

**УДК 67.05**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ ПО  
ТЕХНОЛОГИИ ЭКСТРУЗИИ МАТЕРИАЛА**

**Зименко К.В. (Университет ИТМО),**

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

**(Университет ИТМО)**

Рассматриваются такие ограничения скорости трехмерной печати как нежелательная динамика экструзии и упругие колебания сопряжений органов установки. Приводится анализ применяемых программных решений данных проблем, а также их основные недостатки. Предлагается модификация методов контроля динамики и упругих деформаций установки с применением машинного обучения, позволяющие повысить среднюю скорость печати, точность геометрии и качество поверхности получаемых изделий.

Оборудование для аддитивного производства является одной из активно развивающихся технологических систем с числовым программным управлением. Однако имеется ряд ограничений, препятствующих широкому распространению данной группы технологий в приборостроении, такие как низкая скорость и различные дефекты печати.

К факторам, ограничивающим скорость печати изделий относятся проявления нежелательной динамики экструзии, а также упругие деформации сопряжений органов установки. Первая проблема вызвана замедленным изменением давления в экструдере по сравнению с изменением скорости движения рабочего органа, что приводит к наплывам в углах или недостаточной экструзии. А вторая заключается в том, что рост ускорения вызывает большие силы внутри установки, а значит и большие упругие колебания, отражающиеся на поверхности изделия в виде эха.

Для решения первой проблемы был разработан алгоритм Advance, который позволяет стабилизировать давление в экструдере и минимизировать искажения геометрии при печати на повышенных скоростях. Однако, его высокая инертность приводит к наличию остаточных дефектов, а необходимость ручной калибровки под конкретные условия печати ограничивает возможности его применения. А для управления влияния колебаний установки при высоких ускорениях получен алгоритм резонансной компенсации или Input Shaping, который гасит упругие деформации путем деления ускорения и торможения рабочего органа на составляющие, находящиеся в противофазе. Недостатком алгоритма является тенденция к скруглению угла при росте скорости печати, а также необходимость ручной калибровки.

В настоящей работе предлагается модификация данных алгоритмов с применением машинного обучения, позволяющая исправить упомянутые недостатки. Для усовершенствования алгоритма Advance предлагается внедрить в него нейронную сеть. Одна модель прогнозирует изменение направления движения печатающей головки и дает возможность начать компенсацию давления за несколько шагов до поворота, выравнивая слой. Вторая модель определяет значение параметра компенсации на основе параметров печати, что сократит время калибровки алгоритма для конкретных условий. Предлагаемая модификация алгоритма резонансной компенсации заключается в применении нейронной сети для прогнозирования диапазона частот, на котором производится наибольшее количество колебаний, а также автоматического подбора модели компенсации для минимизации эффекта скругления углов.

Предлагаемая модификация методов контроля динамики экструзии и резонансов позволит повысить точность и качество изделий, получаемых при высокоскоростной трехмерной печати. Полученные алгоритмы могут быть применены на трехмерных принтерах, работающих по технологии экструзии материала.