

УДК 681.586

**СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДАТЧИКОВ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫРАВНИВАНИЯ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ 3D-ПРИНТЕРА****И. В. СУДЬКО***(Представлено: канд. техн. наук, доц. В. Ф. ЯНУШКЕВИЧ)*

*В статье выполнен анализ различных датчиков автоматического выравнивания печатной платформы 3D-принтера: индуктивные датчики, датчики Холла, оптические датчики, механические датчики. Производится описание датчиков. Проводится сравнительная характеристика точности датчиков.*

**Ключевые слова:** датчики, автоматизация, 3D-печать.

В настоящее время широкое применение получили 3D-принтеры, о чем свидетельствует большое количество публикаций как в отечественной, так и зарубежной литературе. Интерес в основном связан с автоматизацией, увеличением точности и качества печати, что делает современные FDM 3D-принтеры крайне популярным инструментом для создания различных изделий. Однако, одним из важнейших аспектов успешной печати на FDM принтерах является учет неровностей печатной платформы принтера [3]. Для этой задачи используется автоматическое выравнивание печатной платформы - это процесс, при котором 3D-принтер самостоятельно определяет уровень и наклон печатной поверхности и корректирует его для достижения оптимальных результатов печати [1]. Это позволяет избежать проблем, связанных с неравномерностью платформы, и обеспечивает точность и качество печати на протяжении всего процесса, для этого датчик должен отвечать следующим требованиям:

1. Точность: датчик должен обеспечивать высокую точность измерений, чтобы гарантировать правильное позиционирование печатной платформы.
2. Надежность: датчик должен быть надежным и стабильным в работе, чтобы избегать сбоев и ошибок в процессе калибровки и печати.
3. Совместимость: датчик должен быть совместим как с управляющей платой и программным обеспечением устройства, так и с материалом печатной платформы.

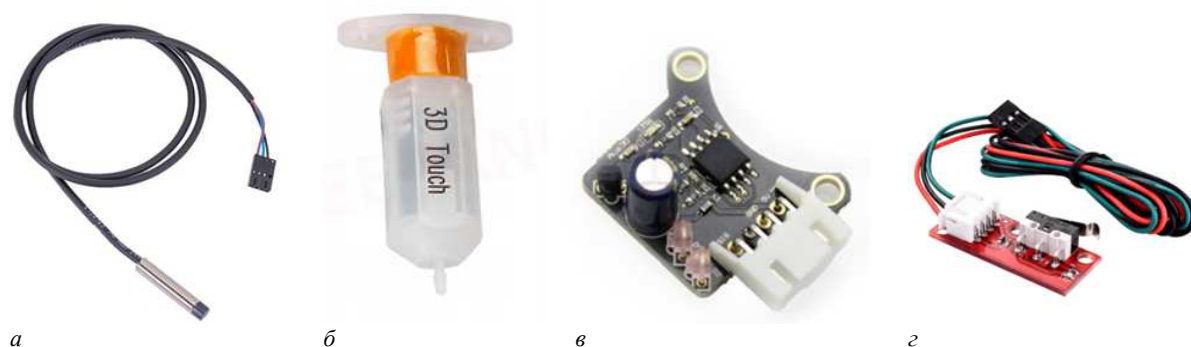
Виды и принципы работы различных датчиков, используемых в тесте на точность автоматического выравнивания стола.

Индуктивные датчики — принцип работы основан на изменении параметров магнитного поля катушки индуктивности, в зону которой попадает металлический объект. Схема колебаний внутри прибора генерирует электромагнитное поле. Так как на ней возникают индуцированные токи, колебания уменьшаются, что считывает датчик. Такие датчики не подвержены влиянию окружающей среды, такой как пыль, грязь или влага, но не подходят для всех типов столов, так как датчик реагирует только на металлические поверхности. Для испытания был выбран индуктивный датчик «Prusa superPINDA», который имеет малые габариты и вес.

Датчики Холла включают в себя полупроводниковый элемент, через который пропускается электрический ток. Если вблизи датчика находится магнитное поле, то это поле воздействует на движущиеся внутри датчика электроны. Магнитное поле заставляет электроны в проводнике отклоняться от своего прямолинейного движения. Это отклонение создает разницу в электрическом потенциале по разные стороны от датчика. Именно по этому принципу работает самый популярный датчик калибровки «3D-Touch» [2], [4]. Датчик имеет щуп, на конце которого находится магнит, во время калибровки, щуп касается стола и упирается в датчик Холла, в следствие чего фиксируется касание печатной платформы и происходит калибровка.

Оптические датчики используют свет для определения неровностей печатной платформы. Они могут быть основаны на различных принципах, таких как отражение света, пропускание света через материал или изменение интенсивности света при изменении расстояния до объекта. Для теста будет использован инфракрасный датчик автоматического выравнивания печатной платформы «IR Probe 1.4» [5].

Механические датчики включают в себя различные механизмы и конструкции, такие как микропереключатели или механические выключатели. Они реагируют на соприкосновение с объектом и могут быть использованы для выравнивания печатной платформы. Механические датчики обнаруживают контакт между собой и платформой, и позволяют принтеру корректировать уровень платформы перед процессом печати. Такие датчики являются дешевыми и простыми в использовании, но подвержены износу механических частей, а также имеют длительное время калибровки. В качестве механического датчика был спроектирован и создан датчик на основе микропереключателя KW-12.



**а** – индуктивный датчик «Prusa superPINDA»; **б** – датчик Холла «3D-Touch»;  
**в** – оптический датчик «IR Probe 1.4»; **г** – механический датчик «KW-12»

**Рисунок 1. – Датчики автоматического выравнивания печатной платформы 3D-принтера**

В качестве тестового стенда был использован 3D-принтер «Creality Ender 3» и программном обеспечении «Marlin 2.0.9.7 LTS». Проведение теста заключалось в трехкратном измерении и калибровке одной точки поверхности стола, после чего автоматически рассчитывалась погрешность калибровки печатной платформы и записывалась в таблицу. Для теста было использовано два материала поверхности стола, такие как стекло и алюминий, а также два режима работы печатной платформы с нагревом до 90°C и комнатной температурой  $\approx 25^\circ\text{C}$ . Для повышения точности и уменьшения погрешности калибровки, все тесты были проведены на скорости 10 мм/сек

Таблица 1. – Результаты теста на точность

Название датчика	Номер испытания	Тип покрытия стола, нагрев стола, скорость калибровки	
		Стеклоанное покрытие, Нагрев отключен, $t \approx 25^\circ\text{C}$ 10 мм/с	Стеклоанное покрытие, Нагрев включен, $t = 90^\circ\text{C}$ 10 мм/с
Механический датчик на основе «KW-12»	1	0,00547	0,00625
	2	0,00248	0,00375
	3	0,00123	0,00000
	ср.знач	0,00306	0,00333
Оптический датчик «IR Probe 1.4»	1	0,00512	0,00368
	2	0,00612	0,00113
	3	0,00500	0,00000
	ср.знач	0,00541	0,00160
Датчик Холла «3D-Touch»	1	0,00500	0,00000
	2	0,00375	0,00345
	3	0,00307	0,00101
	ср.знач	0,00394	0,00149
Индуктивный датчик «Prusa superPINDA»		Металлическое покрытие, Нагрев отключен 10 мм/с	Металлическое покрытие, Нагрев включен 10 мм/с
	1	0,00103	0,00000
	2	0,00000	0,00000
	3	0,00573	0,00379
ср.знач	0,00225	0,00126	

Из проведенного анализа датчиков и проведенного теста можно сказать, что процесс автоматического выравнивания печатной платформы, является важной функцией современных FDM 3D-принтеров, которая позволяет обеспечить точность и качество печати. Каждый тип датчика имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного типа зависит от необходимых требований и конструктивных особенностей 3D-принтера. При выборе датчика для задач выравнивания печатной платформы, необходимо учитывать материалы стола, влияние окружающей среды, надежность и совместимость с 3D-принтером. Из проведенного теста можно увидеть, что большей точностью обладает индуктивный

датчик автоматического выравнивания печатной платформы, но он ограничен материалом стола и не может работать с неметаллическими поверхностями. Благодаря постоянному развитию технологий и инноваций в области 3D-печати, можно ожидать появления новых и усовершенствованных датчиков для автоматического выравнивания печатной платформы, которые будут обеспечивать еще более высокую точность и надежность калибровки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Канеса, С. Фонда, М. Зенаро, Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития. The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, 2013.
2. Шевченко, С. А. Разработка 3D-touch датчика для автокалибровки положения печатающей головки, Материалы X Инновационного конвента, Кемерово, 30 января 2022 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. – С. 432-433.
3. Смирнов М. А., Рыбкин Н. О., Ксенофонтова О. Л. FDM-технология: особенности применения, преимущества, недостатки //Сборник научных трудов вузов России" Проблемы экономики, финансов и управления производством". – 2021. – №. 48. – С. 115-122.
4. Портной Г. Современные магниточувствительные датчики Холла и приборы на их основе //Вестник автоматизации. – 2013. – Т. 39. – №. 1. – С. 7.
5. Шурхаленко П. Г. Принцип работы инфракрасных датчиков //Вопросы науки и образования. – 2017. – №. 7 (8). – С. 28-31.