

## ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОБУВИ

## WEB APPLICATIONS IN SHOE MANUFACTURING

А.Н. МАКСИМЕНКО, В.В. КОСТЫЛЕВА, И.Б. РАЗИН

A.N. MAKSIMENKO, V.V. KOSTYLEVA, I.B. RAZIN

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

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

E-mail: all-max@mail.ru, kostyleva.vv@mail.ru, igor-razin@yandex.ru

*В статье рассмотрены вопросы развития обувной промышленности в условиях цифровизации процессов моделирования и проектирования изделий. Определена значимость свободного и беспрепятственного доступа специалистов обувной промышленности к цифровым инструментам проектирования обуви и оснастки. Выделены основные направления автоматизации проектирования обуви, включающие процессы моделирования колодок, проектирования конструктивной основы верха обуви, подошв и оснастки. Раскрыта структура распространенного формата представления трехмерных геометрических моделей – .STL. Описаны способы трехмерного масштабирования моделей в формате .STL. Показано применение библиотеки `numpy-stl` в решении задач модификации трехмерных моделей. Представлено описание алгоритмов градирования моделей обувных колодок. Дана оценка скорости выполнения алгоритма градирования в среде `Google Compute Engine`. Показано применение фреймворка `Flask` в реализации алгоритмов градирования обувных колодок в сетевой среде. Полученные результаты свидетельствуют о применимости инструментов разработки веб-приложений в решении задач проектирования обуви и оснастки и могут быть использованы для дальнейшего развития цифровой инфраструктуры обувной промышленности.*

*The article discusses the development of the footwear industry in the context of digitalization of modeling and product design processes. The importance of free and unhindered access for footwear industry specialists to digital tools for designing footwear and equipment has been determined. The main directions of automation of shoe design, including the processes of modeling lasts, designing the structural basis of shoe uppers, soles and equipment are identified. The structure of a common format for representing three-dimensional geometric .STL models is revealed. Methods for three-dimensional scaling of models in .STL format are described. The use of the `numpy-stl` library in solving problems of modifying three-dimensional models is shown. A description of algorithms for grading shoe last models is presented. An estimate of the speed of execution of the grading algorithm in the `Google Compute Engine` environment is given. The use of the `Flask` framework in the implementation of algorithms for grading shoe lasts in a network environment is shown. The results obtained indicate the applicability of web application development tools in solving problems of designing footwear and equipment and can be used for the further development of the digital infrastructure of the footwear industry.*

**Ключевые слова:** веб-приложения, конструирование и моделирование обуви, разработка приложения, градирование, обувные колодки.

**Keywords:** web applications, shoe design and modeling, application development, gradation of shoe pads.

### *Введение*

Во втором десятилетии двадцать первого века стремительное развитие получили технологии создания веб-сервисов и распределенных приложений. В сложившихся условиях имеется возможность совершенствования инфраструктуры цифровых решений в обувной промышленности [1].

Важнейшими элементами цифрового ландшафта изготовителей обуви являются системы автоматизированного проектирования. На предприятиях конструирование обуви выполняется при помощи компьютерных программ и периферийных устройств, что существенно сокращает время создания комплекта конструкторско-технологической документации. Отдельные программные модули реализуют функции моделирования оснастки для производства обуви и сопутствующих изделий [2].

Использование таких программ, как правило, сопряжено с покупкой лицензий, что в целом ограничивает цифровизацию и развитие отрасли. Зачастую участники производства обуви вынуждены обращаться к обладателям лицензий для реализации тех или иных идей по разработке моделей.

Заметим, что многие инструменты для программирования и разработки программных приложений, 3D-моделирования, графического дизайна и др. распространяются бесплатно или на условиях учебных лицензий. Свободный доступ к программам моделирования, конструирования обуви и оснастки создаст условия для повышения квалификации специалистов обувной промышленности, скорейшего появления на рынке новых компаний и моделей обуви.

### *Объекты и методы исследования*

Среди направлений автоматизации и цифровизации процессов проектирования обуви можно выделить основные: моделирование колодок, конструирование верха обуви, проектирование подошв и оснастки (рис. 1).



Рис. 1

Все большей популярностью пользуется формат работы с трехмерными моделями. Основными источниками файлов с трехмерными моделями являются системы автоматизированного проектирования и комплексные системы объемного сканирования объектов.

Интерес представляют исследования в области разработки обувных колодок [3]. Как правило, специалисты вручную изготавливают мастер-модель колодки, после чего создают ее цифровую версию. В дальнейшем она может быть использована для изготовления серии колодок, конструирования деталей верха и низа обуви.

Одной из задач, которая часто решается в работе с обувными колодками, является градирование, которое выполняется как на обувных фабриках, так и на заводах, специализирующихся на массовом производстве колодок. Большинство участников обувного производства хранят файл с цифровой копией колодки в единственном размере. Поэтому задача создания открытой информационной системы для градирования колодок и получения серии размеров остается актуальной.

Распространенными форматами хранения трехмерных моделей колодок и оснастки являются: `.stl`, `.obj`, `.igs`. Рассмотрим структуру хранения данных в формате

.stl. STL-файл может быть текстовым (ASCII) или двоичным. Информация об объекте хранится как список треугольных граней, которые определяют его поверхность и ее нормали. Расположение треугольников в трехмерном пространстве представляется тремя вершинами *vertex*. Каждая вершина *vertex* имеет три координаты  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Подробное описание формата приведено в [4]. Фрагмент текстового (ASCII) STL-файла:

```
facet normal 0 1 0
  outer loop
    vertex 1 1 1
    vertex -1 -1 1
  endloop
endfacet
```

Наглядная демонстрация построения простейшей фигуры в формате STL представлена на рис. 2. Фигура состоит из 8 вершин и 12 треугольников. Изменяя значения координат вершин фигуры, можно провести различные ее преобразования.

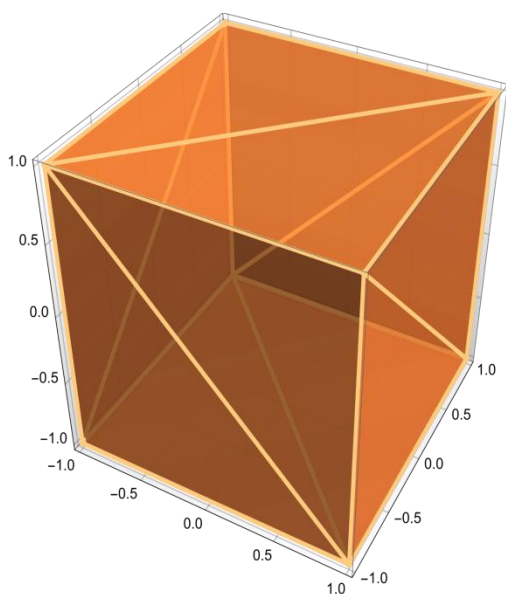


Рис. 2

При переходе от размера к размеру сложная поверхность колодки подвергается аффинным преобразованиям, что влечет за собой трудности в расчете серии, особенно

при одновременном изменении ее длины и ширины.

Аффинное масштабирование фигуры можно провести, применив матрицу  $M_{3 \times 3}$  к координатам вершин:

$$M = \begin{bmatrix} m_x & 0 & 0 \\ 0 & m_y & 0 \\ 0 & 0 & m_z \end{bmatrix},$$

$$vertex(x, y, z) \cdot M = vertex_m(x, y, z). \quad (1)$$

Указанные преобразования можно выполнить, используя практически любой язык программирования. Однако для решения поставленных задач наиболее привлекательны языки, пригодные для разработки веб-приложений и предоставляющие широкие возможности для работы с трехмерными объектами. Обратимся к некоторым из них.

Для высокоуровневого языка программирования с динамической типизацией Python разработана библиотека `numpy-stl` [5]. Первый выпуск библиотеки состоялся в 2014 году. С тех пор разработчики регулярно выпускают обновления, совершенствуя и дополняя библиотеку новыми функциями. Зрелость и поддержание библиотеки в актуальном состоянии являются достаточным основанием для того, чтобы использовать ее в настоящем исследовании.

В `numpy-stl` доступ к вершинам осуществляется с помощью метода `points`. Последовательно применяя коэффициенты матрицы масштабирования ко всем вершинам фигуры, можно добиться нужного преобразования. Временную сложность такого алгоритма можно оценить как  $O(n)$ , то есть скорость выполнения преобразования линейно зависит от объема входных данных. В среднем обувные колодки в формате `.stl` имеют до 80000 вершин. Скорость выполнения алгоритма масштабирования фигуры для такого количества вершин в среде Google Compute Engine, доступной по умолчанию, составляет 6 секунд, что говорит о его промышленной применимости.

От общей задачи компьютерного масштабирования трехмерных объектов перей-

дем к частному случаю градирования обувных колодок. Для этого необходимо определить значения коэффициентов  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$ , которые будут соответствовать шагу градирования по длине, ширине и высоте колодки. Эти коэффициенты в различных системах нумерации отличаются.

При переходе от одного размера к смежному длина развертки следа колодки изменяется на 5 мм в метрической и на 6,(6) мм в штихмассовой системах нумерации. Ширина развертки следа колодки в пучковой части изменяется примерно на 1 мм в метрической системе или на 1,(3) мм в штихмассовой. Значения  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  определяются следующими выражениями [6]:

$$m_x = 1 + n \frac{\Delta L}{L}, \quad (2)$$

$$m_y = 1 + n \frac{\Delta B_{0.68}}{B_{0.68}}, \quad (3)$$

$$m_z = 1 + n \frac{\Delta H}{H}, \quad (4)$$

где  $\Delta L$  – изменение по длине при переходе от размера к размеру;  $\Delta B_{0.68}$  – изменение по ширине в сечении 0.68 Дст;  $\Delta H$  – изменения по высоте.

Параметры  $L$ ,  $B$  и  $H$  – это размеры исходной колодки по длине, ширине и высоте соответственно. Параметр  $n$  – целое число, как положительное, так и отрицательное, определяющее число номеров между искомым и исходным размерами. Подробное описание систем градирования обувных колодок, реализованных в программе, приведено в [3, 6...8].

#### Результаты и обсуждение

В результате имплементации имеющихся соотношений в программный алгоритм масштабирования объектов нами предлагается веб-приложение для градирования колодок в формате .stl. Для разработки каркаса приложения использован веб-фреймворк Flask [9], как наиболее подходящий планируемой микросервисной архитектуре комплекса веб-приложений, исполняющей функционал применительно к производству обуви. На рис. 3 представлены результаты работы программы: продольные сечения исходной (синий) и отградированной (черный) на один размер колодок.

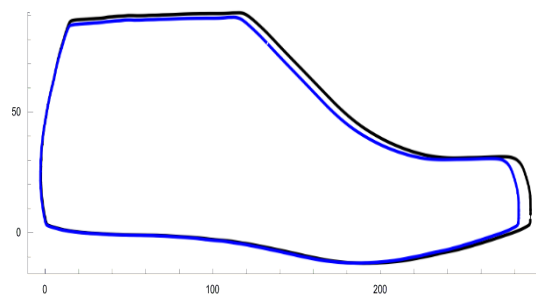


Рис. 3

Приложения, разработанные под Flask, легко упаковать в контейнеры Docker [10], которые допускают изоляцию процессов и абстрагируют большую часть работы по развертыванию новых версий приложений и их масштабированию.

## ВЫВОДЫ

В текущей версии программы реализованы функции импортирования колодок в систему, градирования в метрической и штихмассовой системах, управления шагом градирования по длине и полноте со стороны пользователя и экспортирования отградированных колодок на компьютер пользователя. Дальнейшее развитие программы может быть выполнено в части реализации алгоритма автоматического сегментирования модели и решения задачи распознавания грани следа колодки на основе методов вычисления кривизны поверхности [11].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зорин Л.Б., Зорина Н.В., Холопов В.А. Индустрия 4.0: подходы и перспективы использования в легкой промышленности // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2 (398). С. 21...30.
2. 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.
3. Киселев С.Ю., Макарова Н.А., Козлов А.С., Королькова А.А. Формирование каркаса поверхности обувной колодки при 3D-моделировании // Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий:

опыт, практика и перспективы: сб-к науч. тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. М., 2023. Т. 2. С. 188...193.

4. The StL Format, Standard Data Format for Fabbers. – [http://www.fabbers.com/tech/STL\\_Format](http://www.fabbers.com/tech/STL_Format) (дата обращения 19.11.2023).

5. Library to make reading, writing and modifying both binary and ascii STL files easy. – <https://pypi.org/project/numpy-stl/> (дата обращения 19.11.2023).

6. *Разина Е.И., Костылева В.В.* Концепция зонного автоматизированного градирования деталей обуви // Научный журнал «Костюмология». 2021. №2. – <https://kostumologiya.ru/PDF/13TLKL221.pdf>

7. ГОСТ 3927-88. Колодки обувные. Общие технические условия. – <https://docs.cntd.ru/document/1200019187?ysclid=lp4wy436tv624117871> (дата обращения 19.11.2023)

8. *Горбачик В.Е., Башкина В.Н.* Изменение параметров следа женских колодок в серии // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2018. № 1 (34). С. 12...17.

9. Flask is a lightweight WSGI web application framework. – <https://flask.palletsprojects.com/en/latest/> (дата обращения 19.11.2023)

10. Docker. – <https://www.docker.com/> (дата обращения 19.11.2023)

11. *Meyer M., Desbrun M., Schröder P., Barr H.* Discrete Differential-Geometry Operators for Triangulated 2-Manifolds // International Workshop on Visualization and Mathematics, Berlin, Germany. 2002. P. 35...37.

#### REFERENCES

1. *Zorin L.B., Zorina N.V., Kholopov V.A.* Industry 4.0: approaches and prospects for use in light industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022 № 2 (398) P. 21...30

2. *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

3. *Kiselev S.Yu., Makarova N.A., Kozlov A.S., Korolkova A.A.* Formation of the shoe block surface frame in 3D modeling // Fundamental and applied scientific research in the field of inclusive design and technology: experience, practice and prospects. Collection of scientific papers of the IX International Scientific and practical conference. Moscow, 2023. Vol. 2. P. 188...193.

4. The StL Format, Standard Data Format for Fabbers. – [http://www.fabbers.com/tech/STL\\_Format](http://www.fabbers.com/tech/STL_Format) (date of application 19.11.2023).

5. Library to make reading, writing and modifying both binary and ascii STL files easy. – <https://pypi.org/project/numpy-stl/> (date of application 19.11.2023).

6. *Razina E.I., Kostyleva V.V.* The concept of zone automated graduation of shoe parts // Scientific journal "Costumology". 2021. №2. – <https://kostumologiya.ru/PDF/13TLKL221.pdf>

7. ГОСТ 3927-88 Shoe pads. General technical conditions. – <https://docs.cntd.ru/document/1200019187?ysclid=lp4wy436tv624117871> (date of application: 19.11.2023)

8. *Gorbachik V.E., Bashkina V.N.* Changing the parameters of the track of women's pads in a series, Bulletin of the Vitebsk State Technological University, 2018. № 1 (34). P. 12...17.

9. Flask is a lightweight WSGI web application framework. – <https://flask.palletsprojects.com/en/latest/> (date of application 19.11.2023)

10. Docker. – <https://www.docker.com/> (date of application 19.11.2023).

11. *Meyer M., Desbrun M., Schröder P., Barr H.* Discrete Differential-Geometry Operators for Triangulated 2-Manifolds // International Workshop on Visualization and Mathematics, Berlin, Germany. 2002. P. 35...37.

Рекомендована кафедрой информационных технологий РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 31.01.24.