

УДК 654.071.3

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-58-61

*А. П. Порхун, В. Г. Барабанов, М. Ю. Козенко, Е. А. Дьяченко***ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕЧАТИ 3D-ПРИНТЕРА A4PRO
ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ****Волгоградский государственный технический университет**E-mail: sa.porkhun30@gmail.com, vbarabanov@vstu.ru, kozenkomichael1999@yandex.ru,
zhenya.dyachenko.1999@gmail.com

Проведена модернизация системы управления для 3D-принтеров повышенной производительности, и представлена структурная схема полученной автоматизированной системы.

Ключевые слова: система управления, 3D-принтер, FDM

*A. P. Porkhun, V. G. Barabanov, M. Yu. Kozenko, E. A. Dyachenko***INCREASING THE PRINTING SPEED OF THE A4PRO 3D-PRINTER
BY MODERNIZING THE CONTROL SYSTEM****Volgograd State Technical University**

The control system for 3D-printers with increased productivity was modernized and a block diagram of the resulting automated system was presented.

Keywords: control system, 3D-printer, FDM

В условиях современного аддитивного производства имеется необходимость в улучшения механических характеристик деталей при повышении скорости изготовления, создаваемых с помощью технологии *FDM (Fused Deposition Modeling)*. Эта технология быстро развивается и находит все большее применение в различных отраслях промышленности, однако она имеет некоторые ограничения. Одним из главных недостатков является относительно низкая скорость процесса печати. Она может быть заметна особенно при создании крупных или сложных деталей, требующих большого времени на производство [1; 2].

Авторами проведен анализ существующих решений и выполнена модернизация системы управления для принтера A4PRO [3]. A4PRO – это промышленные 3D-принтеры, предназначенные для эксплуатации на предприятиях. Данное оборудование предназначается для печати функциональных деталей из различных полимеров и может, например, использоваться в машиностроении для изготовления мелких серий деталей, в ремонтных мастерских для быстрого изготовления запасных комплектующих, в конструкторских бюро для изготовления прототипов, в аэрокосмической отрасли для печати деталей стойких к радиации и большой механической и температурной нагрузке и в медицинской сфере для печати биосовместимых деталей. Исследование проводилось на предприятии ИП «Козенко М. Ю.».

На рис. 1 представлена схема системы управления 3D-принтером.

Шаговые двигатели (ШД) *XUY* – используются для перемещения портала по оси *Y*, а также для перемещения первой (*X*) и второй (*U*) печатающей головки на самом портале по оси *X*.

Шаговые двигатели *Z* – используются для перемещения стола (платформы) по оси *Z*.

ARGB или *Addressable RGB* – расширенный вариант *RGB*, где можно выбирать отдельный оттенок для каждого диода. Используется для сигнализации различных состояний принтера: «Простаивает», «Печатает», «Закончил печать», «Ошибка».

CAN-bridge – это конфигурируемый *CAN/CAN* шлюз, который предназначен для соединения двух *CAN*-сетей, в том числе сетей с разными скоростями передач. Используется для подключения плат экструдеров и основной платы принтера.

CAN-модуль – используется для подключения к шине *CAN* и передачи цифровых сигналов между различными электронными узлами.

Нагреватель экструдера – керамический нагревательный элемент в металлической гильзе для плавления филамента внутри канала подачи.

Термистор экструдера – электронный компонент для получения показаний температуры нагревательного элемента хотенда.

Акселерометр – электронный компонент для получения показаний резонансов конструкции и гашения резонансных частот.

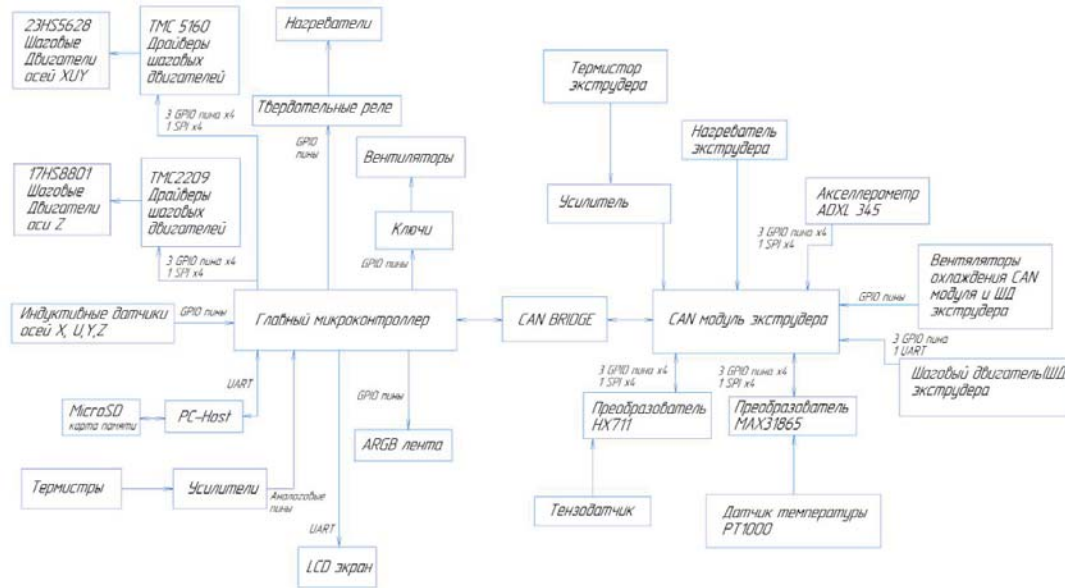


Рис. 1. Схема управления 3D-принтером

Преобразователь – преобразователь для получения показаний высокотемпературного датчика и передачи их по шине SPI CAN-контроллеру.

Шаговый двигатель экструдера – используется для подачи филамента в хотенд для дальнейшего расплава.

Для использования функционала контроллера, который может осуществлять настройку параметров драйверов шаговых двигателей посредством протокола UART, в систему интегрированы стандартные драйверы шаговых двигателей Nema 17 и Nema 23, оснащенные чипом TMC2209 и TMC5160 компании Trinamic™, что позволяет оптимально реализовать потенциал используемых технологий.

Особенностью драйверов шаговых двигателей от компании Trinamic™ является применение технологии SpreadCycle™, которая обеспечивает точное и плавное вращение моторов.

Традиционные алгоритмы управления шаговыми двигателями часто сталкиваются с ря-

дом проблем. Во-первых, плавность вращения двигателя может быть неидеальной, особенно при нарушениях в процессе калибровки, делая недостатки более выраженными. Во-вторых, коммутация обмоток может вызывать значительные электромагнитные помехи и характерные шумы, которые усугубляются при повышении рабочих частот. К тому же, увеличение частоты может приводить к возрастанию потерь энергии в системе.

В свете этих ограничений, использование алгоритма SpreadCycle™ предлагает значительные улучшения. Этот алгоритм разбивает цикл коммутации на четыре фазы: On, SD, FD и повторно SD, что позволяет более точно контролировать каждый аспект работы двигателя. Важной особенностью является возможность автоматической регулировки длительности как фазы прямого тока (On), так и фазы обратного тока (FD). Эта гибкость настройки способствует высокой степени реактивности и точности в управлении током обмотки (рис. 2).

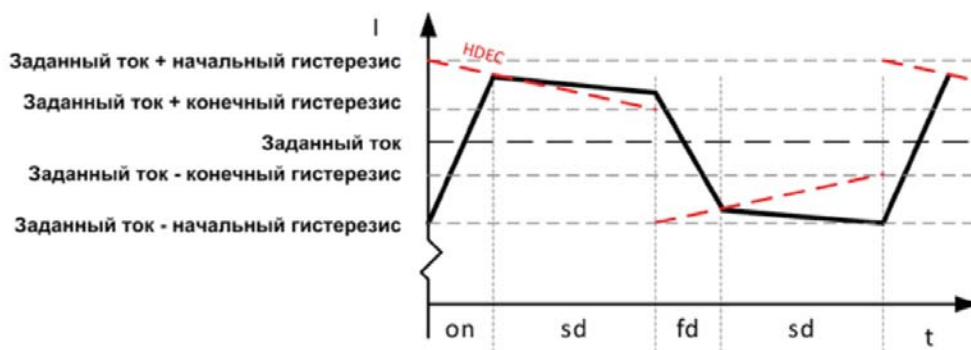


Рис. 2. Диаграмма токов при алгоритме коммутации SpreadCycle™

SpreadCycle™ имеет сразу три важных преимущества над традиционным алгоритмом: повышение плавности движения, снижение шума от двигателя, уменьшение уровня помех.

Электрическая схемасостоит изследующие модулей:

- модуль отжига включает в себя реле 20А и нагреватель модуля отжига;
- термокамера, состоящая из двух тэнов и конвенционных вентиляторов;
- модуль стола, в который входят нагреватель стола и реле 20А, подключенные в сеть через керамическую зажимную колодку.

Для защиты от короткого замыкания установлен автоматический выключатель. Для обеспечения безопасности при работе с принтером

установлена кнопка аварийного выключения, подключенная к магнитному размыкателю, который размыкает цепь питания при нажатии на нее. Все датчики устройства подключены к плате управления в соответствии с схемой распиновки.

Также было разработано программное обеспечение для управляющей платы.

Во время тестовой печати (рис. 3) принтер смог достичь скорости 100 мм/с и ускорение 4000 мм/с² при сохранении качества печати и прочностных характеристик изделий. Максимальная температура термокамеры достигла 250 °С, стола – 250 °С, экструдера – 500 °С.

В таблице приведен сравнительный анализ основных параметров улучшенной и предыдущей версий принтера.



Рис. 3. Примеры деталей, изготовленных во время тестовой печати

Сравнение параметров

Параметры	Предыдущая версия	Улучшенная версия
Максимальная температура экструдера	450 °С	550 °С
Максимальная температура подогреваемой платформы	200 °С	250 °С
Скорость печати	70 мм/с	100 мм/с
Ускорение	1500 мм/с ²	4000 мм/с ²
Максимальная температура термостатированной камеры	200 °С	250 °С
Прошивка	Marlin	Klipper
Датчик автокалибровки	Индуктивный	Тензодатчик
Тип двухэкструдерной системы	Подвижные сопла	IDEX

В результате проведенных изменений повышена скорость печати принтера, работающе-

го по технологии моделирования методом послойного наплавления, на 30 % по сравнению

с предыдущей версией без потери качества изделия, за счет использования системы управления с новой аппаратно-программной базой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Валетов, В. А.* Аддитивные технологии (состояние и перспективы) : учеб. пособие / В. А. Валетов. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 63 с.

2. *Шеховцов, А. А.* Аддитивные технологии как способ реализации концепции бережливого производства / А. А. Шеховцов, Н. П. Карпова // Научно-методический электронный журнал «Концепт» : электронный журнал. – URL: <https://e-koncept.ru/2015/85029.htm>. – 2015. – Том 13. – С. 141–145.

3. Способы повышение скорости печати FDM / А. П. Порхун, Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, А. М. Макаров // XXVIII региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. – Волгоград : ВолгГТУ, 2023. – С. 187.