

УДК 67.05

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В АЛГОРИТМАХ КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ ПРИ АДДИТИВНОЙ ОБРАБОТКЕ**

**Зименко К.В.** (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

**Научный руководитель – к.т.н., доцент Афанасьев М.Я.**

(федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Рассматривается возможность применения машинного обучения для контроля динамики экструзии материала при трехмерной печати по технологии послойного наплавления. Предсказание изменения направления движения экструдера позволит заранее снизить скорость выхода материала и предотвратить наплывы в углах, что повысит качество получаемых изделий.

Одной из причин появления дефектов при печати методом послойного наплавления материала (fused deposition modeling, FDM) является нежелательная динамика экструзии, вызванная изменением скорости печатающей головки. Области максимального значения таких дефектов - это участки с высоким ускорением или замедлением экструдера. Чаще всего эти эффекты проявляются в виде наплавления углов, так как в этих участках экструдеру требуется снизить скорость для получения точного угла. Если при этом скорость выхода материала из экструдера останется постоянной, то при замедлении будет выдавливаться слишком много материала, а при ускорении недостаточно. Поскольку эти дефекты серьезно влияют на допуски в углах, то полученные изделия часто требуют дополнительной обработки для удаления лишнего материала.

Самым популярным решением данной проблемы являются алгоритмы опережения (advance algorithms). Первым примененным алгоритмом с открытым исходным кодом, который позволял откалибровать дефекты, был алгоритм опережения Advance, разработанный Мэттом Робертсом в 2019. В нем основной причиной неточностей предполагалось сжатие нити и потеря давления в сопле из-за ускорения материала. Позже было показано, что потерю давления в сопле вызывают силы трения, а не силы, вызванные ускорением, и на основе этой идеи был реализован алгоритм JKN-advance.

Самой распространенной его версией на сегодняшний день является Linear Advance. Он позволяет путем калибровки скорости снизить эффект неравномерности слоя материала. Его суть заключается в расчете скорости выхода материала с учетом скорости движения экструдера и параметра коррекции K, связанного с фактором опережения системы. Среди недостатков существующих алгоритмов опережения можно назвать необходимость калибровки параметра коррекции и инертность системы, то есть запоздание в снижении скорости подачи материала. Из-за этого применение данного алгоритма приводит к снижению ускорения головки, чтобы снизить влияние инертности. Еще одним ограничением является невозможность работы с нелинейными типами разгона/торможения. Поэтому задача обеспечения эффективной работы алгоритма контроля давления с разгоном S-типа в области открытого программного обеспечения остается нерешенной.

В качестве решения данной проблемы алгоритмов контроля давления предлагается применение машинного обучения для предсказания изменения направления движения экструдера, чтобы начать процесс снижения скорости подачи материала непосредственно перед замедлением и наоборот. Предлагается применение обучения с подкреплением, где обучение модели будет происходить на наборе тестовых траекторий.

Данное решение позволит повысить эффективность работы трехмерной печати и может быть применено совместно с алгоритмом Linear Advance при печати по технологии FDM. Он позволит минимизировать наплывы в углах траектории и получать более точные изделия.