D-принтер. При этом используется специализированное ПО для подготовки модели к печати.

4. В зависимости от технологии печати и используемых материалов может потребоваться постобработка колодки.

В ходе реализации предлагаемого алгоритма авторами в программе Rhinoceros осуществлен процесс проектирования поверхности обувной колодки по данным 3D-сканирования стопы. На основе спроектированных контуров сечений и пространственных кривых получен 3D-каркас, по которому построена интерполяционная поверхность колодки. Основной проблемой получения интерполяционной поверхности необходимой гладкости является обеспечение закономерного плавного изменения формы поверхности при переходе между контурами сечений, образующих исходный каркас. Важную роль при этом играют предварительно построенные габаритные линии колодки. Окончательная гладкая форма поверхности колодки достигается в процессе интерактивной коррекции контуров сечений.

Полученная 3D-модель колодки (рис. 2) может быть использована как основа для дальнейшего проектирования деталей низа или конструкции верха обуви.

Каждая разработанная колодка пополняет собой базу данных колодок.

При организации этапа 3D-печати колодки необходимо выбрать наиболее подходящую технологию печати, модель принтера, используемый материал. При этом необходимо учитывать несколько крите-

риев: достаточную прочность материала и термостойкость; необходимость постобработки с точки зрения оборудования и рабочей силы; стоимость 3D-принтера; затраты на сырье и требования к обслуживанию принтера.

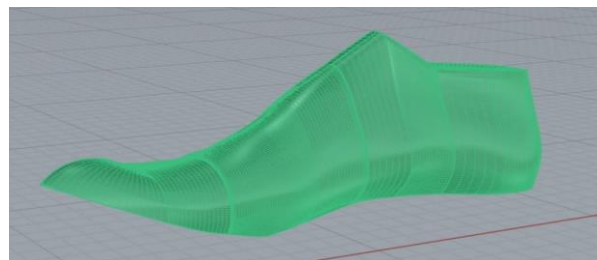


Рис. 2

На выбор технологии и оборудования также влияют габариты рабочей площадки принтера; точность построения – до 0,5 мм; возможность использования широкого спектра филаментов.

ВЫВОДЫ

Традиционная технология индивидуального изготовления обуви предусматривает значительную долю ручного труда, что приводит к затягиванию сроков изготовления и увеличению общих затрат. Предлагаемый метод позволяет существенно снизить временные и материальные затраты на производство при одновременном повышении качества индивидуальной обуви.

Предлагаемый метод проектирования и изготовления индивидуальных обувных колодок может быть использован при изготовлении обуви как для людей с нестандартными параметрами и патологиями стоп, так и для спортсменов, танцоров, широкого круга лиц, стремящихся получить максимальный комфорт при ношении обуви.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mishra M.K., Abteew M.A., Bruniaux P. Customization of shoe last based on 3D design process with adjustable 3D ease allowance for better comfort and design // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2022. Vol. 123. pp. 3131...3146. – <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10427-5>.

2. Ермакова Е.О. Разработка концепции кастомизации ортопедической обуви: дис. ... канд. техн. наук. М., 2022. 179 с.

3. *Медведева О.А., Рыкова Е.С.* Кастомизация как основной вектор развития предприятий легкой промышленности в новых условиях развития рынка // Научный журнал «Костюмология». 2021. №1. Т. 6. С. 1...11. – DOI: 10.15862/21IVKL121.

4. *Сказкин А.В., Фукин В.А.* Методика проектирования обувной колодки на основе технологии трехмерного сканирования // Дизайн и технологии. 2010. № 17(59). С. 48...51.

5. *Коновалова О.Б., Костылева В.В., Федосеева Е.В.* Особенности создания обуви с использованием 3D-технологий и 3D-печати // Костюмология. 2022. Т. 7, № 1.

6. *Минец В.В., Татарчук И.Р., Белицкая О.А., Литвин Е.В.* Применение 3D-технологий быстрого прототипирования при изготовлении оснастки обувного производства и апробация формальной модели экспресс-формы для литьевого агрегата // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 329...333. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_329.

7. *Волкова А.А., Киселев С.Ю.* Концепция автоматизации процесса проектирования индивидуальной обувной колодки // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности. Ч. 1. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. С. 36...39.

8. *Буй В.Х., Фукин В.А.* Интерактивное автоматизированное проектирование внутренней формы обуви // Кожевенно-обувная промышленность. 2005. № 3. С. 30...32.

9. *Киселев С., Фукин В.А., Шарипова Е.И.* Построение контура открытого сечения колодки по данным стопы // Кожевенно-обувная промышленность. 2006. № 4. С. 42...43.

10. *Киселев С.Ю., Волкова А.А., Макарова Н.А., Козлов А.С.* К вопросу проектирования области гребня обувной колодки // Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы. Ч. 1. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2022. С. 222...227.

11. *Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С. и др.* Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: группа крупнотоннажных полимеров // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 304...311. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_304.

12. *Amza C., Zapciu A., Popescu D.* 3D-Printed shoe last for bespoke shoe manufacturing // MATEC Web of Conferences 290, 04001 (2019). – <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929004001>.

REFERENCES

1. *Mishra M.K., Abteu M.A., Bruniaux P.* Customization of shoe last based on 3D design process with adjustable 3D ease allowance for better comfort and design // The International Journal of Advanced Manufac-

turing Technology. 2022. Vol. 123. pp. 3131...3146. – <https://doi.org/10.1007/s00170-022-10427-5>

2. *Ermakova E.O.* Development of the concept of customization of orthopedic shoes: dissertation for the degree of candidate of technical Sciences. Moscow, 2022. 179 p.

3. *Medvedeva O.A., Rykova E.S.* The main directions of development for light industry enterprises in the context of a pandemic // Journal of Clothing Science. 2021, 1 (6). pp. 1...11. – DOI: 10.15862/21IVKL121.

4. *Skazkin A.V., Fukin V.A.* The methodology of designing shoe pads based on three-dimensional scanning technology // Design and Technologies. 2010. № 17(59). P. 48...51.

5. *Konvalova O.V., Kostyleva V.V., Fedoseeva E.V.* Features of creating shoes using 3D technologies and 3D printing // Journal of Clothing Science. 2022. Vol. 7, No. 1. P. 1...3.

6. *Minets V.V., Tatarchuk I.R., Belitskaya O.A., Litvin E.V.* Application of 3d-technologies for fast prototyping in the manufacture of tooling for the production of footwear and approbation of a formal model of express form for a casting unit // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2(398). P. 329...333. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_329.

7. *Volkova A. A., Kiselev S. Yu.* The concept of automation of the design process of individual shoe pads // Innovative development of technology and technologies in industry. Part 1. Moscow: Kosygin Russian State University, 2023. P. 36...39.

8. *Bui V.H., Fukin V.A.* Interactive computer-aided design of the inner shape of shoes // Leather and shoe industry. 2005. No. 3. P. 30...32.

9. *Kiselev S., Fukin V.A., Sharipova E.I.* Construction of the contour of the open section of the shoe according to foot data // Leather and shoe industry. 2006. No. 4. P. 42...43.

10. *Kiselev S. Y., Volkova A.A., Makarova N.A., Kozlov A. S.* On the issue of designing the area of the shoe shoe ridge // Fundamental and applied scientific research in the field of inclusive design and technology: experience, practice and prospects. Part 1. Moscow: Kosygin Russian State University, 2022. P. 222...227.

11. *Konvalova O.B., Minets V.V., Bokova E.S et al.* Polymer materials for 3D printing and the possibility of their use in shoe production: a group of large-tonnage polymers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2(398). – P. 304...311. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_304.

12. *Amza C., Zapciu A., Popescu D.* 3D-Printed shoe last for bespoke shoe manufacturing // MATEC Web of Conferences 290, 04001 (2019). – <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929004001>.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологий изделий из кожи РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 23.05.24.