

УДК 685.34.03

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-3(10)-65-75

Исследование свойств обувных материалов с реконфигурируемой структурой

В. В. Костылева^{*1}, А. И. Карасева^{*}, О. Б. Коновалова^{*}, О. В. Сироткина^{*}

**Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

Аннотация

В процессе исследований установлено, что в аддитивном производстве решетчатые структуры — ключевая концепция. Они встречаются в природе и часто используются в технике из-за таких свойств, как высокое отношение жесткости к плотности и пространственно-изменяющееся поведение материала. На этом фоне из материалов с реконфигурируемой структурой для 3D-моделирования обуви привлекательными представляются ауксетика, некоторые из которых построены с использованием двумерных паттернов складывания на основе таких оригами-структур как «миура-ори» или «шаблон Рона Реша». Для проектирования подобных структур нужна определенная проектная среда. Для этого в работе рассмотрены инструменты параметрического проектирования с проектной логикой, позволяющей создавать алгоритмы объектов или процессов любой сложности. По результатам проведенного в работе анализа, выявлено, что таким требованиям в наибольшей степени отвечает среда 3D-проектирования Rhinoceros и язык визуального программирования Grasshopper. Разработанный ряд алгоритмов позволил реализовать 48 цифровых моделей реконфигурируемых поверхностей. В статье приводятся результаты физико-механических испытаний 4 из 48 моделей экспериментальных материалов. По результатам исследований 10 образцов экспериментальных материалов из фотополимера и ТПУ с 20, 50 и 100% заполнением ячеек каждого вида в форме двухсторонней лопатки толщиной 2.5–3.5 мм согласно ГОСТ Р 54553-2019 установлены: прочность при растяжении (Мпа); удлинение при разрыве (ϵ , %); плотность (г/см^3); твердость по Шору (А). Проведенное сравнение результатов лабораторных исследований с показателями свойств материалов подошв, используемых в производстве АО «Егорьевск-обувь», позволило выявить, что показатели отдельных экспериментальных материалов близки к показателям плотности контрольной резины, подошвы ТЭП ANNA 2 (для сапог, ботинок, осень-весна), подошвы ф. JEANS — ТЭП (туфли или ботинки малодетские, девичьи, осень-весна), подошвы ТЭП туфель летних модели 322107-25, используемых на АО «Егорьевск-обувь».

Ключевые слова

3D-печать, фотополимер, ТПУ, физико-механические свойства, степень заполнения, размер ячеек, реконфигурируемая структура, детали обуви.

¹ Для переписки:

Email: kostyleva-vm@rguk.ru

Работы выполнялись в рамках научного проекта — гранта РФФИ в 2020–2022 гг., договор №20-38-90047/2020 «Параметрическое проектирование материалов с реконфигурируемой трехмерной структурой в производстве товаров народного потребления».

Введение

Сегодня обувная промышленность — это высокотехнологичное производство, активно применяющее системы автоматизированного проектирования обуви (САПРО), что положительно сказывается на его экономической эффективности. В обувной промышленности получили распространение САПРО, поддерживающие форматы 2D и 3D. Эти системы автоматизируют работу с конструктивной основой верха обуви, усредненной разверткой боковой поверхности колодки и разверткой следа обуви [1-3]. Аддитивные технологии охватывают все новые сферы деятельности человека: дизайнеры, архитекторы, медики и представители других профессий используют 3D-принтеры для реализации различных идей и проектов [4, 5].

При выборе метода 3D-печати и расходных материалов для применения в технологии производства обуви нужно руководствоваться задачами проектирования [6-9]. В проведенных нами экспериментах на АО «Егорьевск-обувь» для 3D-печати были использованы:

– оборудование (3D-принтеры): Flying Bear Tornado (FDM); Phrozen Mega 8k (фотополимеризация);

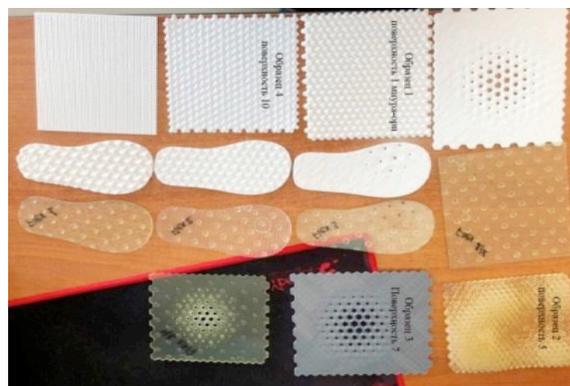
– материалы: ТПУ от Fdplast с диаметром прутка 1.75 мм (для FDM); Phrozen Aqua 4k — фотополимерная смола, HARZ Labs Industrial Flex — добавка к фотополимерной смоле для увеличения пластичности.

Экспериментальные исследования

В испытательной лаборатории отдела контроля качества АО «Егорьевск-обувь» протестированы напечатанные 3D-образцы FDM (ТПУ и STL — фотополимер)

материалов с разными степенью заполнения и размером ячеек (рисунок 1а) четырех разработанных поверхностей [6].

Так как и экспериментальные, и расходные материалы сочетают в себе свойства резины и термоэластопластов, то есть предположительно это материалы для деталей низа обуви, для исследования их свойств и последующего анализа результатов из каждого вида поверхности было получено по 10 образцов в форме двухсторонней лопатки толщиной 2.5–3.5 мм (рисунок 1б) согласно ГОСТ Р 54553-2019 «Национальный стандарт Российской Федерации. Резина и Термоэластопласты. Определение упруго-прочностных свойств при растяжении» [10].



а)



б)

Рисунок 1 — Внешний вид поверхностей образцов (а); экспериментальные образцы материалов для лабораторных испытаний (б)

В ходе физико-механических испытаний установлены прочность при растяжении (МПа), удлинение при разрыве (ϵ , %), плотность (г/см^3) и твердость по Шору (А).

В таблице 1 в качестве примера приведены статистические показатели прочности при растяжении образцов поверхности 1 из фотополимера и ТПУ с различным заполнением ячеек. Статистические показатели прочности при растяжении, удлинения при разрыве (ϵ , %), плотности (г/см^3) и твердости по Шору (А) получены для всех образцов, принятых к испытаниям. Обратимся к анализу результатов

исследования. Для наглядности на рисунке 2 приведены гистограммы изменения прочности при растяжении образцов, принятых к исследованию.

Как видно из рисунка 2, к показателям прочности резины при растяжении максимально приближены образцы 1, 2, 4 из фотополимера со 100% заполнением ячеек и составляют:

- образец 1 (поверхность 1) фотополимер 100% заполнения — 16.034 МПа;
- образец 2 (поверхность 5) фотополимер 100% заполнения — 16.044 МПа;
- образец 4 (поверхность 10) фотополимер 100% заполнения — 16.025 МПа.

Таблица 1 — Статистические показатели прочности при растяжении (Мпа) образцов поверхности 1 из фотополимера и ТПУ с различным заполнением ячеек

Образцы	Материал	Размер ячейки, мм	Заполнение, %	Прочность при растяжении				
				Статистические показатели				
				Средняя арифметическая (M)	Медиана (Me)	Стандартное квадратичное отклонение (σ)	Коэффициент вариаций (CV), %	Средняя ошибка средней арифметической (m)
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2.5-3.5	100	15.79	16.0125	0.40	2.50	0.13
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2.5-3.5	50	13.12	13.105	0.13	1.02	0.04
Образец 1 (поверхность 1)	Фотополимер	2.5-3.5	20	4.99	5.004	0.04	0.74	0.01
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2.5-3.5	100	14.26	14.3205	0.29	2.05	0.10
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2.5-3.5	50	9.22	9.224	0.03	0.32	0.01
Образец 1 (поверхность 1)	ТПУ	2.5-3.5	20	4.84	4.8395	0.04	0.84	0.01

Несколько пониженные показатели прочности резины при растяжении имеют:

- образец 3 (поверхность 7) из фотополимера со 100% заполнением ячеек;
- образец 2 (поверхность 5) из фотополимера с 50% заполнением ячеек и образец 3 (поверхность 7) из фотополимера с 50% заполнением ячеек, для которых они составляют:

- образец 3 (поверхность 7) из фотополимера со 100% заполнением ячеек — 12.948 МПа;
- образец 2 (поверхность 5) из фотополимера с 50% заполнением ячеек — 13.09 МПа;
- образец 3 (поверхность 7) фотополимер с 50% заполнением ячеек — 11.01 МПа.



Рисунок 2 — Гистограмма распределения прочности при растяжении образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек

Для образцов из ТПУ значения показателя прочности при растяжении существенно разнятся с показателями соответствующих образцов из фотополимера. Например:

- образец 1 (поверхность 1) из ТПУ при 100% заполнении показывает прочность при растяжении 14.479 МПа, что меньше прочности при растяжении образца 1 при 100% заполнении из фотополимера — 16.034 МПа. При 50% и 20% заполнении ячеек образца 1 (поверхность 1) из ТПУ показатели прочности при

растяжении также немного ниже, чем у образца 1 (поверхность 1) из фотополимера;

- образцы 2 (поверхность 5) из фотополимера и из ТПУ дают приблизительно равные показатели прочности при растяжении;
- образец 3 (поверхность 7) из ТПУ дает чуть более высокие показатели прочности при растяжении, чем образец 3 (поверхность 7) из фотополимера, при любом заполнении ячеек;
- образец 4 (поверхность 10) из ТПУ демонстрирует показатели прочности при растяжении чуть более низкие, чем образец 4 (поверхность 10) из фотополимера, при любом заполнении ячеек.

Таким образом, на прочность при растяжении влияет как заполнение ячеек, так и их пространственная конфигурация. Причем показатели прочности при растяжении для образцов из фотополимера при 100% заполнении ячеек ближе к аналогичным показателям резины.

На рисунке 3 отображены показатели удлинения при разрыве образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

Как видно из рисунка 3, максимальные удлинения при разрыве демонстрируют образцы 1–4 из фотополимера с 50% заполнением ячеек, для которых показатели равны:

- образец 1 (поверхность 1) — 28.74%;
- образец 2 (поверхность 5) — 38.73%;
- образец 3 (поверхность 7) — 31.56%;
- образец 4 (поверхность 10) — 38.32%.

Таким образом, удлинение при разрыве прямо пропорционально проценту заполнения ячеек и зависит от их

пространственной конфигурации, отвечающей за сохранение формы образцов.

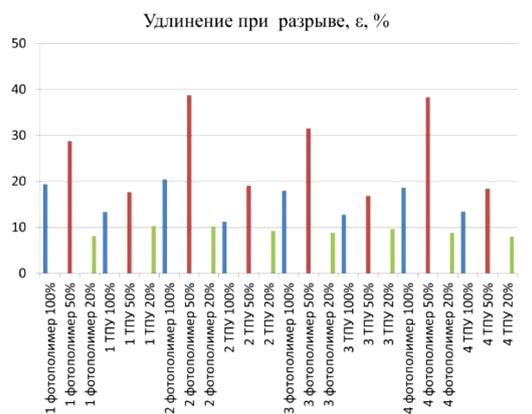


Рисунок 3 — Гистограмма распределения удлинения при разрыве образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек

При 100% заполнении ячеек показатели удлинения при разрыве образцов 1–4 из фотополимера составляют соответственно:

- образец 1 (поверхность 1) — 19.37%;
- образец 2 (поверхность 5) — 20.43%;
- образец 3 (поверхность 7) — 17.97%;
- образец 4 (поверхность 10) — 18.67%;

При 20% заполнении ячеек наблюдается резкое снижение показателя:

- образец 1 (поверхность 1) фотополимер — 8.13%;
- образец 2 (поверхность 5) фотополимер — 10.22%;
- образец 3 (поверхность 7) фотополимер — 8.87%;
- образец 4 (поверхность 10) фотополимер — 8.86%.

Это означает, что при низком заполнении ячеек они становятся более хрупкими. У образцов из ТПУ наблюдается та же закономерность, но менее выраженная.

При 100% заполнении ячеек образцы демонстрируют пространственную стабильность и жесткость, при 50%

заполнении ячеек процент удлинения на разрыв несколько увеличивается, то есть ячейки перед разрывом проявляют незначительное удлинение, а при 20% заполнении ячеек наблюдается резкий спад показателя удлинения, то есть образцы становятся более хрупкими.

Можно сделать вывод, что структура в виде ячеек придает поверхностям пространственную стабильность, которая зависит не только от свойств расходного материала и степени заполнения его ячеек, но и от их конфигурации.

На рисунке 4 отображены показатели плотности образцов из фотополимеров и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

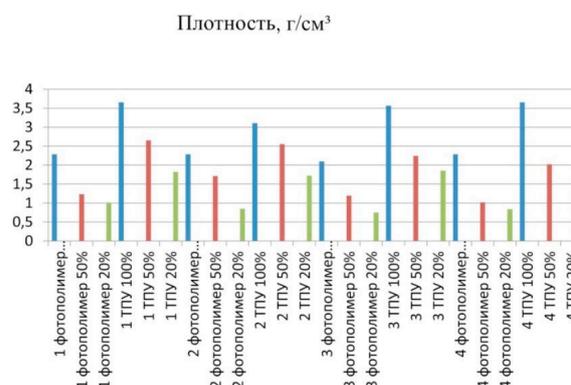


Рисунок 4 — Гистограмма распределения плотности образцов из фотополимеров и ТПУ при разной степени заполнения ячеек

Как видно из рисунка 4, показатели плотности, соответствующие ГОСТ Р 54553-2019, демонстрируют следующие образцы:

- образец 1 (поверхность 1) фотополимер 50% заполнения — 1.231 г/см³;
- образец 2 (поверхность 5) фотополимер 50% заполнения — 1.709 г/см³;
- образец 3 (поверхность 7) фотополимер 50% заполнения — 1.195 г/см³;
- образец 4 (поверхность 10) фотополимер 50% заполнения — 1.117 г/см³;
- образец 1 (поверхность 1) ТПУ 20% заполнения — 1.824 г/см³;

- образец 2 (поверхность 5) ТПУ 20% заполнения — 1.724 г/см³;
- образец 3 (поверхность 7) ТПУ 20% заполнения — 1.856 г/см³;
- образец 4 (поверхность 10) ТПУ 20% заполнения — 1.731 г/см³.

При увеличении степени заполнения ячеек показатели плотности пропорционально увеличиваются, причем у образцов из ТПУ они выше, чем у образцов из фотополимеров:

- образец 1 (поверхность 1) фотополимер 100% заполнения — 2.286 г/см³;
- образец 2 (поверхность 5) фотополимер 100% заполнения — 2.286 г/см³;
- образец 3 (поверхность 7) фотополимер 100% заполнения — 2.098 г/см³;
- образец 4 (поверхность 10) фотополимер 100% заполнения — 2.286 г/см³;
- образец 1 (поверхность 1) ТПУ 100% заполнения — 3.657 г/см³;
- образец 2 (поверхность 5) ТПУ 100% заполнения — 3.108 г/см³;
- образец 3 (поверхность 7) ТПУ 100% заполнения — 3.567 г/см³;
- образец 4 (поверхность 10) ТПУ 100% заполнения — 3.657 г/см³.

Для образцов с регулярной структурой решетки без градиента величины показатели немного выше. То есть значение плотности зависит не только от свойств расходного материала и процента заполнения его ячеек, но и от их пространственной конфигурации.

Обратимся к характеристике твердости по Шору образцов, принятых к исследованию. На рисунке 5 для сравнения отображены показатели твердости по Шору образцов из фотополимера и ТПУ при разной степени заполнения ячеек.

По результатам исследований установлено, что показатели твердости по Шору, соответствующие ГОСТ Р 54553-2019, демонстрируют следующие образцы:

- образец 1 (поверхность 1) фотополимер 50% заполнения — 83;
- образец 1 (поверхность 1) фотополимер 20% заполнения — 73;
- образец 1 (поверхность 1) ТПУ 20% заполнения — 52;
- образец 2 (поверхность 5) фотополимер 20% заполнения — 63;
- образец 2 (поверхность 5) ТПУ 50% заполнения — 74;
- образец 2 (поверхность 5) ТПУ 20% заполнения — 62;
- образец 3 (поверхность 7) фотополимер 20% заполнения — 72;
- образец 3 (поверхность 7) ТПУ 20% заполнения — 81;
- образец 4 (поверхность 10) фотополимер 50% заполнения — 73;
- образец 4 (поверхность 10) фотополимер 20% заполнения — 64;
- образец 4 (поверхность 10) ТПУ 20% заполнения — 78.

Твердость по Шору, А

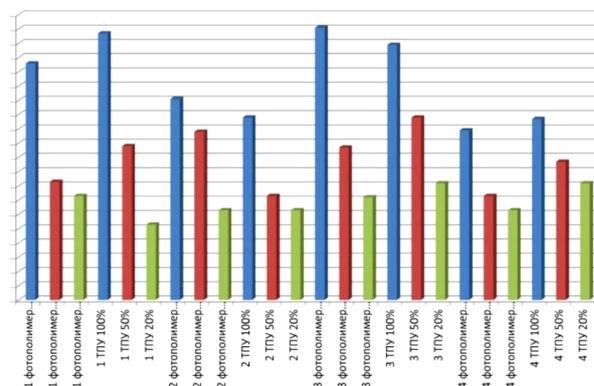


Рисунок 5 — Гистограмма распределения твердости по Шору образцов из фотополимеров и ТПУ при разной степени заполнения ячеек

При увеличении степени заполнения ячеек показатели твердости по Шору пропорционально увеличиваются, причем у образцов из ТПУ они выше, чем у образцов из фотополимеров, за исключением образца 3 поверхности 7.

Заключение

Разработанные алгоритмы — 48 цифровых моделей материалов призваны, с одной стороны, продемонстрировать возможности проектирования с помощью инструмента Grasshopper в среде RhinocerosCAD, с другой — показать, что при соблюдении технических требований к оборудованию 3D-печати, допускающему использование определенных расходных материалов, они реализуемы на практике. Проведенные исследования свойств прототипов материалов позволяют дифференцировать их по назначению, то есть рекомендовать в данном случае для изготовления наружных, внутренних или промежуточных деталей низа. По показателям свойств всех 48 моделей материалов можно будет дать рекомендации по их использованию как для изготовления отдельных деталей, так и обуви в целом.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лабораторий 3D-печати, отдела контроля качества и лично генеральному директору АО «Егорьевск-обувь» Сорокину Сергею Викторовичу за предоставленную возможность проведения экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Бекк В. Г. Разработка математического обеспечения процесса проектирования обувной заготовки, формуемой на автоматизированных обтяжно-затяжных машинах: Дисс... канд. техн. наук. М., 1989, 230 с.

[2]. Бекк Н. В. Развитие теоретических и методологических основ формирования промышленных коллекций изделий из кожи с использованием информационных технологий: Дис. ... доктора технических наук. Москва, 2002, 450, 152 с.

[3]. Буй В. Х. Разработка метода получения антропометрических данных и

проектирования внутренней формы обуви с использованием цифровых и информационных технологий (На примере антропометрии вьетнамских школьников): Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2006. 200 с.

[4]. Коновалова О. Б., Костылева В. В. Экзоскелетон – роботизированный костюм будущего. *Материалы международного научно-исследовательского конкурса научно-практических работ студентов, аспирантов и сотрудников ВУЗов*, 2019, с. 20–29.

[5]. Коновалова О. Б., Костылева В. В., Федосеева Е. В. Особенности создания обуви с использованием 3D-технологий и 3D-печати. *Научный журнал «Костюмология»*. 2022, №1, Том 7. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL122.pdf>

[6]. Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О. А., Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: группа крупнотоннажных полимеров. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 2022, № 2(398), с. 304–311.

[7]. Коновалова О.Б., Минец В.В., Бокова Е.С., Костылева В.В., Белицкая О. А., Полимерные материалы для 3D-печати и возможность их применения в обувном производстве: ассортимент пластмасс инновационной функциональности», *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 2021, № 5 (395), с. 262–267.

[8]. Konovalova O. V. and Yumashev E. M. 3D printing of individual shoes using natural fibers, Opportunities and Prospects/International Conference on Textile and Apparel Innovation (ICTAI 2021) <https://aip.scitation.org/toc/apc/2430/1?windowStart=50&size=50>

[9]. Коновалова О. Б., Костылева В. В. Моделирование и

прототипирование в легкой промышленности. *Сборник докладов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2021)», Ч. 1, с. 140–145.*

[10]. ГОСТ Р 54553-2019 Национальный Стандарт Российской Федерации Резина и термоэластопласты. Определение упругопрочностных свойств при растяжении
<https://docs.cntd.ru/document/1200167688?ysclid=lpjcsn6ml8804585245>

Костылева Валентина Владимировна — д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой «Художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи», Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Карасева Алина Игоревна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Коновалова Ольга Борисовна — аспирант кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Сироткина Олеся Викторовна — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи, Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Study of the properties of footwear materials with reconfigurable structure

V. V. Kostyleva^{*1}, A. I. Karaseva^{*}, O. B. Konovalova^{*}, O. V. Sirotkina^{*}

**The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia*

Abstract

During our research, we found that lattice structures are a key concept in additive manufacturing. They occur naturally and are often used in engineering due to properties such as high stiffness-to-density ratio and spatially varying behavior of the material. Against this backdrop of reconfigurable materials, auxetics appear attractive for 3D shoe modeling, some of which are constructed using 2D folding patterns based on origami structures such as the "miura-ori" or "Ron Resch pattern". To design such structures, a specific design environment is needed. For this purpose, the work considers parametric design tools with design logic that allows to create algorithms for objects or processes of any complexity. According to the results of our analysis, the 3D design environment "Rhinceros" and the visual programming language "Grasshopper" best meet these requirements. The developed series of algorithms made it possible to implement 48 digital models of reconfigurable surfaces. The article presents the results of physical and mechanical tests of 4 out of 48 models of experimental materials. Based on the results of studies of 10 experimental materials samples from photopolymer and TPU with 20, 50 and 100% filling of cells of each type in the form of a double-sided blade with a thickness of 2.5-3.5 mm according to GOST R 54553-2019, the following was established: strength at tensile strength (MPa); elongation at break (ϵ , %); density (g/cm^3); Shore hardness (A). A comparison of the results of laboratory studies with the indicators of sole materials used at Egoryevsk-Obuv JSC in production revealed that the indicators of individual experimental materials are close to the density indicators of control rubber, TEP ANNA 2 soles (for boots, shoes, autumn-spring season), soles f. JEANS — TEP (shoes or boots for children, women, autumn-spring season), TEP soles of summer shoes model 322107-25, used at Egoryevsk-Obuv JSC.

Keywords

3D printing, photopolymer, TPU, physical and mechanical properties, filling degree, cell size, reconfigurable structure, shoe parts.

The work was carried out within the framework of a scientific project — the grant from the Russian Foundation for Basic Research in 2020–2022, contract No. 20-38-90047/2020 “Parametric design of materials with a reconfigurable three-dimensional structure in the production of consumer goods”

¹ Corresponding author:
Email: kostyleva-vv@rguk.ru

REFERENCES

- [1]. Bekk V. G. Razrabotka matematicheskogo obespechenija processa proektirovaniya obuvnoj zagotovki, formuemoj na avtomatizirovannyh obtjazhnozatzhzhnyh mashinah [Development of mathematical support for the design process of shoe blanks molded on automated stretching machines]: PhD thesis, Moscow, 1989, 230 p. (In Russ.)
- [2]. Bekk N. V. Razvitie teoreticheskikh i metodologicheskikh osnov formirovaniya promyshlennykh kollekcij izdelij iz kozhi s ispol'zovaniem informacionnykh tehnologij: PhD thesis [Development of theoretical and methodological foundations for the formation of industrial collections of leather goods using information technologies], Moscow, 2002. 450 p. (In Russ.)
- [3]. Buj V. H. Razrabotka metoda poluchenija antropometricheskikh dannyh i proektirovaniya vnutrennej formy obuvi s ispol'zovaniem cifrovyyh i informacionnykh tehnologij (Na primere antropometrii v'etnamskikh shkol'nikov) [Development of a method for obtaining anthropometric data and designing the internal shape of shoes using digital and information technologies (On the example of anthropometry of Vietnamese schoolchildren)]: PhD thesis, Moscow, 2006. 200 p. (In Russ.)
- [4]. Konovalova O. B., Kostyleva V. V. Jekzoskeleton — robotizirovannyj kostjum budushhego [Exoskeleton - robotic suit of the future]. *Materialy mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa nauchno-prakticheskikh rabot studentov, aspirantov i sotrudnikov VUZov* [Materials of the international research competition of scientific and practical works of students, graduate students and university staff], 2019, pp. 20–29. (In Russ.)
- [5]. Konovalova O. B., Kostyleva V. V., Fedoseeva E. V. Osobennosti sozdaniya obuvi s ispol'zovaniem 3D-tehnologij i 3D-pechati [Features of creating shoes using 3D technologies and 3D printing]. *Nauchnyj zhurnal «Kostjumologija» [Scientific journal "Costumeology"]*. 2022, №1, vol. 7. URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL122.pdf> (In Russ.)
- [6]. Konovalova O. B., Minets V. V., Bokova Ye. S., Kostyleva V. V., Belitskaya O. A. Polimernyye materialy dlya 3D — pečati i vozmozhnost' ikh primeneniya v obuvnom proizvodstve: gruppа krupnotonnazhnykh polimerov. [Polymer materials for 3D printing and the possibility of their use in shoe production: a group of large-capacity polymers] *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti [Textile Industry Technology. Series: "Proceedings of Higher Educational Institutions"]*, № 2 (398), 2022, p. 304–311. (In Russ.)
- [7]. Konovalova O. B., Minets V. V., Bokova Ye. S., Kostyleva V. V., Belitskaya O. A. Polimernyye materialy dlya 3D-pechati i vozmozhnost' ikh primeneniya v obuvnom proizvodstve: assortiment plastmass innovatsionnoy funktsional'nosti [Polymer materials for 3D printing and the possibility of their use in shoe production: a range of plastics with innovative functionality], *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti [Textile Industry Technology. Series: "Proceedings of Higher Educational Institutions"]*, № 5(395), 2021, pp. 262–267. (In Russ.)
- [8]. Konovalova O. B. and Yumashv E. M. 3D printing of individual shoes using natural fibers, Opportunities and Prospects/International Conference on Textile and Apparel Innovation (ICTAI 2021) <https://aip.scitation.org/toc/apc/2430/1?windowStart=50&size=50> (In Russ.)
- [9]. Konovalova O. B., Kostyleva V. V. Modelirovanie i prototipirovanie v legkoj

promyshlennosti. [Modeling and prototyping in light industry] Sbornik докладov Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh issledovatelej s mezhdunarodnym uchastiem «Innovacionnoe razvitie tehniki i tehnologij v promyshlennosti (INTEKS-2021)» [Collection of reports of the All-Russian Scientific Conference of Young Researchers with International Participation “Innovative Development of Engineering and Technologies in Industry (INTEX-2021)” Part 1], pp. 140–145. (In Russ.)

[10]. GOST R 54553-2019 NACIONAL'NYJ STANDART ROSSIJSKOJ FEDERACII Rezina i termojelastoplasty. Opredelenie uprugoprochnostnyh svojstv pri rastjazhenii. [NATIONAL STANDARD OF THE RUSSIAN FEDERATION Rubber and thermoplastic elastomers. Determination of elastic-strength properties under tension] <https://docs.cntd.ru/document/1200167688?ysclid=lpjcsn6ml8804585245> (In Russ.)

Kostyleva V. V. — Dr. Sc. (Eng.), Head of Department of Art Modeling, Design and Technology of Leather Products, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Karaseva A. I. — Cand.Sc. (Tech.), Assoc. Professor, Associate Professor of the Department of Artistic Modeling, Design and Technology of Leather Products, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Konovalova O. B. — Postgraduate student, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Sirotkina O. V. — Cand.Sc. (Tech.), Senior Lecturer at the Department of Artistic Modeling, Design and Technology of Leather Products, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya st., 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Исследование свойств обувных материалов с реконфигурируемой структурой / В. В. Костылева, А. И. Карасева, О. Б. Коновалова, О. В. Сироткина // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 3(10). // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 1(8). С. 65 – 75.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-3(10)-65-75

Please cite this article as:

Kostyleva V. V., Karaseva A. I., Konovalova O. B., Sirotkina O. V. Study of the properties of footwear materials with reconfigurable structure. Industrial processes and Technologies, 2023, vol. 3, no. 3(10),. Industrial processes and Technologies, 2023, vol. 3, no. 1(8). pp. 65 – 75.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-3(10)-65-75