

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОТЕЧЕСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

*Шкарина А.И., Кукушкина В.А., Кровопусков П.А.*

*Липецкий государственный технический университет, Липецк*

**Ключевые слова:** 3D-печать, аддитивные технологии, 3D принтеры, SLA, FDM.

**Аннотация.** В статье проанализирован исторический экскурс в область развития 3D технологий в мировой промышленной практике, а также перспективы применения аддитивных технологий, приведены в сравнительном анализе некоторых видов 3D печати, выявлены преимущества и недостатки, которые влияют на формообразование изделий, производимых современными методами печати для импортозамещения на российском рынке товаров в различных областях экономики и Отечественной промышленности.

## PROSPECTS FOR THE USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN DOMESTIC PRODUCTION

*Shkarina A.I., Kukushkina V.A., Krovopuskov P.A.*

*Lipetsk State Technical University, Lipetsk*

**Keywords:** 3D printing, additive technologies, 3D printers, SLA, FDM.

**Abstract.** The article analyzes a historical excursion into the development of 3D technologies in the world industrial practice, as well as the prospects for the use of additive technologies, is given in a comparative analysis of some types of 3D printing, the advantages and disadvantages that affect the shaping of products produced by modern printing methods for import substitution in the Russian market of goods in various areas of the economy and domestic industry.

Аддитивное производство существенно отличается от обычных методов промышленного производства, которое носит название субтрактивных технологий, то есть отнимающих. Если при резке, шлифовке, фрезеровке лишний материал удаляется, то в первом случае наоборот добавляется до получения готовой модели, слой за слоем.

3D-принтеры открыли возможность создания изделий в разных областях, таких как медицина, строительство, машиностроение, дизайн.

В 1980 году доктор Хидео Кодама из промышленного исследовательского института, отправил заявку на патент своего устройства. Данный прибор формировал послойно твёрдый объект из фотополимерной смолы, благодаря УФ-засветки. Хидео Кодама был первым создателем быстрого прототипирования. Он описал современный фотополимеризационный принтер, но запатентовать устройство не смог, хотя многие считают его первым создателем 3D технологий.

В 1983 году инженеры Жан-Клод Андрэ, Оливье де Витт, и Ален Ле Мехо, пытаясь осуществить свою идею «фрактального объекта», решили использовать мономер и лазер. Объект, который был реализован – винтовая лестница. Свою технологию инженеры называли стереолитография (STL).

Чак Халл трудился в компании, где осуществлялось покрытие мебели при помощи УФ-лампы. Производство небольших изделий занимало до двух месяцев.

Тогда Чак решил ускорить процесс и объединил УФ-технологии и расположение пластика послойно. При опытах использовались затвердевающие фотополимеры на акриловой основе под воздействием ультрафиолета. Был получен «Аппарат для создания трехмерных объектов с помощью стереолитографии». Позже Чак Халл основал компанию и выпустил первый принтер-SL1.

Примерно в это время появилась SLA-печать. Лазерное селективное спекание SLS, в котором лазер превращал порошок в твердый материал. Его авторы – студент Карл Декарт и профессор Джо Биман.

Самый простой способ 3D-печати FDM был основан только в 1988 году после SLA и SLS. Изобрел его Скот Крамп, используя клеевой пистолет послойно наплавил пластик. Таким образом, появилась идея 3D печати-FDM как технология послойного направления пластиковой нити, запатентована в 1989 году.

Рассмотрим особенности некоторых видов 3D-печати.

**Послойное наплавление (FDM и FFF)** – аббревиатура обозначает создание объектов при помощи метода послойного нанесения расплавленного материала. FDM расшифровывается, как моделирование методом послойного наплавления (fused deposition modeling), реже носит название FFF в переводе, как метод наплавления нитей (fused filament fabrication).

Данная технология является одной из самых популярных. Принцип работы напоминает термоклеевой пистолет. С одной стороны, вставляется пластик, который плавится, а затем застывает, не теряя своих свойств (рис. 1) Термопластичный полимер, который находится в печатной головке, при высоких температурах начинает плавиться и подаваться на нагретую рабочую поверхность по заданной траектории. При одновременном охлаждении материалы соединяются друг с другом и создают трехмерную деталь.

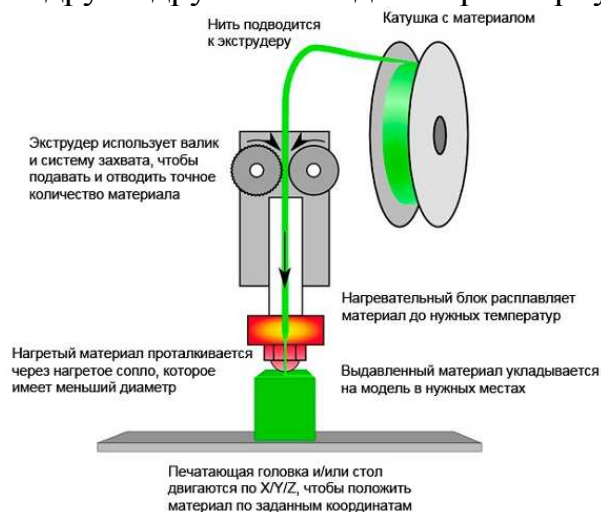


Рис. 1. Принцип работы FDM

Характеристики. Габариты настольных моделей имеют 200x200x200мм, а промышленных 1000x1000x1000мм. Температура рабочей поверхности и сопла, а также скорость вентилятора и высота слоя настраиваются. Толщина слоя от 50 до 400 микрон. Чем больше высота слоя, тем быстрее происходит процесс печати. Схема движения печатающей головки движется как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Скорость задается до начала печати.

Принтеры используются при создании запчастей, дизайнерских объектов, сувенирной продукции, макетов, прототипов, медицинских изделий и мелкосерийного производства, а так же в образовательных организации для демонстрации возможностей 3D-технологий.

В результате исследования выявлены следующие преимущества данной технологии: FDM имеет простой механизм, приемлемую цену, лидер в быстром прототипировании, технология позволяет изготовить изделия из разных видов пластика, создает функциональные модели-прототипы.

Недостатки технологии: низкая скорость печати, низкое качество поверхности, в результате печати могут образоваться дефекты и расслоения.

### **Фотополимерный метод печати SLA стереолитография**

Вместо нитей, SLA использует фото полимеры, которые являются светочувствительными материалами. Он изменяет физические свойства при воздействии света. У SLA нет экструзионной насадки. Используется лазер для затвердевания жидкой смолы, данный процесс называется фотополимеризацией. В итоге получаются модели-высокого разрешения, обладающих водонепроницаемыми и изотропными свойствами.

Принцип работы. Фотополимерная смола затвердевает при воздействии источника света. Источник может быть различным (лазер через систему зеркал-SLA, DLP-цифровой проектор, LCD/SLA-LED лампа через LCD дисплей) (рис. 2).

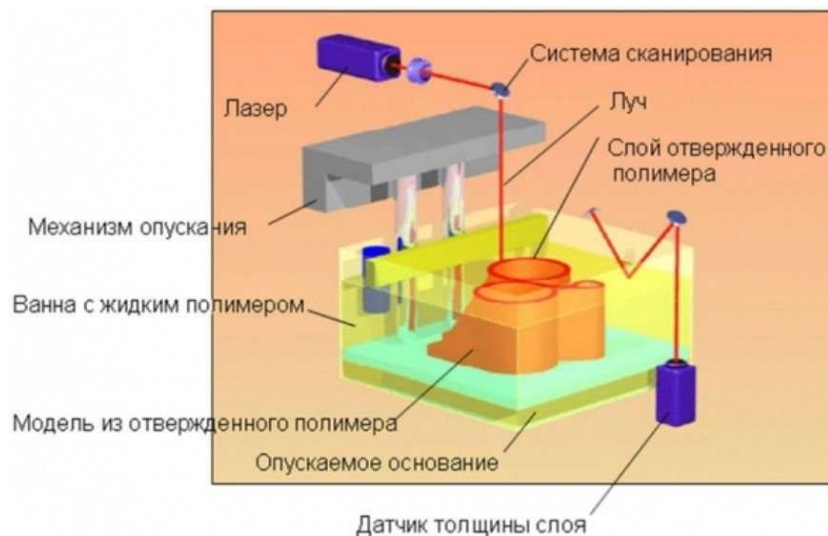


Рис. 2. Принцип работы SLA

Фото полимеры реагируют иначе, чем термопласты, так как являются термоактивными. По скорости FDM и SLA, разница незначительна. SLA визуально превосходят FDM, благодаря лазерной технологии, толщина слоя от 25 до 1000 микрон. Чем меньше толщина, тем более точно пропечатывается форма и поверхность модели. Оптимальная толщина 100 микрон. Большинство параметров печати устанавливается производителем, изменяется только высота слоя и ориентация детали. Главное преимущество данной технологии – точность поверхности в отличии FDM.

Области применения: искусство, авиакосмическая область, архитектура, приборостроение, медицина, производство ювелирных изделий.

Результаты исследований представлены: преимущества – высокая скорость печати, низкая стоимость, простота конструкции, высокое качество модели, высокая производительность и окупаемость, универсальность.

Недостатки: трудоемкость в эксплуатации, высокая стоимость материала, невозможность печать одновременно двумя цветами.

### **Выводы**

Если сравнивать данные технологии, то по ряду показателей преимущество у SLA технологии (рис. 3).



Рис. 3. Сравнение печати FDM и SLA

Данные принтеры являются достаточно мощными и недорогими. Изначально их использовали в области ювелирного дела и стоматологии. В настоящее время, изготавливают модели и прототипы для различных промышленных сфер. Детальный сравнительный анализ по каждой позиции позволил выявить сильные и слабые стороны FDM и SLA-принтеров. Если рассматривать промышленное производство, то здесь практикуют комбинирование технологий. Это позволяет применить технологию, оптимизирующую производство. При индивидуальном применении и использовании в образовательном процессе наиболее эффективным и доступным является применение FDM принтера.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование различных принтеров и соответственно технологий, определяется поставленными задачами и областью применения технологий.

### **Список литературы**

1. Корнвейц А. 3D-печать, битва технологий, FDM vs SLA [Электронный ресурс] // Сообщество владельцев 3D-принтеров – 3DToday, 2021. – URL: <https://3dtoday.ru/blogs/cvetmir3d/3d-pecat-bitva-texnologii-fdm-vs-sla>.
2. Панфилова А.Н. SLA/DLP/LCD технология 3D печати и ее применение [Электронный ресурс] // Цветной Мир, 2021. – URL: <https://cvetmir3d.ru/blog/poleznoe/sla-dlp-lcd-tekhnologiya-3d-pechat-i-ee-primenenie/>.
3. Дожделев А.М. Обзор фотополимерных материалов для 3D печати методом стереолитографии / А.М. Дожделев, Ю.А. Лаврентьев // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2020. – Vol. 9-2 (48). – С. 99-101.
4. Кровопусков П.А. К истории развития научных представлений о кузнечном деле в России // Профессиональная коммуникация: от термина к дискурсу: сборник научных трудов по

- материалам всероссийской научно-практической конференции. – М.: Изд-во: ООО "ОнтоПринт", 2020. – С. 137-149.
5. Кровопусков П.А. К вопросу эргономики и организации рабочего места на станкостроительном предприятии / П.А. Кровопусков, С.Г. Яковчик // Инновационные технологии в образовании, промышленности и дизайне: сборник материалов международной научной конференции. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2019. – С. 185-188.
  6. Кукушкина В.А. Применение 3d-моделирования и аддитивных технологий в машиностроении / В.А. Кукушкина, Ю.А. Бордюгова // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. – 2022. – №1(13). – С. 63-69.
  7. Кровопусков П.А. Прогрессивные технологии производства сложных поковок / П.А. Кровопусков, С.Г. Яковчик // Актуальные вопросы развития станкостроительной отрасли: сб. трудов I междунар. научно-практической конференции. Ч. 1. – 28-30 ноября 2017г. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2018. – С. 135-141.
  8. Гамов Е.С. Применение аддитивных (цифровых) технологий для изготовления литых художественных изделий / Е.С. Гамов, В.А. Кукушкина // Литейщик России. – 2018. – №4. – С. 20-25.

Сведения об авторах:

*Шкарина Анастасия Игоревна* – студентка;

*Кукушкина Вера Анатольевна* – доцент кафедры дизайна и художественной обработке материалов, заместитель директора института машиностроения по научной работе;

*Кровопусков Павел Анатольевич* – начальник отдела по науке, заместитель директора института машиностроения по внеучебной работе, старший преподаватель кафедры общей механики.