

УДК 678

DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_339

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ 3D-ФОРМ
НА ТЕКСТИЛЬНУЮ ПОДЛОЖКУ**

TECHNOLOGY OF APPLICATION
OF POLYMERIC 3D-PRINTED FORMS ON THE TEXTILE SUBSTRATE

А.Г. КУЗЬМИН, И.Н. ТЮРИН, Е.М. ГОЛУБЕВ, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ, В.С. БЕЛГОРОДСКИЙ

A.G. KUZMIN, I.N. TYURIN, E.M. GOLUBEV, S.SH. TASHPULATOV, V.S. BELGORODSKY

(Российский государственный университет
имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия,
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: cim@rguk.ru; Ssh61@mail.ru

Статья посвящена разработке новой технологии нанесения эластичных объемных принтов на текстильную подложку. Образцы из гибкого материала Filaflex изготовлены с применением 3D-принтера методом послойного наплавления (FDM). Определены оптимальные параметры фиксации пластичных образцов на ткань, а также проведен анализ нагрузки на раздираание. Установлен перечень технологических параметров, необходимых для получения 3D-принта на текстиле высокого качества. Применение данной технологии обладает широким спектром возможных областей применения: от получения декоративных элементов одежды до разработки изделий специального назначения (противоскользкие, армированные материалы).

The article is devoted to the development of a new technology for applying elastic volumetric prints on a textile substrate. Filaflex flexible specimens were fabricated using a Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printer. The optimal parameters of fixation of plastic samples on the tissue were determined, and an analysis of the tearing load was carried out. A list of technological parameters necessary to obtain

a 3D print on high quality textiles has been established. The use of this technology has a wide range of possible applications: from the production of decorative items of clothing to the development of special-purpose products (anti-slip, reinforced materials).

Ключевые слова: 3D-печать, filaflex, печать на ткани, технология печати на ткани, 3D-форма, объемный принт.

Keywords: 3D-printing, filaflex, printing on fabrics, technology of printing on fabrics, 3D-form, volumetric print.

Современные технологии декорирования текстильных изделий все чаще переплетаются с новыми цифровыми технологиями, как и способы нанесения цветной печати на ткани. Интеллектуальные инновации в данной сфере разделяются на несколько направлений развития: внедрение нового программного обеспечения и оптимизация, разработка оборудования, исследовательская деятельность [1].

Цифровая печать на ткани, как самый популярный метод декорирования текстильных изделий, активно развивается: разрабатываются более экологичные чернила, ведется работа над улучшением стабильности печати, а также повышается качество печати и уровень цветопередачи [2]. На сегодня лидерами в производстве широкоформатных принтеров для цифровой печати на ткани являются гиганты MIMAKI и Epson.

Мировая текстильная промышленность постепенно переходит на цифровую печать. К такому выводу пришли эксперты компании Epson Europe B.V. Как отмечают аналитики Epson Europe B.V [3], цифровой метод печати на текстиле более экологичный и менее энергозатратный. Общеизвестно, что сейчас на предприятиях фаст-фэшн приходится 10% от мирового выброса углекислого газа в атмосферу и 20% от мирового загрязнения воды. Обращение к цифре позволит сократить выброс CO₂ с 139 до 86 кг, а потребление H₂O во время процесса печати уменьшить на целых 27%.

Наряду с этим лидеры отрасли заинтересованы в создании принципиально новых технологий печати, особый интерес вызывает разработка технологии нанесения объемных форм на текстильные материалы [4].

Изготовление объемных форм уникальной геометрии стало перспективным с активным развитием технологий трехмерной печати различными способами и материалами. Исследователи ведут эксперименты с режимами нанесения, подбором оптимальных параметров печати, сочетают различные пластиковые материалы форм и текстиля. Так, широко известен метод термоподъема, применяемый в шелкографии. Метод заключается в добавлении в красочный слой специальной добавки (термо-порошок, ПУФФ), которая при последующей сушке вспучивает красочный слой, создавая незначительный эффект объемной печати. Слой краски с добавкой при этом приподнимается примерно на 0,5...1,5 мм.



Рис. 1

Менее известен новый метод получения объемных принтов на ткани – метод нанесения пластизольных букв и изображений на ткань (технология Flextran). Получение принта реализуется с помощью использования прессы, матриц, печки для формирования и закрепления принта, использования пластизолей в качестве расходного материала. Для изготовления изображения используются матрицы со специальными допол-

нительными элементами, помогающими создать контакт с тканью. Использование данной технологии позволяет получать принт высотой до 4 мм, что порой является недостаточным для реализации широкого спектра декоративных эффектов. На рис. 1 представлен объемный принт, нанесенный по технологии Flextran (<https://optprom.com.ua/flekstran-na-tkani/>).

В связи с этим актуально рассмотрение комбинаций сочетания аддитивных и текстильных технологий для получения 3D-принтов более широкого диапазона геометрических параметров [5].

В работе предложено рассмотреть использование аддитивных технологий трехмерной печати в качестве получения объемных принтов. Кроме технологических аспектов печати самих трехмерных объектов необходимо обладать точной информацией об оптимальных режимах и алгоритмах нанесения и закрепления 3D-объектов на текстильных материалах для получения 3D-принта с высокими показателями эстетических и эксплуатационных характеристик. Знание последовательности и температурных режимов позволит сформировать необходимый перечень информации для формирования методики получения 3D-принтов на текстильные материалы. В исследовании рассмотрена возможность закрепления трехмерных моделей из пластикового термопласта на ткань, а также определены оптимальные режимы нанесения.

В качестве образцов форм для закрепления на ткани использованы 3 модели: квадрат размером 20x20 мм, контур квадрата 20x20 мм с толщиной стенок 1,6 мм, контур квадрата 20x20 мм с толщиной стенок 3,2 мм. Высота каждой модели составляла 3 мм. Виртуальные формы созданы в САПР Autodesk Fusion 360 – программе для твердотельного и поверхностного (полигонального) 3d-моделирования [6]. Далее квадратные образцы изготовлены с помощью 3d-принтера, работающего по технологии послойного наплавления материала (FDM). В качестве материала печати выбран эластичный филамент Filaflex в виде прутка толщиной 1,75 мм, что является стандартом для принтеров данной технологии.

В связи с тем, что Filaflex является эластичным филаментом, конструкция 3d-принтера Creality Ender 3 PRO была доработана. Изначально устройство имело внешнюю подачу пластика, что приводило к замятию материала, вследствие чего установлен экструдер со встроенным редуктором для прямой бесперебойной подачи филамента [7].

Эксперимент проводился на образцах материала габардина, атласа и хлопка (табл. 1 – структурные характеристики используемых в эксперименте тканей). В табл. 2 представлены характеристики материала Filaflex.

Т а б л и ц а 1

| Ткань | Габардин | Атлас | Хлопок |
|---|----------------|----------------|-------------|
| Состав | 100% полиэстер | 100% полиэстер | 100% хлопок |
| Поверхностная плотность, г/м ² | 320 | 250 | 150 |
| Толщина ткани, мм | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| Вид переплетения | Саржевое | Атласное | Полотняное |
| Линейная плотность нити Т, текс | 17,2 | 21,2 | 16,1 |
| Плотность по горизонтали Пг, столбиков/ 10 см | 70 | 56 | 42 |
| Плотность по вертикали Пв, рядов/ 10 см | 80 | 73 | 68 |

Т а б л и ц а 2

| Параметры | Значение | Условия тестирования |
|-------------------------------------|----------|--|
| Прочность на разрыв | 39 МПа | - |
| Твердость по Шору | 54 МПа | - |
| Относительное удлинение при разрыве | 700% | Скорость растяжения образца 200 мм/мин |
| Остаточная деформация при сжатии | 25% | Длительность сжатия: 72 ч при 23°C |
| Ударная вязкость | 42% | - |

| | | |
|---------------------------------|------------------------|--|
| Истираемость | 30 мм ³ | - |
| Прочность на отрыв | 70 кН/м | Скорость растяжения образца 500 мм/мин |
| Модуль упругости при растяжении | 48 МПа | Измерение при температуре 20°C |
| Модуль упругости при растяжении | 33 МПа | Измерение при температуре 60°C |
| Плотность | 1200 кг/м ³ | - |
| Температура печати | 220...260°C | - |

В качестве способа фиксации образцов на текстильную подложку выбран способ термозакрепления при помощи плоского термопресса Adkins Studio Clam.

В рабочую область термопресса послойно фиксировались несколько материалов: первый слой занимала техническая трансферная пленка, на ней располагался образец термопласта, он покрывался фрагментом ткани, в качестве последнего слоя использовалась сублимационная бумага. Трансферная техническая пленка по умолчанию используется при нанесении термо-трансферных пленок на ткань, она предотвращает прилипание пластичного образца термопласта к основанию термопресса. Сублимационная бумага пориста по своей структуре и эффективно распределяет теп-

ло по своему объему, что необходимо для равномерного прогрева текстильной подложки [8]. Нанесение производилось с изменением ключевых параметров: давление верхней плиты термопресса (t_f), рабочая температура фиксации, время термофиксации. Время фиксации всех образцов, за исключением №23...25, составляло 10 с, остальные были закреплены за 20 с. Термозакрепление образцов №1...27 осуществлялось при давлении 0,07 МПа, образцы №28...30 фиксировались при 0,04 МПа.

По результатам эксперимента получена таблица параметров с указанием дефектов образцов при нанесении термопластичных 3d-форм (табл. 3 – результаты исследования качества нанесения термопластичных 3d-форм на образцы тканей).

Т а б л и ц а 3

| № п/п | t_f , °C | Ткань | Изменение параметров образца | № | t_f , °C | Фото образца | Изменение параметров образца |
|-------|------------|----------|---|----|------------|--------------|--|
| 1 | 190 | Габардин | Высокая адгезия Незначительная дефектность: утолщение основания на 0.8 мм | 8 | 170 | Габардин | Низкая адгезия Минимальная дефектность: утолщение на 0.3 мм |
| 2 | 190 | Атлас | Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение контура на 1.8 мм | 9 | 170 | Атлас | Низкая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм |
| 3 | 190 | Хлопок | Высокая адгезия Высокая дефектность: Изменение формы контура, утолщение контура на 1.8 мм | 10 | 200 | Габардин | Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение контура на 1.6 мм |
| 4 | 180 | Габардин | Высокая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.4 мм | 11 | 200 | Атлас | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.1 мм |
| 5 | 180 | Атлас | Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение контура на 1.7 мм | 12 | 200 | Хлопок | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.3 мм Уменьшение высоты на 0.8 мм |
| 6 | 180 | Хлопок | Высокая адгезия Высокая дефектность: Изменение формы контура, утолщение контура на 0.7 мм | 13 | 210 | Габардин | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2 мм |

| | | | | | | | |
|----|-----|----------|--|----|-----|----------|---|
| 7 | 170 | Габардин | Низкая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм | 14 | 210 | Атлас | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.4 мм |
| 15 | 210 | Атлас | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.6 мм Уменьшение высоты на 1 мм | 23 | 170 | Габардин | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение основания на 1 мм |
| 16 | 220 | Хлопок | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.2 мм | 24 | 170 | Атлас | Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение основания на 0.3 мм |
| 17 | 220 | Габардин | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение контура на 2.6 мм Уменьшение высоты на 1.2 мм | 25 | 180 | Габардин | Высокая адгезия Средняя дефектность: утолщение основания на 0.5 мм |
| 18 | 220 | Атлас | Высокая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм | 26 | 180 | Атлас | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение основания на 1 мм |
| 19 | 170 | Хлопок | Средняя адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм | 27 | 180 | Хлопок | Высокая адгезия Высокая дефектность: утолщение основания на 1.2 мм |
| 20 | 170 | Габардин | Средняя адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм | 28 | 190 | Габардин | Высокая адгезия Низкая дефектность: утолщение основания на 0.1 мм |
| 21 | 170 | Атлас | Средняя адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм | 29 | 190 | Атлас | Высокая адгезия Низкая дефектность: утолщение основания на 0.1 мм |
| 22 | 170 | Хлопок | Высокая адгезия Минимальная дефектность: утолщение основания на 0.2 мм | 30 | 190 | Хлопок | Высокая адгезия Низкая дефектность: утолщение основания на 0.1 мм |

Ряд экспериментов позволил определить оптимальные параметры нанесения термопластичных форм из филамента Filaflex на образцы тканей (рис. 2 – пример достигнутого оптимального результата нанесения термопластичной формы (разработано авторами)). Оптимальная температура фиксации составила 190 °С, при пониженной температуре наблюдается снижение адгезии, в результате чего форма не закрепляется на ткани, повышенная температура приводит к изменению формы модели и утолщению основания. Давление при термофиксации должно быть в пределах 0,04...0,05 МПа, увеличение значений свыше 0,06 МПа приводит к деформации модели. Оптимальное время термозакрепления составляет 10...12 с.

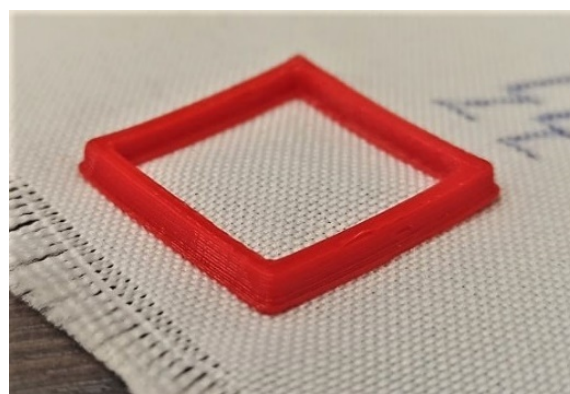


Рис. 2

Для определения прочностных характеристик нанесения эластичных 3d-форм на текстильные подложки произведен ряд испытаний на разрывной машине INSTRON 4411. Полосы шириной 15 мм

длиной 150 мм и высотой 3 мм распечатаны на 3d-принтере из филамента Filaflex и нанесены на подложку из габардина, хлопка и атласа способом термофиксации в температурных режимах от 100 до 250°C. Графики зависимости прочности на раздирание от температуры нанесения образца показаны на рис. 3...5 (рис. 3 – Атлас-Filaflex, рис. 4 – Хлопок-Filaflex, рис. 5 – Габардин-Filaflex) описывают 3 диапазона изменения прочности на раздирание в зависимости от температуры фиксации эластичных 3D-форм:

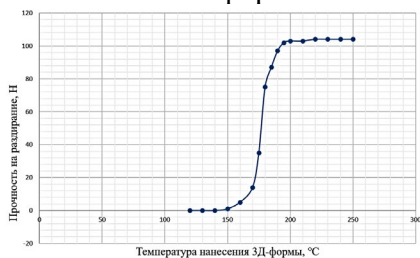


Рис. 3

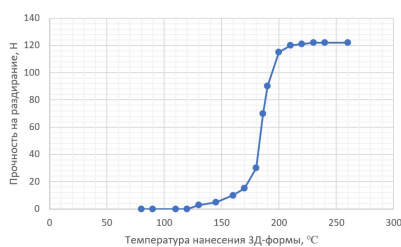


Рис. 4

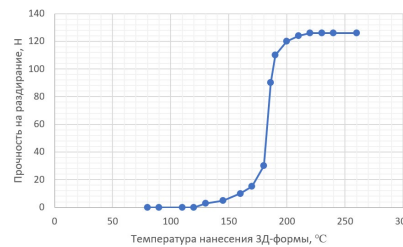


Рис. 5

Графики показывают различия в степени фиксации в зависимости от подложки. Атлас обладает меньшей адгезией к Filaflex, а габардин и хлопок имеют более высокие показатели прочности на раздирание в силу пористости материалов, что приводит к лучшему закреплению термопластичного материала.

При нанесении 3d-форм толщиной более 5 мм данным методом без вспомогательных решений могут наблюдаться заломы модели и образование дефектов. В качестве оснастки для корректной фиксации данных объектов использована оснастка – ответная модель, изготовленная из твердого пластика, например ABS, PETG или PLA (рис. 6).

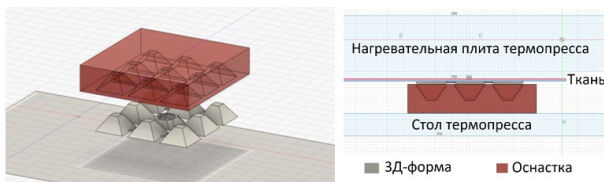


Рис. 6

Вспомогательная модель снижает давление на 3d-форму и предотвращает ее деформацию.

1. В диапазоне температур от 100 до 150°C наблюдается неудовлетворительная фиксация материала к текстильной основе;

2. В пределах температур от 150 до 195°C наблюдается позитивная динамика повышения сопротивления раздиранию 3D-формы от ткани-основы;

3. При температуре свыше 195°C замечен выход на плато сопротивления на раздирание. Максимальная прочность на раздирание составила 108 Н.

Для создания цифровой модели оснастки использован модификатор комбинирования с функцией резки в программе твердотельного моделирования Autodesk Fusion 360 [9]. В качестве основы смоделирован прямоугольный параллелепипед, модель вычитания (резки) соответствовала наносимой 3d-форме, которая моделировалась ранее для 3d-печати из Filaflex [10]. Произведен ряд экспериментов с использованием оснастки для фиксации форм высотой 10 и 6 мм (рис. 7). Нанесение производилось на образцы хлопковой ткани при температуре 190°C и давлении 0,04...0,05 МПа, время термофиксации составило 10 с.

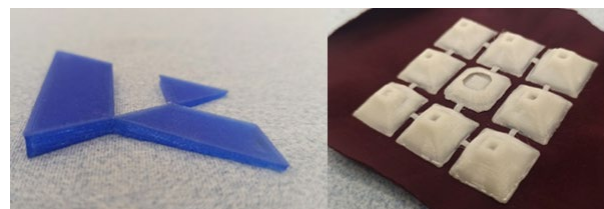


Рис. 7

ВЫВОДЫ

В результате ряда экспериментальных работ выявлены параметры нанесения,

обеспечивающие фиксацию 3D-форм из пластичного филамента Filaflex на текстильные подложки из габардина, атласа и хлопка. Оптимальная температура нанесения составила 190°C при давлении плиты термопресса 0,04...0,05 МПа и времени термофиксации 10 с. Разработан и апробирован метод нанесения 3D-форм высотой более 5 мм с использованием ответной модели-оснастки, обеспечивающий бездефектную фиксацию.

Применение разработанной технологии обладает широким спектром возможных областей применения [11], [12]: от получения декоративных элементов одежды до разработки изделий специального назначения (противоскользкие, армированные материалы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials. // *Fibre Chemistry*. – 2018. Vol.50, №1. P.1...9.

2. Кузьмин А.Г., Фирсов А.В. Методика проектирования аксессуаров с использованием аддитивных технологий // В сб.: *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020)*. – М., 2020. С. 115...118.

3. Электронный ресурс: <https://textilespace.ru/catalog/business/tsifrovaya-pechat-na-tkani-virivaetsya-v-videri>

4. Тюрин И.Н. Проектирование высокофункциональной одежды // В сб.: *Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2018"*. – 2018. С.85...87.

5. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The finite element modelling of compression sportswear // В сб.: *AUTEX 2019. Proceedings of the 19th World Textile Conference*. – 2019. P. 0366.

6. Кузьмин А.Г., Фирсов А.В. Методика цифрового проектирования аксессуаров с применением послойной 3D-печати // В сб.: *Дизайн и искусство - стратегия проектной культуры XXI века*. – М., 2019. С. 159...161.

7. Jafferson J.M., Sabareesh M.C., Sidharth B.S. 3D printed fabrics using generative and material Driven design // *Materialstoday: Proceedings*. 2021.

8. Jack Forman, Mustafa Doga Dogan, Hamilton Forsythe, Hirishi Ishii. 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion // *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. – 2020. 1222-1233.

9. Haruki Takahashi, Jeeun Kim. 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles // *Proceedings of the 32nd Annual ACM*

Symposium on User Interface Software and Technology. – 2019. 43...51.

10. Lehmann A., Ehrmann A., Finsterbusch K. Optimization of 3D printing with flexible materials, Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference, 2017.

11. Лунина Е.В., Степанищева А.Н., Таштулатов С.Ш., Сармтарова Л.Т., Ералиева М.Ж. Способ изготовления швейных изделий с композиционными усилительными элементами // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. – 2019, № 5. С. 173...177.

12. Nutfullaeva L.N., Plekhanov A.F., Shin I.G., Tashpulatov S.SH., Cherunova I.V., Nutfullaeva SH.N., Bogomolov E.A. Research of conditions of formation package and ensure the safety of the pillows from composite nonwoven fibers materials // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. – 2019, № 2. P. 95...101

REFERENCES

1. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. Analysis of innovative technologies of thermoregulating textile materials. // *Fibre Chemistry*. – 2018. Vol.50, №1. P.1...9.

2. Kuzmin A.G., Firsov A.V. Methods for designing accessories using additive technologies // In: *Innovative development of equipment and technologies in industry (IN-TEKS-2020)*. - M., 2020. S. 115 ... 118.

3. Electronic resource: <https://textilespace.ru/catalog/business/tsifrovaya-pechat-na-tkani-virivaetsya-v-videri>

4. Tyurin I.N. Designing highly functional clothing // In: *All-Russian Scientific and Practical Conference "DISK-2018"*. – 2018. P.85...87.

5. Tyurin I.N., Getmantseva V.V., Andreeva E.G. The finite element modeling of compression sportswear // In: *AUTEX 2019. Proceedings of the 19th World Textile Conference*. - 2019. P. 0366.

6. Kuzmin A.G., Firsov A.V. Technique for digital design of accessories using layer-by-layer 3D printing // In: *Design and art - a strategy for the design culture of the XXI century*. - M., 2019. S. 159 ... 161.

7. Jafferson J.M., Sabareesh M.C., Sidharth B.S. 3D printed fabrics using generative and material driven design // *Materialstoday: Proceedings*. 2021.

8. Jack Forman, Mustafa Doga Dogan, Hamilton Forsythe, Hirishi Ishii. 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion // *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. - 2020. 1222-1233.

9. Haruki Takahashi, Jeeun Kim. 3D Printed Fabric: Techniques for Design and 3D Weaving Programmable Textiles // *Proceedings of the 32nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. – 2019. 43...51.

10. Lehmann A., Ehrmann A., Finsterbusch K. Optimization of 3D printing with flexible materials, Aachen-Dresden-Denkendorf International Textile Conference, 2017.

11. Lunina E.V., Stepanishcheva A.N., Tashpulatov S.Sh., Sarttarova L.T., Eralieva M.Zh. A method for manufacturing garments with composite reinforcing elements // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, No. 5. S. 173...177.

12. Nutfullaeva L.N., Plekhanov A.F., Shin I.G., Tashpulatov S.SH., Cherunova I.V., Nutfullaeva SH.N., Bogomolov E.A. Research of conditions of formation

package and ensure the safety of the pillows from composite nonwoven fibers materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2019, № 2. P. 95...101.

Рекомендована кафедрой энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 06.04.22.
