**Математическое моделирование технологии FDM печати с целью оптимизации процесса.**

Одним из быстро развивающихся технологий являются аддитивные технологии. Аддитивные технологии- это процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки) [1, 2].

Одной из широко используемых аддитивных технологии является FDM-печать. FDM (Fused Deposition Modeling) – метод 3D-печати, при котором термопластичный филамент нагревается, экструдируется через сопло и послойно наносится, формируя модель. Филамент — это термопластичная нить, используемая в FDM-принтерах в качестве расходного материала. Он подается в экструдер, где нагревается, плавится и послойно наносится для формирования 3D-объекта. Этот процесс широко применяется в прототипировании и промышленном производстве благодаря доступности и универсальности.

FDM-печать продолжает оставаться одной из самых доступных и востребованных технологий аддитивного производства благодаря простоте реализации и широкому спектру применений. Её развитие направлено на повышение качества и точности печати, внедрение новых композитных материалов, оптимизацию процессов экструзии и охлаждения, а также интеграцию методов искусственного интеллекта и цифрового моделирования. Современные исследования сосредоточены на улучшении механических свойств напечатанных изделий, снижении остаточных напряжений и повышении скорости производства без потери качества. Активное применение FDM-технологии в промышленности, медицине, авиации и строительстве подтверждает её стратегическую значимость, и перспективность использования в некоторых областях промышленности и науки.

На рисунке 1 кратко представлен процесс послойного нанесения филамента и формирование изделия из пластика. Существует большое количество факторов, влияющих на процесс формирования изделия. От данных факторов зависит качество получаемого продукта и характеристики пластика.

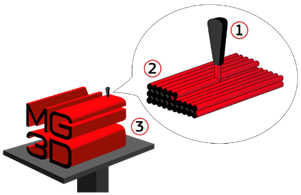


Рисунок .1

Печать включает подготовку модели в слайсере, экструзию материала, послойное наплавление и охлаждение. Слайсер — это программа, которая превращает 3D-модель в команды для принтера, разбивая её на слои и генерируя G-код с параметрами печати (температура, скорость, заполнение и траектория сопла). Совершенствование материалов и алгоритмов делает FDM более точным и эффективным.

Необходимость использования математического моделирования связана с возможностью улучшения качества получаемых деталей и уменьшения нестабильности и не воспроизводимости результатов на разных видах принтеров (стандартизация процесса FDM печати для 3D-принтеров разных видов и разных производителей).

Математическое моделирование необходимо для повышения качества FDM-печати, так как оно позволяет предсказать поведение расплава, деформации и адгезию слоев. Анализ тепловых процессов, скорости потока материала и охлаждения помогает минимизировать дефекты, такие как коробление, расслоение и неравномерность структуры. Кроме того, моделирование снижает нестабильность результатов на разных принтерах, компенсируя различия в конструкции и кинематике. Численные методы и алгоритмы машинного обучения позволяют адаптировать параметры печати для каждой системы, обеспечивая воспроизводимость и точность независимо от модели принтера.[3, 4]

В настоящее время ведутся работы по математическому моделированию процесса FDM – печати [5, 6]. Однако, необходимо продолжение таких работ, направленных на создание мат. модели которая может позволить контролировать и улучшать процесс 3D – печати в реальном времени.

1. ГОСТ Р 57558-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. Дата обращения: 11 апреля 2023. Архивировано 12 апреля 2023 года.

2. Шишковский И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. — Спб. : Питер, 2016. — 400 с. — ISBN 978-5-496-02049-7.

3. Система мониторинга и оптимизации качества 3D печати на основе машинного зрения: <https://pt.2035.university/project/sistema-monitoringa-i-optimizacii-kacestva-3d-pecati-na-osnove-masinnogo-zrenia>

4. Искусственный интеллект и аддитивные технологии: перспективы взаимодействия <https://blog.iqb.ru/ai-3d-printing-intersection/>

5. Tolcha S.D. ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES // 2019 BEST: International Journal of Management, Information Technology and Engineering (BEST: IJMITE) ISSN (P): 2348-0513, ISSN (E): 2454-471X, Vol. 4, Issue 7, Jul 2016, 89-11

<https://www.researchgate.net/publication/334545466_ADDITIVE_MANUFACTURING_TECHNOLOGIES>

6.Холодилова А.А, Пузынина М.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛОЙНОГО ОТДЕЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ , НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО СТРАН АТР В XXI ВЕКЕ . Том 2 2019 стр 212-216