

Научная статья

УДК 677.024.1

EDN JGSONN

doi 10.34216/2587-6147-2023-3-61-29-33

Амирхамза Хабибуллоев<sup>1</sup>

Александр Павлович Гречухин<sup>2</sup>

Павел Николаевич Рудовский<sup>3</sup>

Иван Владимирович Старинец<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Костромской государственной университет, г. Кострома, Россия

<sup>1</sup> keepsabr007@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2991-6165>

<sup>2</sup> niskstu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7732-3583>

<sup>3</sup> pavel\_rudovsky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8675-2910>

<sup>4</sup> iv.starinets@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4111-2458>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ И СЛОЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТКАЦКОГО СТАНКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Аннотация.** Оборудование для трехмерного ортогонального ткачества имеет существенные отличия от ткацких станков, используемых для получения однослойных тканей. При этом многие элементы конструкции находятся в стадии отладки, что требует частого изменения их формы, которое связано с уточнением параметров технологического процесса. Использование для получения таких деталей традиционных технологий, например листовой штамповки, нецелесообразно в связи с низкой серийностью деталей и сложной формой. Выходом из положения в этом случае является широкое использование аддитивных технологий. При этом детали получают из пластика. Наиболее распространенными материалами являются ABS, Petg, PVA. Они, по сравнению со сталями, обладают очень низкими механическими характеристиками, такими как предел текучести, модуль упругости и др. Поэтому их применение для изготовления технологической оснастки должно сопровождаться соответствующими конструктивными расчетами, которые можно выполнять в одной из распространенных САД-систем.

**Ключевые слова:** технологическая оснастка, 3D-печать, ткацкое бердо, 3D-модель, материал поддержки, ABS, Petg, PVA

**Для цитирования:** Моделирование и изготовление технологической оснастки и сложных элементов ткацкого станка с использованием аддитивных технологий / А. Хабибуллоев, А. П. Гречухин, П. Н. Рудовский, И. В. Старинец // Технологии и качество. 2023. № 3(61). С. 29–33. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-3-61-29-33>.

Amirchamza Khabibulloev<sup>1</sup>

Alexandr P. Grechukhin<sup>2</sup>

Pavel N. Rudovsky<sup>3</sup>

Ivan V. Starinets<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Kostroma State University, Kostroma, Russia

## MODELLING AND MANUFACTURING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AND COMPLEX ELEMENTS OF A LOOM USING ADDITIVE TECHNOLOGIES

**Abstract.** Equipment for three-dimensional orthogonal weaving has significant differences from looms used to obtain single-layer fabrics. At the same time, many structural elements are in the debugging stage, which requires frequent changes in their shape, which is associated with the refinement of the process parameters. The use of traditional technologies such as sheet stamping to obtain such parts is impractical due to the low serialisation of parts and complex shape. The way out, in this case, is the widespread use of additive technologies in this case. In this case, the parts are made of plastic. The most common materials are ABS; petg; PVA. Compared to steels, they have very low mechanical characteristics such as yield strength, elastic mod-

ulus, etc. Therefore, their use for the manufacture of tooling should be accompanied by appropriate design calculations that can be performed in one of the common CAD systems.

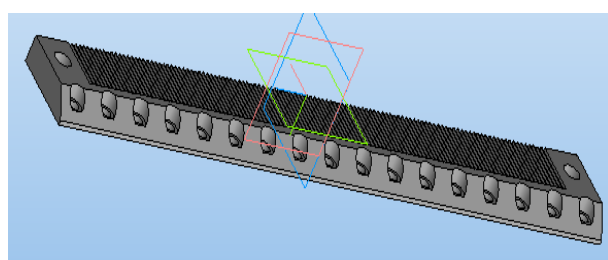
**Keywords:** technological equipment, 3D printing, weaving reed, 3D model, support material, ABS, Petg, PVA

**For citation:** Khabibulloev A., Grechukhin A. P., Rudovsky P. N., Starinets I. V. Modeling and manufacturing of technological equipment and complex elements of a loom using additive technologies. *Technologies & Quality*. 2023. No 3(61). P. 29–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2023-3-61-29-33>.

Перспективным направлением развития текстильной промышленности является трехмерное и мультиаксиальное ткачество [1–6]. Эта технология реализуется с помощью ткацких станков специального назначения. Для таких станков, находящихся на стадии создания и отладки прототипов, технологическая оснастка и элементы оборудования имеют специфическую форму и требуется частая корректировка их конфигурации [7, 8]. В этих условиях важно быстро разработать и изготовить детали оборудования. В этом случае рациональным решением является использование технологии послойного наплавления (FDM). Рассмотрим ее применение на примере деталей берда, которое для производства многослойной 3D ортогональной ткани имеет специфическую форму.

Геометрическая модель берда строилась в программе Kompas 3D. Бердо состоит из двух планок, между которыми закрепляются в пазах зубья берда.

Планки напечатаны из PETg-пластика на 3D-принтере Picaso Designer Xpro, а зубья из ABS- и PLA-пластика. 3D-модель планки берда представлена на рис. 1а, а напечатанный на 3D-принтере образец детали – на рис. 1б.



а

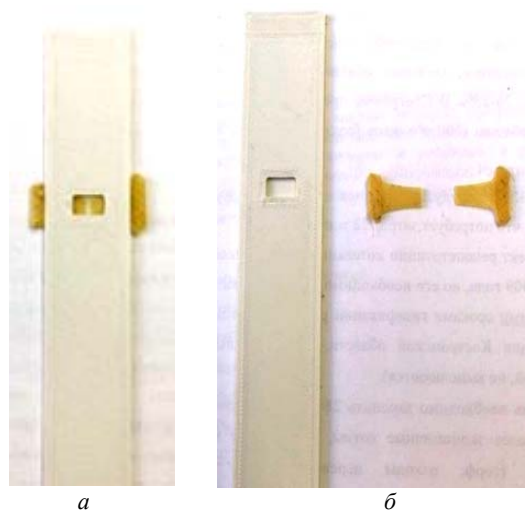


б

**Рис. 1. Планка берда:**  
а – 3D-модель; б – готовое изделие

Зубья берда, используемого для 3D-ткачества, могут иметь сложную форму [9–11]. Для реализации технологии [6] изготовлено несколько вариантов сменного зуба берда с полостью, в которую заправляется нить вертикальной системы при формировании трехмерных тканей. Первый вариант предусматривает изготовление зуба из двух частей (основная часть и закрепляющая стенка).

Второй вариант зуба берда изготавливался с использованием 3D-печати двумя материалами – ABS и PVA (поливиниловый спирт). Зубья печатались из ABS-пластика, а поддержка из PVA. После завершения поддержка легко отделяется от детали при ее непродолжительном выдерживании в воде. Вид напечатанного изделия с пластиком поддержки до его извлечения и после него представлен на рис. 2.



**Рис. 2. Зуб берда после печати (а) и после удаления поддержки (б)**

Вследствие того что механические характеристики пластмасс существенно ниже характеристик стали, традиционно используемой для изготовления деталей технологической оснастки, при использовании для этих целей пластика возникает вопрос об их работоспособности. Наиболее нагруженным элементом оснастки является зуб берда. Технологической нагрузкой для него является натяжение нитей основы. При формировании 3D тканых структур из кевларо-

вых нитей натяжение не превышает 50 сН на одну нить. Учитывая угол огибания зуба берда, который в крайнем положении нитей вертикального утка может составлять до 45°, а также геометрические размеры самого зуба, можно рассчитать давление на внутреннюю поверхность полости в зубе. Это давление может достигать до 12 МПа.

Геометрическая модель зуба берда, разработанная для 3D-печати, импортировалась в CAD-пакет ANSYS WorkBench. В этом пакете проводились расчеты зуба берда на статическую прочность (Static Structural), устойчивость (Eigenvalue Balking) и собственные частоты (Modal). Схема проекта показана на рис. 3.

Для расчетов применялась конечно-элементная сетка, полученная в автоматическом режиме с разбиением наиболее длинного ребра детали на 100 частей. Сетка и результаты расчета при статическом нагружении показаны на рис. 4.

По результатам расчета максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу составляют 0,75 МПа. Предел текучести для ABS-пластика при температуре 23 °С составляет 34...54 МПа. Учитывая неоднородность материала деталей, полученных по технологии 3D-печати, а также снижение механических характеристик материала при увеличении температуры, которое может возникать при циклическом нагружении и в результате трения в местах контакта, допустимое напряжение принималось равным 10 МПа. Таким образом, условие прочности при статическом нагружении выполняется.

Результаты расчета шести первых собственных частот зуба берда показаны на рис. 5. Как видно из приведенных данных, первая наиболее низкая собственная частота составляет 38,981 Гц. Такая частота возбуждается рабочими органами с частотой вращения 2334 об/мин.

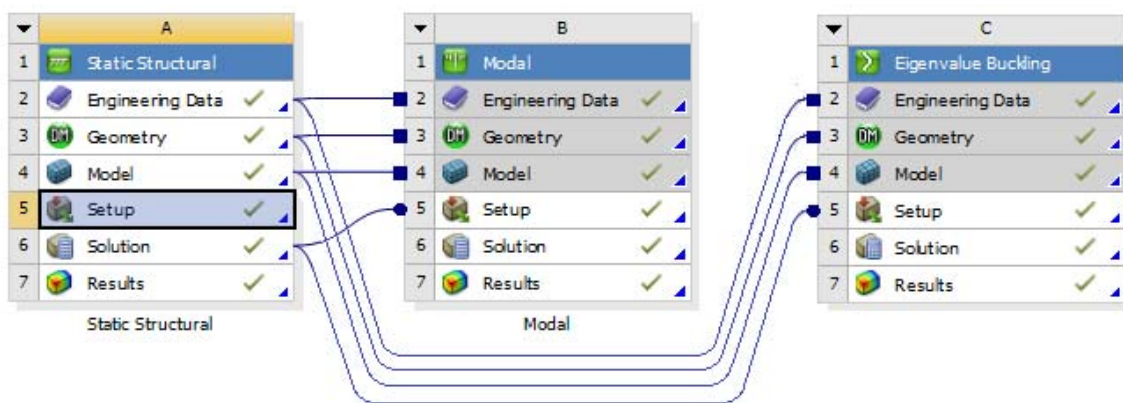


Рис. 3. Схема проекта конструктивных расчетов зуба берда

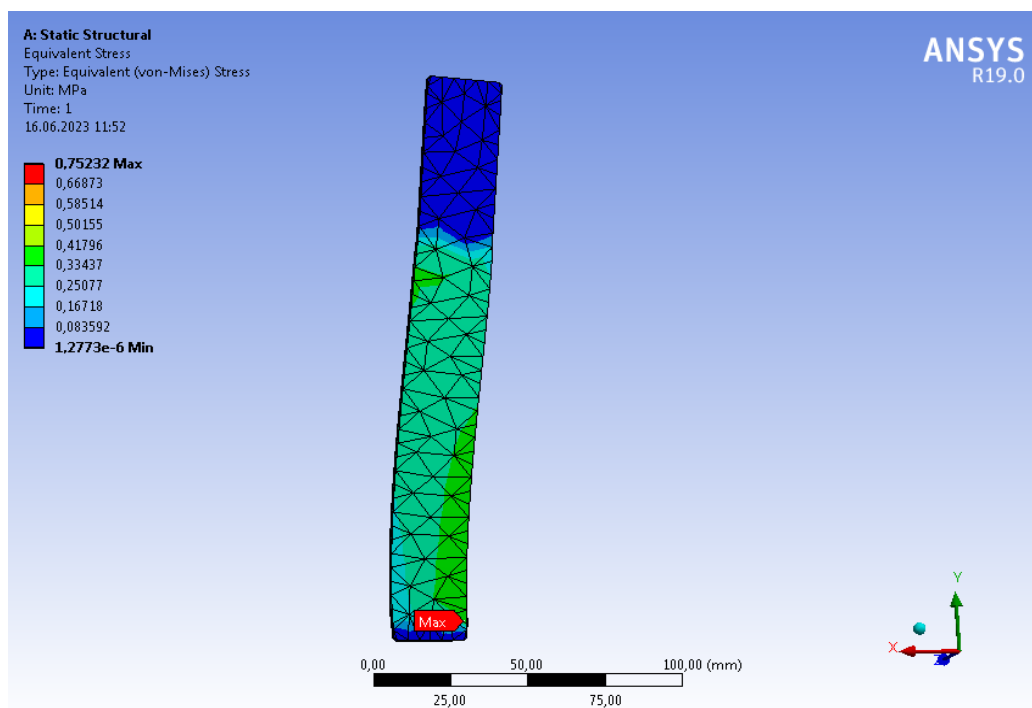


Рис. 4. Результаты расчета на прочность

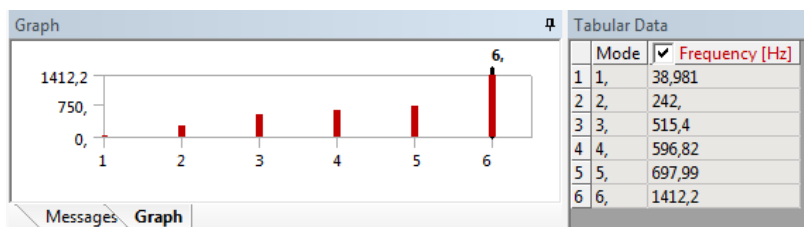


Рис. 5. Результаты расчета собственных частот

Эта частота вращения кратно превышает частоты вращения элементов привода рабочих органов машины. Таким образом, опасность возникновения резонансных явлений в берде отсутствует.

На рис. 6 приведены результаты расчета потери устойчивости зуба берда для двух первых форм. Критическая сила составляет для первой формы 51 Н, для второй – 91 Н.

Поскольку сила натяжения, действующая на одну нить, составляет 50 сН, устойчивость зуба берда обеспечена.

## ВЫВОДЫ

1. Показано, что для изготовления деталей технологической оснастки экспериментального ткацкого оборудования целесообразно использовать 3D-печать из пластиков ABS и PETg.

2. Установлено, что несмотря на существенно более низкие прочностные параметры пластиков по сравнению со сталью основные критерии работоспособности деталей оснастки, изготовленных по FDM-технологии, обеспечиваются.

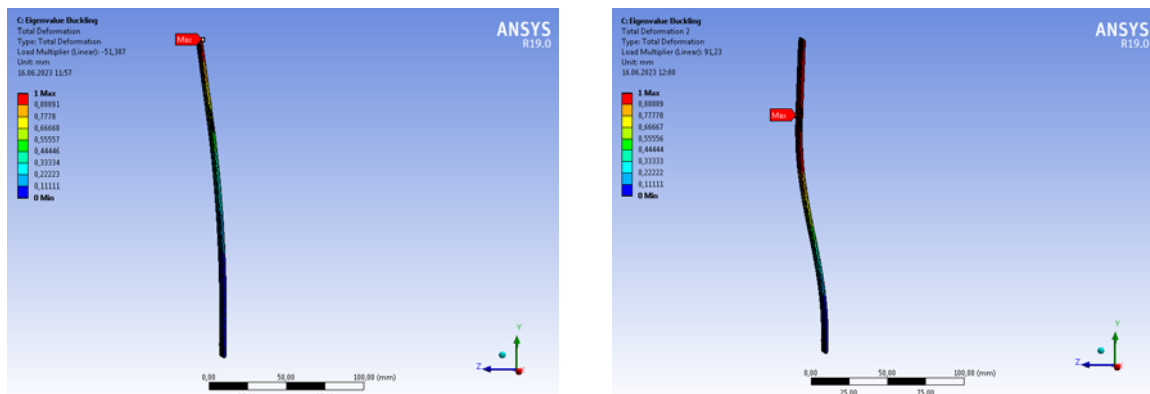


Рис. 6. Результат расчета на устойчивость

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Spahiu T., Canaj E., Shehi E. 3D printing for clothing production // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2020. No 15(3). P. 43–51.
- DefeXtiles: 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion / Jack Forman et al. // Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. 2020. P. 1222–1233. URL: <https://www.researchgate.net/publication/345036029> (дата обращения: 1.06.2023).
- Hudson S. E. Printing teddy bears: a technique for 3D printing of soft interactive objects // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'14). 2014. P. 459–468.
- Layered Fabric 3D Printer for Soft Interactive Objects / H. Peng, J. Mankoff, S. E. Hudson, J. McCann // Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. Seoul, 2015. P. 1789–1798.
- Beecroft M. 3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder // IOP Conference Series Materials Science and Engineering (July 2016). 2017. № 137(1). URL: <https://www.researchgate.net/publication/305684541> (дата обращения: 1.06.2023).
- Способ формирования 3D-ортогонального тканого волокнистого материала / А. П. Гречухин, С. Н. Ушаков, Д. В. Зайцев, Л. А. Тихомиров // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2016. № 6(366). С. 118–122.
- Определение рациональных параметров системы заправки нитей при формировании трехмерного ортогонального тканого волокнистого материала / А. П. Гречухин, С. Н. Ушаков, П. Н. Рудовский, С. В. Палочкин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 5(377). С. 111–115.

8. Влияние величины смещения слоя горизонтального утка на плотность расположения вертикальных слоев нитей при формировании трехмерных ортогональных тканей / С. Н. Ушаков, А. П. Гречухин, П. Н. Рудовский, С. В. Палочкин // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. № 6(378). С. 96–100.
9. Зайцев Д. В., Гречухин А. П., Рудовский П. Н. Система заправки при формировании 3D-ортогонального тканого материала // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2017. № 3(369). С. 154–156.
10. Разработка новых пространственно-армированных материалов на базе технологии многоуточного 3D-ортогонального ткачества / А. П. Гречухин, П. Н. Рудовский, А. Хабибуллоев, А. В. Куликов, И. В. Старинец // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2023. № 2(404). С. 243–247.
11. Расчет параметров берда при формировании трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования / А. Хабибуллоев, А. П. Гречухин, П. Н. Рудовский, И. В. Старинец, А. В. Куликов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6(402). С. 92–97.

## REFERENCE

1. Spahiu T., E. Canaj, E. Shehi. 3D printing for clothing production. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2020;15:43–51.
2. Forman J., Dogan M. D., Forsythe H., Ishii H. Defe Xtiles: 3D Printing Quasi-Woven Fabric via Under-Extrusion. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. 2020:1222–1233. URL: [https://www.researchgate.net/publication/345036029\\_DefeXtiles\\_3D\\_Printing\\_Quasi-Woven\\_Fabric\\_via\\_Under-Extrusion](https://www.researchgate.net/publication/345036029_DefeXtiles_3D_Printing_Quasi-Woven_Fabric_via_Under-Extrusion) (accessed 1.06.2023).
3. Hudson S. E. Printing teddy bears: a technique for 3D printing of soft interactive objects. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*, 2014, pp. 459–468.
4. Peng H., Mankoff J., Hudson S. E., McCann J. Layered Fabric 3D Printer for Soft Interactive Objects. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2015, pp. 1789–1798.
5. Beecroft M. 3D printing of weft knitted textile based structures by selective laser sintering of nylon powder. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 137 (July 2016), 2017. URL: <https://www.researchgate.net/publication/305684541> (accessed 1.06.2023).
6. Grechukhin A. P., Ushakov S. N., Zaitsev D. V., Tikhomirov L. A. Method of forming 3D-orthogonal woven fibrous material. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2016;6:118–122. (In Russ.)
7. Grechukhin A. P., Ushakov S. N., Rudovsky P. N., Palochkin S. V. Determination of rational parameters of the threading system during the formation of a three-dimensional orthogonal woven fibrous material. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2018;5(377):111–115. (In Russ.)
8. Ushakov S. N., Grechukhin A. P., Rudovsky P. N., Palochkin S. V. Influence of the offset value of the horizontal weft layer on the density of vertical layers of threads in the formation of three-dimensional orthogonal fabrics. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2018;6(378):96–100. (In Russ.)
9. Zaitsev D. V., Grechukhin A. P., Rudovsky P. N. Threading system when forming a 3D orthogonal woven fabric. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2017;3(369):154–156. (In Russ.)
10. Grechukhin A. P., Rudovsky P. N., Khabibulloev A., Kulikov A. V., Starinets I. V. Development of new spatially reinforced materials based on multi-threaded 3D orthogonal weaving technology. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2023;2(404):243–247. (In Russ.)
11. Khabibulloev A., Grechukhin A. P., Rudovsky P. N., Starinets I. V., Kulikov A. V. Calculation of reed parameters during the formation of three-dimensional orthogonal fabrics with ligation by one system of threads in the formation zone. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Series Textile Industry Technology]. 2022; 6(402):92–97. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 13.06.2023

Принята к публикации 8.09.2023