

УДК 62-791.2

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-8-291-47-51

Н. А. Золотых, М. Ю. Козенко, Е. А. Дьяченко, А. М. Макаров

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ FDM 3D-ПЕЧАТИ ПУТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ РАБОЧЕЙ ПЛАТФОРМЫ 3D-ПРИНТЕРА**

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: nikzol2002@gmail.com, kozenkomichael1999@yandex.ru,
zhenya.dyachenko.1999@gmail.com, amm@mail.ru

Предложен способ автоматической калибровки рабочей платформы FDM 3D-принтера на основе тензодатчика, интегрированного в печатающую головку, разработаны устройство, реализующее данный способ, и система управления этим устройством. Данный способ по сравнению с ручным позволяет повысить точность калибровки и сократить время подготовки аддитивного производства.

Ключевые слова: автоматическая калибровка, тензодатчик, печатающая головка, рабочая платформа, система управления, 3D-принтер, FDM

© Золотых Н. А., Козенко М. Ю., Дьяченко Е. А., Макаров А. М., 2024.

N. A. Zolotikh, M. Yu. Kozenko, E. A. Dyachenko, A. M. Makarov
IMPROVE THE ACCURACY OF FDM 3D-PRINTING BY AUTOMATICALLY
CALIBRATING THE WORKING PLATFORM OF THE 3D PRINTER

Volgograd State Technical University

A method for automatic calibration of the working platform of an FDM 3D-printer based on a load cell integrated into the furnace head is proposed, a device implementing this method and a control system for this device are developed. This method, compared with manual, allows to increase the accuracy of calibration and reduce the preparation time of additive manufacturing.

Keywords: automatic calibration, load cell, printhead, operating platform, control system, 3D-printer, FDM

В условиях современного аддитивного производства остро стоит задача улучшения механических характеристик изготавливаемых таким способом деталей при повышении скорости их изготовления. FDM (*Fused Deposition Modeling*) технология 3D-печати быстро развивается и находит все большее применение в различных отраслях промышленности, однако она имеет некоторые ограничения.

В процессе последовательной послойной печати деталей на рабочей платформе 3D-принтера необходимо обеспечить крепкое сцепление детали с поверхностью платформы, сохраняя при этом ее геометрическую целостность. Эффективное удержание детали обеспечивается правильным положением поверхности платформы, а именно – ее параллельностью относительно плоскости осей X и Y , по которым перемещается печатающая головка 3D-принтера. Процесс коррекции угла наклона поверхности стола в соответствии с этими осями называется калибровкой.

Своевременная калибровка рабочей платформы 3D-принтера является неотъемлемой частью процесса 3D-печати. С момента приобретения оборудования и на протяжении всего срока эксплуатации эта процедура требует времени и навыков оператора. Существующие способы калибровки [1–2] имеют недостатки, которые, как правило, связаны с необходимостью участия оператора в этом процессе.

Процедура автоматической калибровки в данном контексте не сводится к выравниванию поверхности стола в традиционном понимании. Вместо этого посредством применением датчика формируется трехмерная карта высот по всей рабочей поверхности платформы. В некоторых случаях возможна дополнительная коррекция высоты плоскости стола. После завершения процесса принтер готов к печати на поверхности с наклоном или неровностями. При использовании автокалибровки достигается эффективная адгезия пластика к столу, а также сохранение правильной геометрии

и, следовательно, точности изготавливаемого изделия, соответствующего 3D-модели.

Для реализации способа автокалибровки предложено использовать тензодатчик, где чувствительный элемент представлен тензорезистором [3]. Конструктивно такой датчик может быть представлен в виде тонкой упругой проволоки или пленки, размещенной на контролируемой поверхности.

Принцип работы тензорезистора основан на законе Гука (изменение электрического сопротивления пропорционально удлинению или сжатию сенсора по сравнению с его исходным положением). Этот принцип определяет коэффициент пропорциональности, выраженный формулой:

$$K = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta R}{R}, \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности; Δl – изменение длины в процессе деформации; l – длина измеряемого элемента в неподвижном состоянии; ΔR – изменение сопротивления при деформации; R – значение сопротивления тензорезистора в исходном положении.

На практике это реализуется следующим образом: при нахождении в состоянии покоя дорожки тензорезистора имеют определенное сечение и длину проводника. Сопротивление всего резистивного элемента тензодатчика будет определяться по формуле:

$$R = (\rho \cdot l) / S, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление материала, как правило, в качестве металла с постоянным удельным сопротивлением используют константан; l – длина проводника тензодатчика; S – поперечное сечение проводника тензодатчика.

Следовательно, при удлинении тензодатчика длина проводящих дорожек увеличивается, а их поперечное сечение уменьшается, что приводит к увеличению омического сопротивления тензорезистора. В случае сжатия происходит обратный процесс: длина проводящих элементов уменьшается, а поперечное сечение увеличивается. Этот процесс приводит к уменьше-

нию сопротивления тензодатчика, что лежит в основе его принципа работы.

Разработка устройства, реализующего данный способ и исследования проводились на базе 3D-принтера A4PRO на предприятии ИП «Козенко М.Ю.».

С учетом возможности интеграции тензодатчика, как крепления рамы экструдера для выбранной кинематики 3D-принтера [4], были разработаны основные элементы конст-

рукции печатающей головки: рамка фидера и рамка экструдера (рис. 1). В процессе разработки использовались функции генеративного дизайна для экономии материалов и снижения веса печатающей головки. Данные элементы могут быть изготовлены методом *SLM* печати из нержавеющей стали, достаточно плохо проводящей тепло, это позволяет беречь критически важные элементы экструдера от перегрева.

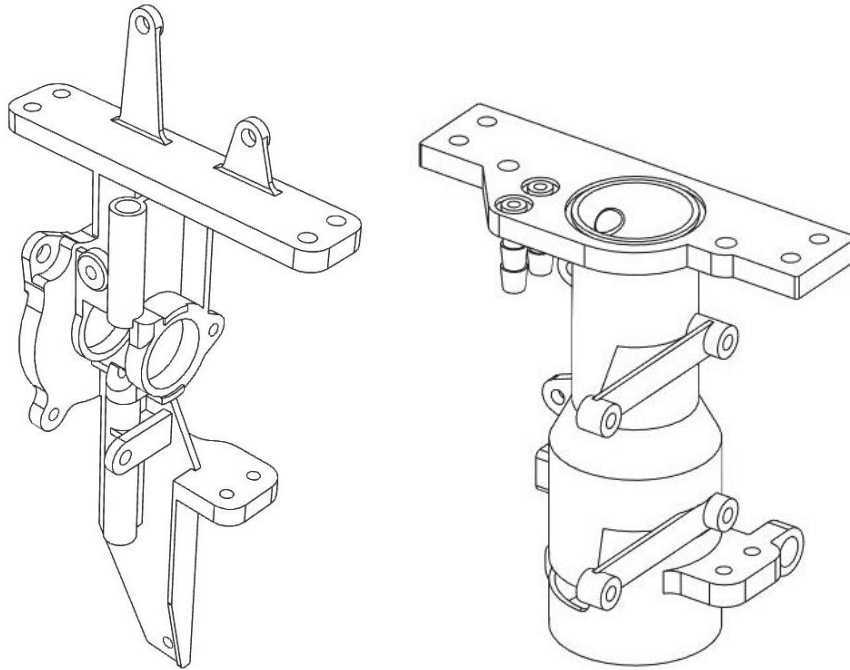


Рис. 1. Рамка фидера (слева) и рамка экструдера (справа)

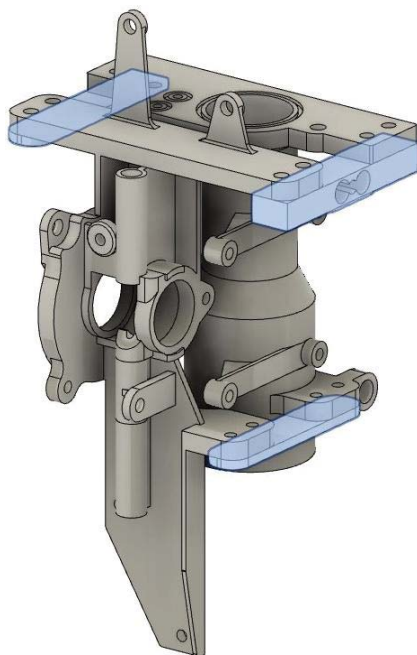


Рис. 2. Несущая конструкция печатающей головки

Крепятся между собой рамки при помощи трех элементов: верхней и нижней балки и тензодатчика. Все это образует в сборе несущую конструкцию печатающей головки, 3D-модель которой представлена на рис. 2.

Благодаря такой конструкции тензодатчик имеет только одну степень свободы (может перемещаться по вертикали при касаниях платформы соплом), что позволяет избежать ложные срабатывания и неточности при автокалибровке.

Центральным блоком, обрабатывающим всю поступающую информацию в процессе калибровки, является управляющая плата 3D-принтера. Именно на ее входы поступает информация с датчиков, сигналы, поданные оператором, а также программный код.

С блока управления обработанные сигналы подаются на входы драйверов, которые приводят во вращение шаговые двигатели. Также по завершению процесса блок управления посылает информацию в систему обратной связи – на

экране появляется сообщение о завершении процесса автокалибровки. На рис. 3 представ-

лена схема подключения некоторых элементов системы управления.

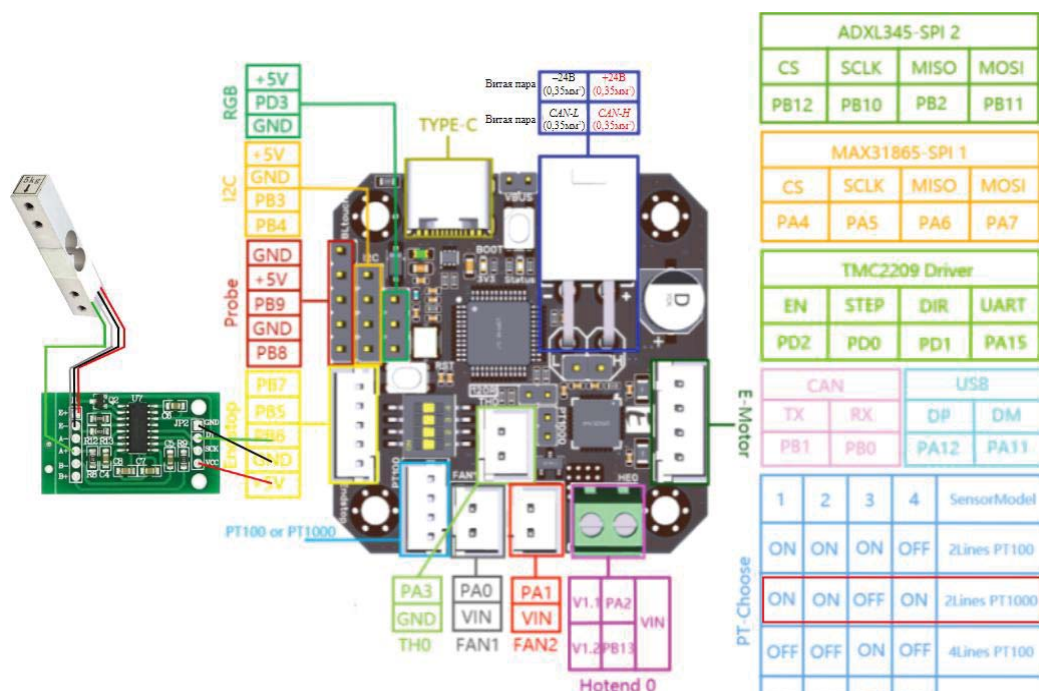


Рис. 3 Схема подключения элементов системы управления

Запуская программу автокалибровки, с управляющей платы поступают сигналы, приводящие в движение шаговые двигатели, которые двигают печатающую головку по заданному количеству точек. Подъезжая к нужной точке,

платформа поднимается и касается сопла. В этот момент тензорезисторы изменяют сопротивление, сигнал поступает в аналого-цифровой преобразователь, откуда, уже в дискретном виде, передается на расширительную плату печатаю-

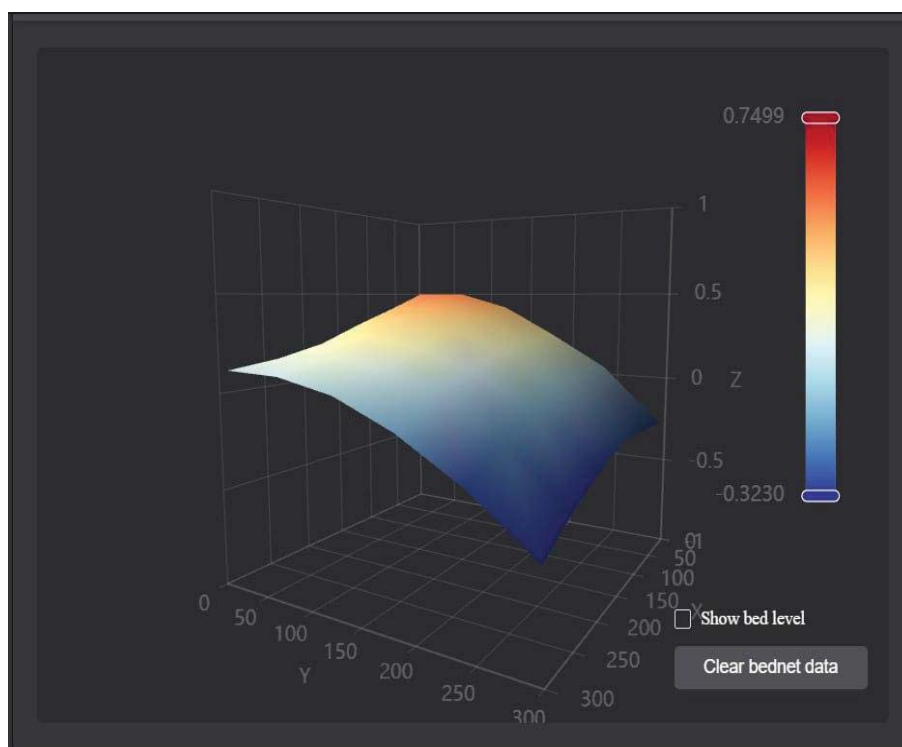


Рис. 4. Карта высот стола, полученная методом автокалибровки

щей головки, которая по протоколу CAN передает сигнал в управляющую плату, где после математических вычислений фиксируется отклонение стола от нормали. После заданного количества итераций получается карта высот (рис. 4), на основании которой управляющая плата корректирует положения платформы для обеспечения наилучшей адгезии.

Результаты исследования могут быть использованы при разработке и эксплуатации систем автокалибровки рабочей платформы 3D-принтера. Предлагаемая система позволяет минимизировать вероятность человеческих ошибок, обеспечивая более стабильное и точное позиционирование печатающей головки. Это позволяет повысить точность и надежность 3D-печати, уменьшить количество брака и повысить эффективность использования оборудования и материалов. Таким образом, разрабо-

танная системы автокалибровки 3D-принтера представляет собой важный шаг в развитии индустрии аддитивного производства в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калибровка стола 3D-принтера своими руками. Основные способы // ТехноПринт3D : сайт. – URL: https://tp3d.ru/index.php?route=record/record&record_id=59 (дата обращения: 20.10.23).
2. Разновидности систем автокалибровок стола 3D-принтера // 3DIY : сайт. – URL: <https://3d-diy.ru/wiki/3d-printery/raznovidnosti-sistem-avtokalibrovki-stola-3d-printera> (дата обращения: 23.10.23).
3. Мехеда, В. А. Тензометрический метод измерения деформаций : учеб. пособие / В. А. Мехеда. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 56 с.
4. Анализ существующих кинематик 3D принтеров технологии FFF/FDM / Е. А. Дьяченко, М. Ю. Козенко, А. М. Макаров, А. В. Ваганов // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 1 (248) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2021. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 57–60.