

## КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ 3D-ПЕЧАТИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГАЗОТУРБИННОЙ ТЕХНИКИ

Марканов И.Д.<sup>1</sup>, Гончаров Е. С.<sup>1</sup>, Злобин Е. П.<sup>1</sup>, Олейник М.А.<sup>1</sup>, Балякин А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский университет, г. Самара, [ilyamarkanoff355@gmail.com](mailto:ilyamarkanoff355@gmail.com)

*Ключевые слова:* 3D-печать, двигателестроение, авиационная промышленность, транспортные средства, аддитивное производство.

Трехмерная (3D) печать, также известная как “аддитивное производство” или как “быстрое прототипирование”, представляет собой производственную технологию для создания трехмерных объектов [1-4]. В ней используются различные материалы (полимеры, металлы, керамика, стекло и другие) в зависимости от используемой аддитивной машины и применяемой технологии. Аддитивное производство стало настолько успешным благодаря своей способности создавать очень сложные геометрии и структуры. Более того, оптимизация геометрии деталей является стандартной практикой для аддитивных технологий – требуется изготавливать детали, которые достаточно прочны, но при этом потребляют наименьшее количество материала, а значит, потенциально дешевле. Авиационная двигателестроительная промышленность ежедневно сталкивается с вызовами, требующими создания более легких, прочных, износостойчивых и термостойчивых деталей [5]. В результате этого требуется совершенствование проектирования, производства, логистики и цепочки поставок в этой отрасли. Для удовлетворения этих потребностей было проведено исследование возможности внедрения 3D-печати в авиадвигателестроение. В работе кратко рассматриваются основы 3D-печати, а также описываются и сравниваются различные доступные методы.

Трехмерная печать стремительно развивается и имеет потенциал стать одной из основных производственных технологий для отрасли. Только в двигателестроительном секторе применяется более пяти различных технологий аддитивного производства для быстрого и эффективного производства. Точнее, все упомянутые технологии могут быть применены для изготовления прототипов и полимерной оснастки, а также деталей в случаях, когда используются неметаллические материалы, в то время как прямое лазерное выращивание и селективное лазерное сплавление подходят исключительно для металлических деталей и прототипов. Полимерная и металлическая оснастка для изготовления деталей также может быть изготовлена большинством способов, в зависимости от материала, но струйное нанесение связующего особенно хорошо подходит для песчаных форм. Формы для изготовления крупных деталей из углеродного волокна могут быть легко и дешево напечатаны с помощью FDM.

Многие двигателестроительные компании изучают возможности, которые предлагает 3D-печать, и уже дополнили свое портфолио передовыми конструкциями, производство которых использовали технологии аддитивного производства. Кроме того, аддитивное производство является быстрым и дешевым для создания прототипов в опытно-конструкторском и мелкосерийном производстве и обеспечивает разнообразие обрабатываемых материалов с учетом требований авиационной и двигателестроительной промышленности. Это потенциально может сократить сроки и затраты на производство, снизить зависимость производителей оборудования от внешних поставщиков и позволить создавать массовое производство по индивидуальному заказу.

Тем не менее, 3D-печати по-прежнему не хватает мощности традиционных производственных технологий:

- Аддитивное производство обладает низкой производительностью с точки зрения средне- и крупносерийного производства.
- Свойства производимых объектов несколько ниже из-за наличия слоев в конструкции - возможны анизотропия и незначительные отклонения от размеров.
- Некоторые методы 3D-печати по-прежнему требуют очень больших капиталовложений.

Даже учитывая эти недостатки, перспективы технологии очень позитивны, и ожидается, что она будет быстро развиваться за счет совершенствования используемых технологий для более быстрого и масштабного производства и применения новых материалов, таким образом, становясь более устойчивой и конкурентоспособной по сравнению с традиционными технологиями производства.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме: «Организация высокотехнологичного производства индустриальных ГТД с интеллектуальной системой конструкторско-технологической подготовки для повышения функциональных характеристик» (Соглашение о предоставлении гранта № 075-11-2021-042 от 24.06.2021 г.).

### **Список литературы**

1. Балякин, А. В. Применение аддитивных технологий для создания деталей камеры сгорания / А. В. Балякин, В. Г. Смелов, Л. А. Чемпинский // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королёва (национального исследовательского университета). – 2012. – № 3-2(34). – С. 47-52.

2. Изготовление выжигаемых моделей с использованием FDM печати / Р. А. Вдовин, А. В. Балякин, Е. С. Гончаров, Е. П. Злобин // Всероссийский научно-технический форум по двигателям и энергетическим установкам имени Н.Д. Кузнецова, посвященный 110-летию ПАО "ОДК-КУЗНЕЦОВ" : Материалы докладов, Самара, 05–07 октября 2022 года. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2022. – С. 47-49.

3. Влияние режимов прямого лазерного выращивания на формирование одиночных валиков и стенок из жаропрочного сплава ХН50ВМТЮБ / М.А. Олейник, А.В. Балякин, Д.Л. Скуратов [и др.] // Вестник Московского авиационного института. – 2022. – Т. 29, № 4. – С. 243-255. – DOI 10.34759/vst-2022-4-243-255.

4. Обзор гибридного аддитивного производства металлических деталей / А.В. Балякин, М.А. Олейник, Е.П. Злобин, Д.Л. Скуратов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 48-64. – DOI 10.18287/2541-7533-2022-21-2-48-64.

5. Башин К.А., Торсунов Р.А., Семёнов С.В. Методы топологической оптимизации конструкций, применяющиеся в аэрокосмической отрасли // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2017. – № 51. – С. 51-61. – DOI: 10.15593/2224-9982/2017.51.05.

### **Сведения об авторах**

Марканов Илья Денисович, студент гр. 2413D240305, Область научных интересов: 3D печать, постобработка деталей, изготавливаемых аддитивными технологиями.

Гончаров Евгений Станиславович, аспирант, Область научных интересов: 3D печать, прототипирование, постобработка пластиков.

Злобин Евгений Петрович, студент магистратуры, Область научных интересов: 3D печать, постобработка деталей, изготавливаемых аддитивными технологиями.

Олейник Максим Андреевич, аспирант, Область научных интересов: 3D печать, прямое лазерное выращивание.

Балякин Андрей Владимирович, старший преподаватель, Область научных интересов: 3D печать, быстрое прототипирование, прямое лазерное выращивание.

## **BRIEF OVERVIEW OF 3D PRINTING METHODS USED IN THE PRODUCTION OF GAS TURBINE EQUIPMENT**

Markanov I. D.<sup>1</sup>, Goncharov E. S.<sup>1</sup>, Zlobin E. P.<sup>1</sup>, Oleynik M. A.<sup>1</sup>, Balyakin A.V.<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Samara National Research University, Samara, Russia, [ilyamarkanoff355@gmail.com](mailto:ilyamarkanoff355@gmail.com)

*Keywords: 3D printing, engine building, aircraft industry, vehicles, additive manufacturing.*

3D printing is a new manufacturing technology that has proven itself to be very efficient and reliable, as well as being faster and cheaper than some traditional manufacturing techniques. In industry, it is especially used for prototyping parts, but its repeatability, accuracy, use of various materials, and the variety of printing methods available have made it suitable for production in the automotive, aircraft, biotechnology, and other industries. The purpose of the paper, in particular, is to review the 3D printing methods used in the aircraft and engine industries briefly, highlighting their advantages and disadvantages, describing their exact application, as well as mentioning real examples and projects.