УДК 685.34
DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_266

МЕТОДИКА 3D-ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛОДКИ ДЛЯ ВЫСОКОКАБЛУЧНОЙ ОБУВИ

3D SHAPE DESIGN METHODOLOGY FOR HIGH HEEL SHOES

В.В. КОСТЫЛЕВА, А.Н. МАКСИМЕНКО, М.Ю. ПИВНЕНКО, И.Б. РАЗИН, И.В. РУБЦОВА

V.V. KOSTYLEVA, A.N. MAKSIMENKO, M.Yu. PIVNENKO, I.B. RAZIN, I.V. RUBTSOVA

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

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: kostyleva.vv@mail.ru

В статье изложен подход к проектированию колодки для высококаблучной обуви в системе Rhinoceros. Перечислены основные инструменты Rhinoceros для проектирования колодок. Описана методика проектирования обувной колодки, изложены расчеты ее параметров, учитывающие особенности обуви на высоком каблуке. Проведена апробация алгоритма программы Rhinoceros для решения задач проектирования колодок для высококаблучной обуви.

The article describes an approach to the design of shape for high heel shoes in the Rhinoceros system. The method of designing a shoe shape and calculating the parameters of the shoe, taking into account the effects of wearing high-heeled shoes, are described. The algorithm was tested using the Rhinoceros design program as an example. As a result of testing the algorithm in Rhinoceros, a shoe was modeled. The results obtained indicate the applicability of the Rhinoceros program to solve the problems of designing shape for high heel shoes.

Ключевые слова: женская обувь, rhinoceros, автоматизированное проектирование обуви, расчет параметров колодки, антропометрические данные о стопе.

Keywords: women's shoes, rhinoceros, computer-aided shoe design, calculation of shoe last parameters, anthropometric data on the foot.

Введение

По данным ВОЗ, 25% женщин старше 30 лет страдают от заболеваний ног, вызванных неудобной обувью. В большинстве случаев возникает резкое отклонение большого пальца от ношения обуви на высоком каблуке с узкой носочной частью [1]. В этой связи в рамках настоящей работы целесообразно обратиться прежде всего к вопросу проектирования колодок для высококаблучной обуви. Для этого обобщены принципы преобразования антропометрической информации в параметры обувной колодки с позиций компьютерного проектирования.

Исследования [2…8] показывают, что высота каблука в обуви может значительно влиять на положение стопы. При ношении обуви на высоком каблуке стопа наклоняется вперед, что обусловливает изменение ее естественного положения и распределение веса тела на передний отдел. Это может привести к увеличению давления и перенапряжению некоторых мышц и суставов. Для компенсации вышеуказанных эффектов следует использовать колодки для высококаблучной обуви, отвечающие требованиям эргономики и безопасности.

Объекты и методы исследования

На рис. 1 представлены основные элементы методики проектирования колодки с вкладной стелькой [9].

Проектирование колодки выполнялось в программе Rhinoceros (Rhino) (рис. 2) – программной системе для трехмерного моделирования и дизайна. Она позволяет создавать и редактировать 3D-модели различной сложности с использованием NURBS – нелинейных рациональных B-сплайнов.

Rhino обеспечивает высокую точность построений и предоставляет широкий набор инструментов для создания, редактирования и преобразования объектов. Rhino активно используется в различных отраслях, включая архитектуру, дизайн, индустрию развлечений и производство изделий на 3D-принтерах [10].

Рис. 1

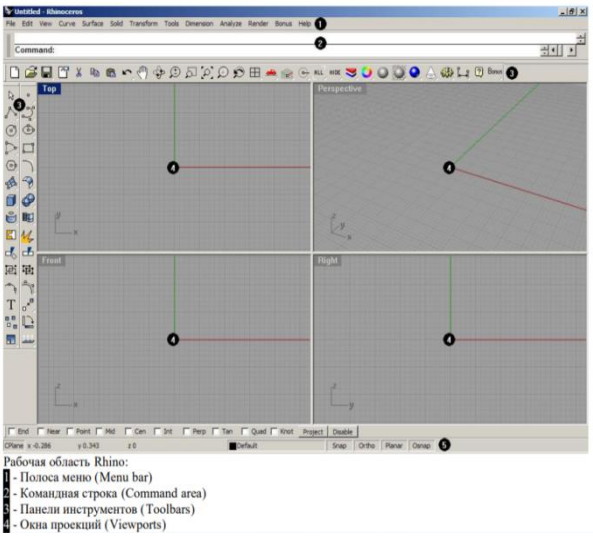

Рис. 2

Рабочая область Rhinoceros разделена на 6 частей, содержащих интерфейсы и основные функции для 3D-моделирования объектов. Описание основных рабочих частей программы представлено в табл. 1 [11].

Таблица 1

Части рабочей области	Описание
Полоса меню (Menu bar)	Содержит команды, опции и справку о программе
Командная строка (Command area)	Отображает команды быстрого доступа к командам и опциям
Панели инструментов (Toolbars)	Содержат клавиши быстрого доступа к командам и опциям
Графическая область (Graphic area)	Отображает загруженную (открытую) модель в нескольких окнах проекции (Viewports) одновременно (по умолчанию 4 окна проекций: сверху (Top), спереди (Front), справа (Right), перспектива (Perspective))
Окна проекций (Viewports)	Отображают модель с различных позиций в графической области
Строка состояния (Status bar)	Показывает координаты точки, состояние модели, опции и переключатели (Toggles)

Для параметрического проектирования колодки использован плагин Grasshopper – визуальный редактор программирования, оперирующий Rhinoceros как основой для создания 3D-моделей [12]. В Grasshopper вычислительные блоки и компоненты соединяются между собой, образую схему программы для генерации 3D-модели.

Для демонстрации работы Grasshopper ниже приведен пример вычитания целых чисел, в котором блоки программы используются для передачи чисел и выполнения операции вычитания (рис. 3).

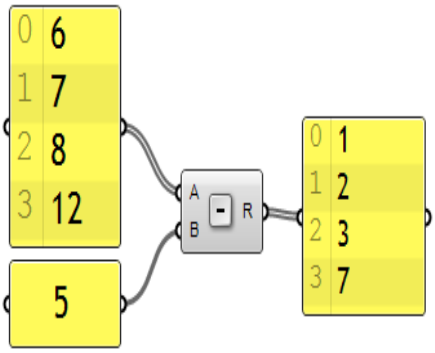

Рис. 3

На рис. 3 показано подключение трех блоков к компоненту вычитания. Два желтых блока слева представляют собой хранилища чисел. В верхнем блоке слева хранятся четыре целых числа (6, 7, 8 и 12), а в нижнем блоке хранится только одно значение – 5. Эти значения передаются в компонент вычитания и преобразуются в выходные значения ($6 - 5 = 1$; $7 - 5 = 2$; $8 - 5 = 3$; $12 - 5 = 7$).

В Grasshopper существует несколько основных компонентов, которые используются при проектировании колодок. Ниже перечислены некоторые из них:

«Curve» (Кривая) – компонент, являющийся базовым элементом для создания сплайнов. Он позволяет генерировать различные типы кривых, такие как Безье-кривые, B-сплайны, NURBS-кривые и другие. Компонент «Curve» допускает задание контрольных точек и определение их положения для формирования желаемой кривой.

«Interpolate» (Интерполяция) – этот компонент используется для интерполяции кривых на основе набора точек и позволяет автоматически создавать сплайны, проходящие через заданные точки. «Interpolate» обеспечивает гладкое соединение между точками и построение плавных кривых.

«Control Point Curve» (кривая с контрольными точками) – компонент, позволяющий создавать кривые по заданным контрольным точкам и их весам. Он предоставляет возможность для определения формы кривой, контроля ее кривизны и направления.

«Blend Curve» (соединение кривых) – этот компонент используется для построения плавных переходов или соединений между двумя кривыми. Он формирует плавные сплайны, которые непрерывно переходят от одной кривой к другой.

Перечисленные инструменты использованы при проектировании колодки по заданным параметрам. На рис. 4 представлен фрагмент схемы соединения компонентов в Rhinoceros: по контрольным точкам осуществляется проектирование контура следа колодки.

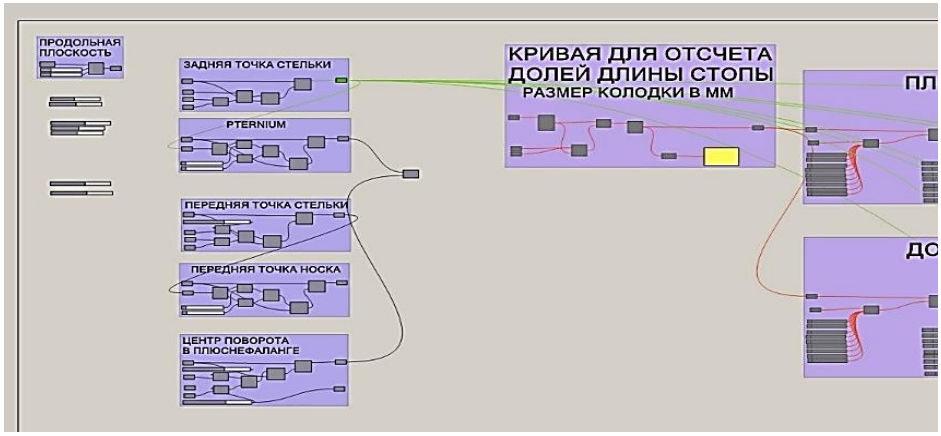

Рис. 4

Разработка формы колодки начинается с задания исходных данных для последующего проектирования с использованием радиусографического метода [13]. Для этого первоначально рассчитывают параметры контура следа колодки – координаты *x, y,* используя формулы:

$$\alpha = i\frac{\pi}{n}, \quad (1)$$

$$x = \frac{L}{2}\,sin\alpha\,, \quad (2)$$

$$y = \sum_1^k a_k cosk\alpha + b_k sink\alpha\,, \quad (3)$$

где *x, y* – координаты точек рассматриваемого контура; i – порядковый номер узловых точек, принятых для интерполирования контура (0, 1, 2, 3, …, n); k – число гармоник тригонометрического полинома (для n точек $k = n/2$); L – полный период рассматриваемой функции.

При построении контрольного шаблона и контура стельки необходимо использовать коэффициенты зависимости длины отрезков контрольного шаблона от ширины стельки (табл. 2) [14].

Таблица 2

Сечение	Отрезок*	Группа колодок							
		0-1	2-3	4 (*)	5	6 (*)	7	8	9
	Ширина стельки в сечении 0,18Д								
0,18Д	1	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
	2	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Ширина стельки в сечении 0,68Д									
0,50Д	2	0,55	0,54	0,54	0,54	0,55	0,54	0,53**	0,54
0,62Д	2	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
0,68Д	2	0,63	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65**	0,65
0,73Д	1	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
0,80Д	2	0,63	0,64	0,62	0,62	0,62	0,62	0,60**	0,60
0,90Д	1	0,44	0,41	0,40	0,37	0,40	0,38	0,37***	0,37

* Отрезок внутренний 1 и наружный 2 от продольной оси следа колодки;
** Коэффициент указан для женских колодок с низкой приподнятостью пяточной части. Для колодок со средней и высокой приподнятостью установлены следующие коэффициенты соответственно: в сечении 0,50Д – 0,52 и 0,51; в сечении 0,68Д – 0,66 (для обоих случаев); в сечении 0,80Д – 0,62 и 0,63;
*** Коэффициент в сечении 0,90Д в колодках для женской модельной обуви допускается 0,36;
(*) Коэффициенты для колодок групп 4 ,5, 6 и 7 одинаковы за исключением 0,90Д .

Вычислив координаты контрольных точек, обращаются к инструменту Rhinoceros «Control Point Curve» (кривая с контрольными точками) для построения сплайн-линий контура следа колодки (рис. 5) [15, 16].

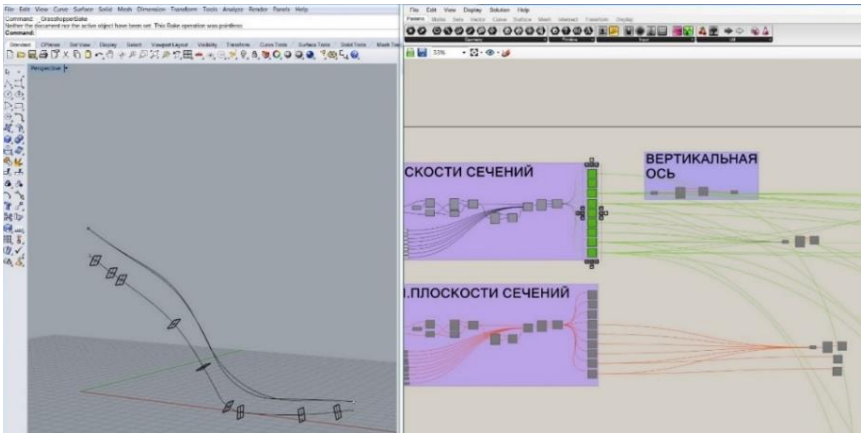

Рис. 5

Сдвиг S_c следа колодки в пяточной части стопы определяется по формуле:

$$S_c = 0{,}02Д + 0{,}05Н, \qquad (4)$$

где Н и Д здесь и далее – приподнятость пяточной части колодки и длина стопы соответственно [13].

Высоту приподнятости носочной части $h_н$ над плоскостью опоры определяют:

$$h_н = 0{,}067Д - 0{,}1Н. \qquad (5)$$

Приподнятость пяточной части колодки составляет 100 мм. Высота установочной площадки колодки $B_к$ находят:

$$B_к = 0{,}2Д + 20. \qquad (6)$$

Обхват колодки $O_к$ через наружный и внутренний пучки определяют:

$$O_к = O_{ст}k, \qquad (7)$$

где $O_{ст}$ – обхват плюснефалангового сочленения стопы; k – коэффициент, выражающий соотношения обхватов стопы и колодки [13].

Следующие параметры, которые используются при проектировании, – это периметры сечений колодки, при расчете которых учитываются периметры сечений стопы, деформационные свойства материалов, из которых планируется изготавливать обувь, и допустимые пределы воздействия обуви на стопу:

$$O_к = \frac{O_{ст}(1 - 0.01\varphi)}{K_у(1 - 0.01\varepsilon)}, \qquad (8)$$

где $O_к$ – периметры сечений колодки; $O_{ст}$ – периметры одноименных сечений стопы; $K_у$ – коэффициенты усадки верха обуви; φ – значение деформации стопы обувью; ε – относительная деформация верха обуви [13].

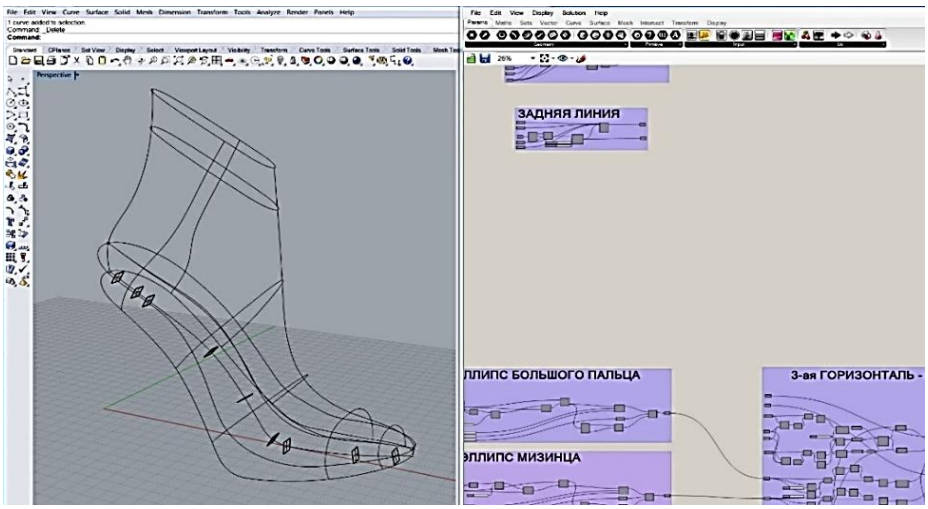

Рис. 6

Соотношение характеристик ширины стопы и колодки определяют по формуле:

$$У_к = У_с(1 + К_ш), \qquad (9)$$

где Ук – ширина колодки; Ус – ширина стопы.

Значения сравнительных коэффициентов $К_ш$ поперечных размеров внутренней 1 и наружной 2 стороны среднетипичной стопы представлены в табл. 3 [15].

Таблица 3

Поперечное сечение Д(х)	Для линии габарита		Для горизонталей, мм													
			5		15		24		35		45		53		65	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
0,07	0,1	0,2	0,05	0,07	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
0,18	0,0	0,05	0,03	0,03	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
0,3	0,2	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
0,4	0,2	0,1	0,04	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,4	0,4
0,5	0,2	0,1	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0	0,2	0,3	0,2
0,56	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,05	0,3	0,1	0,3	0,1	0	0,2	-
0,62	0,1	0,1	0	0,03	0,1	0,1	0,1	0,2	0	0,3	0,1	0,1	-	-	-	-
0,68	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0	0	0	0	-	-	-	-
0,73	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,06	0,05	0	0	-	-	-	-	-	-
0,8	0,0	0,04	0,2	0,2	0,05	0,06	0,06	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
0,9	0,0	002	-0,1	-0,1	0,02	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-

Далее, используя инструменты Rhino, например «Edge curves», воссоздается 3D-модель колодки. Предварительно могут быть построены вспомогательные сечения (рис. 7). Результаты работы программы демонстрирует полученная трехмерная модель колодки (рис. 8) [16].

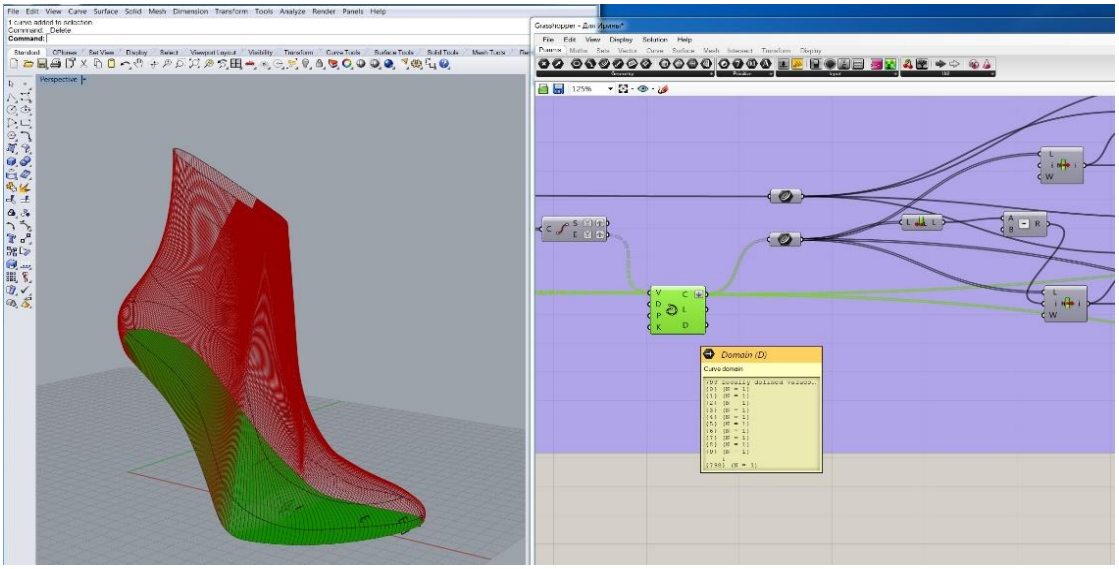

Рис. 7

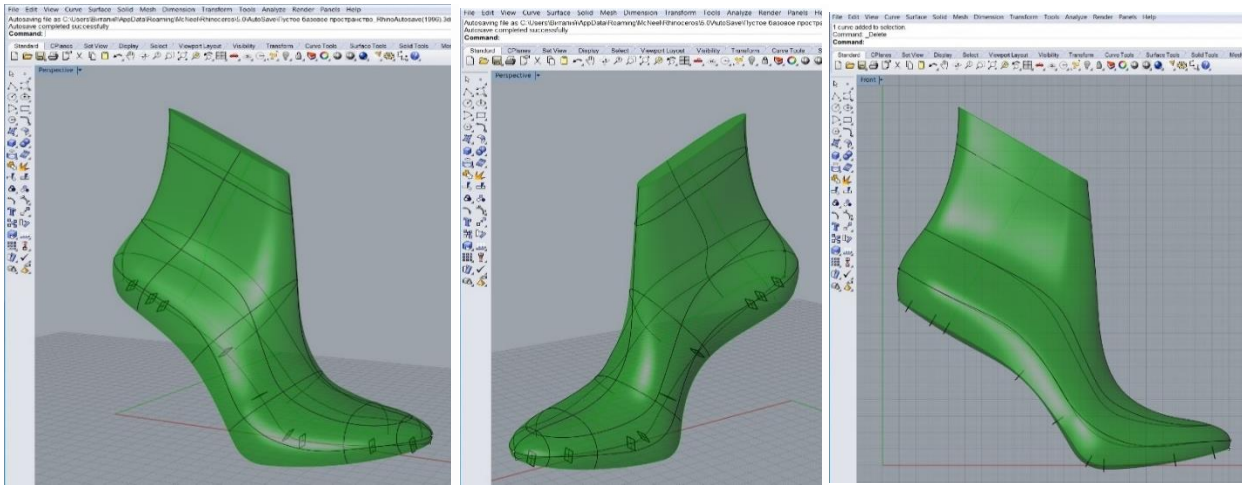

Рис. 8

Результаты и обсуждения

Отличительной особенностью Rhinoceros является возможность сохранения полученной модели в широком диапазоне форматов хранения, таких как .stl, .obj, .igs и других. Это означает, что полученные 3D-модели колодок при необходимости могут быть импортированы в программы моделирования обуви и оснастки для редактирования и конструирования других элементов обуви: конструктивной основы верха, деталей низа и др. Кроме того, выходные форматы хранения данных Rhinoceros подходят для дальнейшего изготовления колодок на станках с ЧПУ или печати на 3D-принтерах.

ВЫВОДЫ

В целом Rhinoceros позволяет создавать эргономичные и эстетически привлекательные колодки благодаря мощным инструментам и гибкости в настройке параметров. Привлекательность программы заключается в том, что исходными данными для проектирования являются антропометрические характеристики стопы. Пользователю нужно задать необходимые параметры, а программа по разработанной методике автоматически смоделирует колодку. Предлагаемые решения могут быть интересны для предприятий, специализирующихся на производстве высококаблучной обуви.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лиокумович В.Х.* Конструирование обуви: учебник для проф.-техн. учеб. заведений. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 176 с.
2. *Ковалев А.Л., Горбачик В.Е.* Влияние высоты приподнятости пяточной части на угол изгиба женской обуви // Конструирование и технология изделий из кожи: сб-к науч. тр. М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1990. С. 113…116.
3. *Czobor L.* Labbelik najlekonysera // Bőrés cipőipari Kutató-feilestő vállalat. Kutatási ezedményck. Budapest, 1986. P. 101…108.
4. Kräfte und Beanspruchungen am Schuhboden. Schuh-Technik, 1976, № 3, P. 176…181.
5. *Николаева Т.А.* Разработка методов и средств совершенствования внутриобувного пространства: дис. … канд. техн. наук. СПб., 1999. 217 с.
6. *Кокорев Б.С.* Разработка инновационной технологии создания индивидуальной обувной колодки для обуви повышенной комфортности: дис. … канд. техн. наук. Казань, 2015. 180 с.
7. *Александров С.П., Бердникова И.П., Кокорев Б.С.* Исследование взаимодействия стопы и высококаблучной обуви в фазе полной опоры // Технологии XXI века в легкой промышленности. 2015. № 1. С. 1…10.
8. *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 // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2 (398). С. 329…333.
9. *Рубцова И.В., Костылева В.В., Каганович В.Л.* Проектирование геометрического образа обувной колодки по показателям распределения плантарного давления женской обуви на высоком каблуке // Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности (ИНТЕКС-2020). Ч. 3. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. С. 172…175.
10. https://www.rhino-3d.ru/rhinoceros/ (дата обращения: 11.02.2024 г.).
11. *Фомин Б.* Rhinoceros. NURBS. Моделирование для Windows, или Русский носорог: справ. руководство. – http://rhino-rus.narod.ru/manual-2637362 /Part-rhino-1.pdf (дата обращения: 11.02.2024).
12. Пособие по Grasshopper. – http://grasshopperprimer.com/ru/ (дата обращения: 11.02.2024)
13. *Фукин В.А.* Теоретические основы проектирования внутренней формы обуви. М.: МГУДТ, 2000. 188 с.
14. *Ключникова В.М. и др.* Практикум по конструированию изделий из кожи: учеб. пособие для студентов вузов. М.: Легпромбытиздат, 1985. 336 с.
15. *László V., Magda M.* Handmade Shoes for men. Konemann, 1999, 215 p.
16. *Рубцова И.В., Костылева И.В., Каганович В.Л.* Проектирование вкладной стельки на основе геометрического образа обувной колодки по показателям распределения плантарного давления женской обуви на высоком каблуке // Дизайн и технологии. 2020. № 76 (118). С. 18…21.

REFERENCES

1. *Liokumovich V.Kh.* Shoe design: textbook for vocational and technical educational institutions. Moscow: Light and food industry, 1981. 176 p.
2. *Kovalev A.L., Gorbachik V.E.* The influence of the heel elevation height on the bending angle of women's shoes // Design and technology of leather products: Collection of scientific papers. Moscow: TSNIITEI-legprom, 1990. P. 113...116.

3. *Czobor L.* Labbelik najlekonysera // Bőrés cipőipari Kutató-feilestő vállalat. Kutatási ezedmények. Budapest, 1986. P.101...108.

4. Kräfte und Beanspruchungen am Schuhboden. Schuh-Technik, 1976, No. 3, P. 176...181.

5. *Nikolaeva T.A.* Development of methods and means of improving the interior space: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. St. Petersburg, 1999. 217 p.

6. *Kokorev B. S.* Development of innovative technology for creating individual shoe pads for high-comfort shoes: dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Kazan, 2015. 180 p.

7. *Alexandrov S.P., Berdnikova I.P., Kokorev B.S.* Investigation of the interaction of the foot and high-heel shoes in the phase of full support // Technologies of the XXI century in light industry. 2015. No. 1. P. 1...10.

8. *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 Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 2 (398). P. 329...333.

9. *Rubtsova I.V., Kostyleva V.V., Kaganovich V.L.* Designing a geometric image of a shoe block according to the indicators of plantar pressure distribution of women's high-heeled shoes // Innovative development of the light and textile industry (INTEX-2020). Part 3. Moscow: Kosygin Russian State University, 2020. P. 172...175.

10. https://www.rhino-3d.ru/rhinoceros / (date of application: 02/11/2024).

11. *Fomin B.* Rhinoceros. NURBS. Simulation for Windows or Russian Rhinoceros. Reference guide. – http://rhino-rus.narod.ru/manual-2637362/Part-rhino-1.pdf (date of reference: 02/11/2024).

12. Grasshopper Manual. – http://grasshopper-primer.com/ru/ (date of reference: 02/11/2024)

13. *Fukin V.A.* Theoretical foundations of designing the inner shape of shoes. Moscow: MGUDT, 2000. 188 p.

14. *Klyuchnikova V.M. et al.* Workshop on designing leather goods: a teaching aid for university students. Moscow: Legprombytizdat, 1985. 336 p.

15. *László V., Magda M.* Handmade Shoes for men. 1999, Konemann, 215 p.

16. *Rubtsova I.V., Kostyleva I.V., Kaganovich V.L.* Designing an insole based on the geometric image of a shoe block according to the indicators of plantar pressure distribution of women's high-heeled shoes // Design and technologies. 2020. № 76 (118). P. 18...21.

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