

УДК 621.91.01

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 3D ПРИНТЕРОВ
НА ОСНОВЕ FDM И SLA ТЕХНОЛОГИЙ**

**С.А. СТОТИК, Р.Г. ДМИТРИЕВ., Е.С. БЕДРИЦКАЯ, В.А. КУДРЯКОВА,
Е.А. ГЛИНСКИЙ, Д.Е. МАТВЕЕНКОВ, А.А. ПОРТЯНКО**
(Представлено: д-р техн. наук Н. Н. ПОПОК; С.А. ПОРТЯНКО)

Введение. Моделирование методом слитого осаждения (FDM) и стереолитография (SLA) являются двумя наиболее популярными технологиями 3D-печати. Обе технологии адаптированы и усовершенствованы, что делает их более доступными, простыми в использовании и более функциональными.

Моделирование методом послойного нанесения материала является наиболее широко используемой технологией 3D-печати на уровне потребителей. FDM работает путем экструзии термопластов, таких как ABS, PLA, через нагретый экструдер, плавления материала и нанесения пластика слой за слоем. Эти типы 3D-принтеров хорошо подходят для базовых моделей, проверки концепции, а также для быстрого и недорогого создания прототипов.

Стереолитография была первой в мире технологией 3D-печати, изобретенной в 1980-х годах, и до сих пор остается одной из самых популярных технологий для профессионалов. SLA использует лазер для отверждения жидкой смолы в затвердевшую пластмассу в процессе, называемом фотополимеризацией.

3D-принтеры SLA стали чрезвычайно популярными благодаря своей способности производить высокоточные, изотропные и водонепроницаемые прототипы и детали из самых современных материалов с прекрасными характеристиками и гладкой поверхностью. Смолистые составы SLA предлагают широкий спектр оптических, механических и термических свойств, соответствующих свойствам стандартных, технических и промышленных термопластов.

SLA – отличный вариант для высокодетализированных прототипов, требующих жестких допусков и гладких поверхностей, таких как формы, узоры и функциональные детали. SLA широко используется в различных отраслях промышленности: от машиностроения и проектирования изделий до производства, стоматологии, ювелирных изделий, создания моделей и образования.

Сравнение технологий 3D-печати FDM и SLA. Качество и точность печати. Когда процессы 3D-печати производят детали слой за слоем, каждый слой также вносит возможность неточности. Процесс формирования слоев влияет на качество поверхности, уровень точности, а, следовательно, и на общее качество печати.

3D-принтеры FDM слои могут не полностью прилипать друг к другу, слои, как правило, хорошо видны на поверхности, и в процессе отсутствует способность воспроизводить сложные, мелкие детали, которые могут предложить другие технологии.

В 3D-печати SLA, позволяет получать более мелкие детали и является более надежным для многократного достижения высококачественных результатов. В результате, SLA 3D-печать известна своими прекрасными характеристиками, гладкой поверхностью, высочайшей точностью деталей.

Использование света вместо тепла для печати - это еще один способ, которым машины SLA гарантируют надежность. При печати деталей при температуре, близкой к комнатной, они не страдают от теплового расширения и артефактов сжатия, которые могут возникнуть в процессе печати FDM.

В то время как FDM создает механическую связь между слоями, 3D-принтеры SLA создают химические связи путем поперечной сшивки фотополимеров между слоями, в результате чего получаются полностью плотные, водонепроницаемые и воздухонепроницаемые детали. Эти связи обеспечивают высокую степень боковой прочности, что приводит к изотропным деталям, а это означает, что прочность деталей не изменяется с ориентацией. Это делает SLA особенно идеальным для машиностроения и производства, где важны свойства материала.

Материалы. 3D-принтеры FDM работают с рядом стандартных термопластов, таких как ABS, PLA и их различными смесями. Популярность FDM в пространстве любителей привела к изобилию вариантов цвета. Существуют также различные экспериментальные смеси нитей для создания деталей с поверхностью, подобной дереву или металлу.

Инженерные материалы, такие как нейлон, PETG, PA или TPU и высокопроизводительные термопластики, такие как PEEK или PEI, также доступны, но часто ограничиваются избранными профессиональными принтерами FDM, которые их поддерживают.

Смолы SLA обладают преимуществом широкого спектра конфигураций составов: материалы могут быть мягкими или твердыми, сильно заполненными материалами, такими как стекло и керамика, или наполненными механическими свойствами, такими как высокая температура отклонения тепла или ударопрочность.

Различные составы смол предлагают широкий спектр оптических, механических и термических свойств, чтобы соответствовать свойствам стандартных, технических и промышленных термопластов.

Описание и технические характеристики 3D принтеров 3D-принтер Premier3D N1 (FDM)



Рисунок 1. – 3D-принтер Premier3D N1

Принтер выполнен из высококачественного металла и имеет изолированную камеру печати, закрытую ударопрочным стеклом. Несомненным преимуществом данного принтера является система фильтрации воздуха, которая позволит сократить до минимума количество вредоносных испарений, выделяемых при печати.

Внутренние размеры области печати, составляющие 200x200x200 мм., вкпе с компактным корпусом и малым весом, позволят использовать Premier3D N1 в домашних условиях без каких-либо проблем, совершенно не ограничивая пространство.

Скорость печати составляет внушительные 70 мм/с при толщине всего 0,1 мм. Такая производительность была достигнута путем применения специальных алгоритмов печатающей головки. LCD панель, отвечающая за настройку принтера, обладает высокой информативностью и большим количеством функций, позволяя настроить Premier3D для печати любых моделей, используя необходимый вид пластика [1].

Таблица 1. – Технические характеристики

Основные	
Тип	FDM принтер
Количество экструдеров	1
Корпус	закрытый
Материал рамы	сталь
Минимальная толщина слоя	100 мкм
Технические характеристики	
Длина области печати	200 мм
Ширина области печати	200 мм
Высота области печати	200 мм
Поддерживаемые материалы	PLA, ABS
Толщина материала	1,75 мм
Подогрев стола	✓
Температура стола	60 – 120 °C
Температура экструдера	190 – 260 °C
Максимальная скорость печати	70 мм/с
Дисплей	✓
Потребляемая мощность	360 Вт
Комплектация	
Требует сборки	×
Размеры и вес	
Длина	480 мм
Ширина	505 мм
Высота	450 мм
Вес	19,9 кг

3D-принтер Stratasys Mojo (FDM)

3D-принтер **Mojo** от компании Stratasys – это надежная и быстрая система трехмерной печати, которая легко поместится на вашем столе.



Рисунок 2. – 3D-принтер Stratasys Mojo

Простой в использовании и качественный в результатах – принтер Mojo специально создан для быстрой печати прототипов с помощью прочного пластика ABSplus. Небольшая стоимость, надежность и простота в использовании делают Mojo примером доступного 3D-принтера с хорошими характеристиками. Это лучший выбор для тех, кто хочет познакомиться с возможностями трехмерной печати. Технология работы принтера – FDM – является самой популярной технологией 3D-печати в мире. Стабильность результатов печати также обеспечивают продвинутое программное обеспечение и автоматический контроль температуры внутри камеры построения. Это позволит вам получать качественные прототипы высокой четкости, не отходя от рабочего места [2].

Таблица 2. – Технические характеристики

Технология печати		Параметры печати	
FDM (Fused Deposition Modeling)	послойное нанесение расплавленной пластиковой нити	Толщина слоя	0,178 мм
Размер области построения (максимальный размер получаемой модели)		Режимы печати	настраиваемый (заполняемость модели материалом, алгоритм выравнивания поддержки)
		Параметры печатающего блока	голова – 1, сопел – 2
		Скорость выращивания	
Длина	127 мм	Максимальная производительность	
Ширина	127 мм	Поддержка цветной печати	9 цветов материала
Высота	127 мм	Поддерживаемые материалы	
Размер рабочей камеры		Общее количество	1 материал
Длина	127 мм	Материалы	ABSplus-P430 – инженерный пластик (доступны 9 цветов)
Ширина	127 мм	Материал поддержки модели	SR-30 Soluble – специальный растворимый пластик
Высота	127 мм	Картриджи	2 катушки по 655 см ³

3D-принтер Form3 (SLA)

Form 3 использует технологию стереолитографии низкой мощности (LFS) с гибким резервуаром и линейной подсветкой, которая обеспечивает безупречное качество печати и надежность принтера. Параболическое зеркало гарантирует, что лазер печатает перпендикулярно плоскости, обеспечивая равномерное качество печати по всей платформе [3].



Рисунок 3. – 3D-принтер Form3

Form 3 постоянно отслеживает производительность печати, встроенные датчики помогают поддерживать идеальные условия и отправляют оповещения о состоянии принтера. Оптические датчики постоянно корректируют масштаб и мощность, и даже могут обнаруживать пыль. Автоматизированная система подачи смолы позволяет печатать больше изделий, оставляя меньше отработанных материалов, а также увеличить срок жизни ванны для печати. Печатающая камера с воздушным автоподогревом до 35 °С.

Таблица 3. – Технические характеристики

Основные	
Тип	SLA принтер
Корпус	закрытый
Минимальная толщина слоя	25 мкм
Технические характеристики	
Длина области печати	145 мм
Ширина области печати	145 мм
Высота области печати	185 мм
Точность позиционирования оси X, Y	25 мкм
Точность позиционирования оси Z	25 мкм
Поддерживаемые материалы	фотополимер
Подогрев стола	×
Полноцветная печать	×
Дисплей	✓ (5.5", 1280×720)
Управление	сенсорный дисплей
Интерфейсы	USB, Wi-Fi, Ethernet
Поддерживаемые форматы файлов	.stl, .obj
Камера	×
Автоматическая калибровка платформы	×
Возможность паузы при печати	✓
Мощность лазера	250 мВт
Потребляемая мощность	220 Вт

3D принтер Mass Portal Pharaon

Качество 3D-принтеров Mass Portal – как качество их сборки, обеспечивающее надежность и бесперебойность, так и качество, и точность работы, дающее лучший результат при печати, – позволило им распространиться по нескольким континентам и привлечь к себе заслуженное внимание.

Особенность серии XD, которую представляют XD 20, XD 30 и XD 40 – возможность печатать несколькими материалами одновременно. [4]



Рис. 4. 3D принтер Mass Portal Pharaon

Подробнее о них всех – в таблице ниже. В таблице есть ещё и цены, но они ориентировочные – цена на любой 3D-принтер может как вырасти, так и снизиться, точную лучше узнавать на сайте.

Таблица 4. – Технические характеристики

Основные	
Тип	FDM принтер
Количество экструдеров	1
Корпус	закрытый
Материал рамы	алюминий
Минимальная толщина слоя	10 мкм
Технические характеристики	
Длина области печати	300 мм
Ширина области печати	300 мм
Высота области печати	300 мм
Точность позиционирования оси X, Y	6 мкм
Точность позиционирования оси Z	5 мкм
Поддерживаемые материалы	PLA, ABS, PVA, Nylon, PET, NIPS, FLEX, PC, TPU, PP, PETG
Толщина материала	1,75 мм
Материал стола	стекло

Подогрев стола	✓
Температура стола	120 °C
Температура экструдера	300 °C
Максимальная скорость печати	300 мм/с
Дисплей	✓
Управление	сенсорный дисплей
Интерфейсы	USB, Wi-Fi, Ethernet
Поддерживаемые форматы файлов	.stl, .obj, .gcode
Автоматическая калибровка платформы	✓
Возможность паузы при печати	✓
Потребляемая мощность	360 Вт
Цвет корпуса	черный
Комплектация	
Карта памяти	✓ (8 Гб)
Сопло	0.4 мм (опционально 0.1, 0.2, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4 мм)
Требуется сборки	×
Размеры и вес	
Длина	483 мм
Ширина	425 мм
Высота	875 мм
Вес	39.8 кг

Заключение. В процессе анализа 3D принтеров на основе FDM, SLA, мы выявили их различия. Влияние основы принтера на температуру экструдера, подогрева стола, потребляемой мощности, поддерживаемые материалы, влияние различных факторов на скорость печати. Так же изучили толщину материалов, минимальную толщину слоев. Проанализировали габариты каждого принтера, размеры области печати. Область печати у рассматриваемых принтеров на основе FDM от 145 до 300мм, а у принтера на основе SLA, значительно меньше 127мм. В принтерах, работающих по технологии FDM минимальная толщина слоя – 100мкм, когда на основе SLA – 127 мкм. Также существует разница в технологии печати 3D-принтеры FDM формируют слои путем нанесения линий расплавленного пластика. При этом процессе разрешение детали определяется размером сопла экструдера, и между закругленными линиями возникают

пустоты, когда сопло осаждает их. В 3D-печати SLA, жидкая смола отверждается высокоточным лазером для формирования каждого слоя, что позволяет получать более мелкие детали и является более надежным для многократного достижения высококачественных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. 3D – принтер PREMIER 3D N1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://easycraft.by/3d-printer-premier-3d-n1/>. – Дата доступа: 20.09.2020.
2. 3D принтер Stratasys Mojo [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://3d-m.ru/3d-printer-stratasys-mojo/>. – Дата доступа: 22.09.2020.
3. Form 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://formlabs.com/ru/3d-printers/form-3/>. – Дата доступа: 28.09.2020.
4. Mass Portal. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://massportal.com/>. – Дата доступа: 29.09.2020.