

ПРЕДИСЛОВИЕ

История машин трёхмерного прототипирования, а именно так назывались установки для печати объёмных образцов, которые сейчас все знают как 3D-принтеры, насчитывает чуть больше 30 лет. Началась она в 1984 году, когда американец Чарльз Халл разработал технологию *стереолитографии* для печати объёмных объектов по созданной компьютерной модели. Постепенно появлялись новые технологии печати трёхмерных объектов, они улучшались и становились доступнее. В 1995 году в Массачусетском технологическом институте были придуманы термины «3D-печать» и «3D-принтер».

Революция произошла в 2008 году — была выпущена первая версия принтера RepRap (от англ. *Replicating Rapid Prototyper* — самовоспроизводящийся механизм для быстрого изготовления прототипов). Этот принтер может производить сам себя. Да, одной из целей проекта является «самокопирование» — способность аппарата воспроизводить компоненты, необходимые для создания другой версии себя. Благодаря этому проекту технологии трёхмерной печати стали доступны каждому желающему.

Сейчас технологическое развитие любого государства уже не мыслится без широкого внедрения 3D-печати в производство, образование, сферу услуг. В государственной программе «Развитие цифровой экономики России» уделено большое внимание 3D-печати как полной противоположности таким привычным методам механического производства, как, например, фрезерование или резка. И подчёркивается, что модели, изготовленные аддитивным методом, т. е. методом наращивания материала послойно, могут применяться на любом производственном этапе и как опытные образцы (*быстрое прототипирование*), и как готовые изделия (*быстрое производство*).

Коммерческие компании сейчас активно используют 3D-принтеры, правительства инвестируют в создание центров развития технологий 3D-печати. Трёхмерная печать включает в себя самые различные технические и конструкторские аспекты, которые могут содержать отличные идеи для создания бизнеса, целью которого станет помощь в удовлетворении потребностей других людей и компаний.

Глава 1

ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

§ 1

Основные технологии

С каждым годом количество технологий 3D-печати растёт. Сейчас их уже больше десяти, и полёт инженерной мысли на этом не остановится — их будет всё больше. Однако если попытаться их классифицировать на основе, например, структуры материала, который используется при формировании печатаемого объекта, то разновидностей принтеров получится не так много (рис. 1–4).

- Нанесение разогретого материала (экструзия). Материал при попадании в экструдер нагревается до температуры плавления и дозированно подаётся через сопло на рабочую поверхность. Слои за слоем на рабочем столе печатается объект/изделие.
- Формирование детали в жидком фотополимере (стереолитография). Луч лазера послойно вычерчивает модель, и в точках соприкосновения с лазером фотополимер твердеет.
- Лазерное спекание порошковых материалов. На рабочую поверхность наносится тонкий слой порошка. Каждый новый слой сплавляется с предыдущим под воздействием лазерного луча. Также материал в форме порошка может выдуваться из сопла, и та часть порошка, которая попадает под сфокусированный луч лазера, мгновенно спекается. Так, слой за слоем, принтер формирует трёхмерную деталь.
- Ламинирование листовых материалов. На рабочий стол подаётся слой материала с нанесённым клеем, луч лазера вычерчивает контур изделия, платформа с готовым слоем сдвигается вниз, далее подаётся новый лист.
- Струйное моделирование. Печатающая головка 3D-принтера наносит поддерживающий и моделирующий (конструкционный) материалы на рабочую поверхность, после чего производится их фотополимеризация и механическое выравнивание.



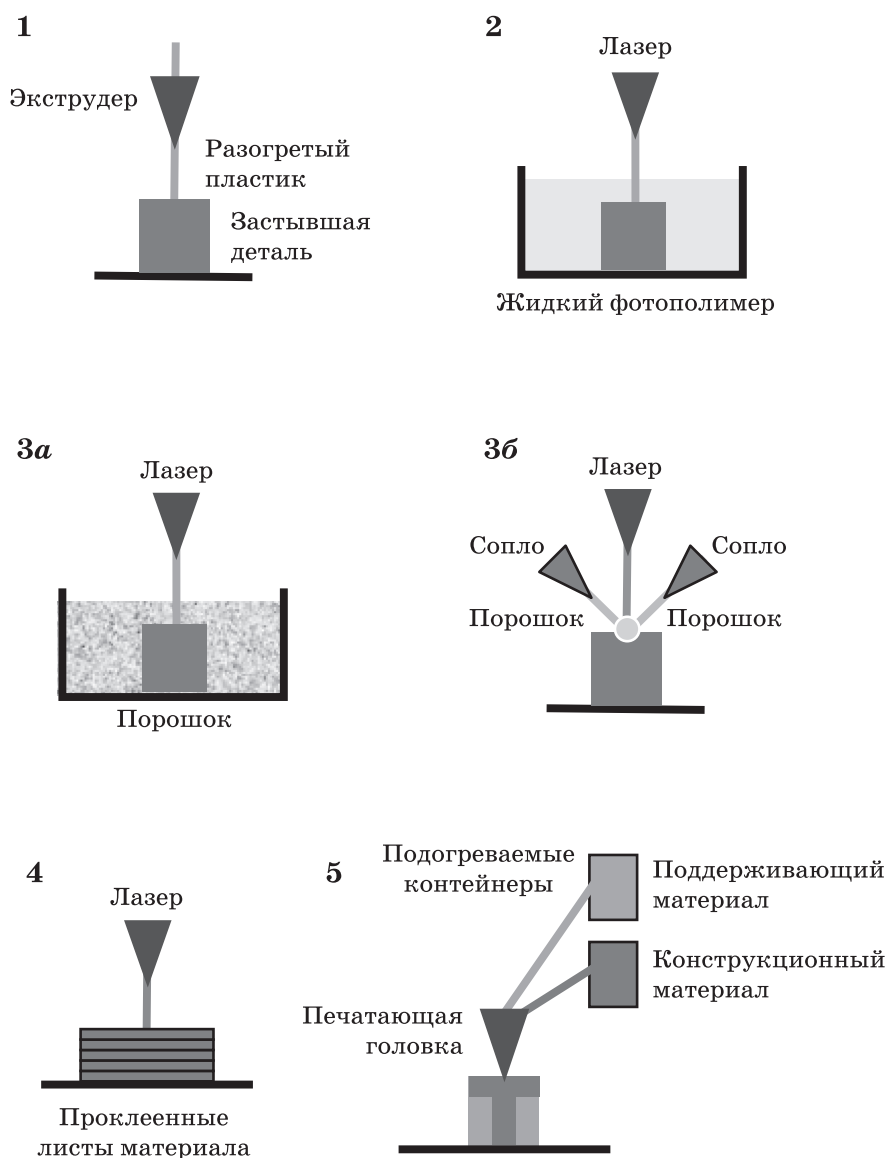


Рис. 1. Схемы технологий 3D-печати:

- 1 — экструзия;
- 2 — стереолитография;
- 3а — лазерное спекание тонкого слоя порошка;
- 3б — лазерное спекание с выдуванием порошка из сопла;
- 4 — ламинирование листовых материалов;
- 5 — струйное моделирование

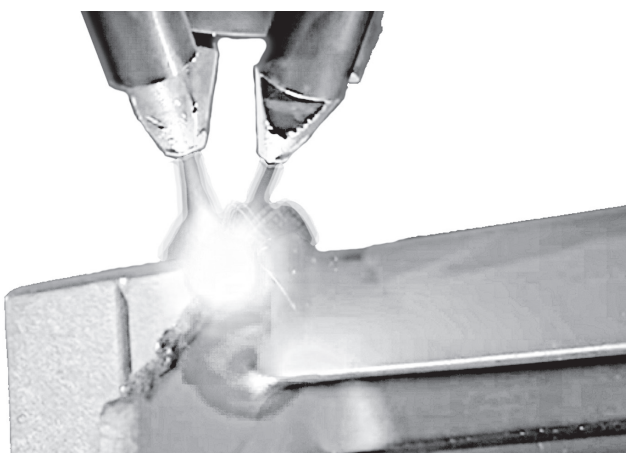


Рис. 2. Печать методом лазерного спекания (выдувание порошка через сопла)

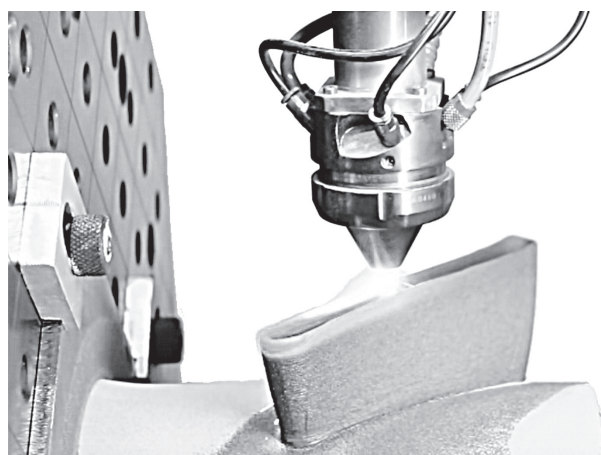


Рис. 3. Процесс выращивания оболочковой формы гребного винта

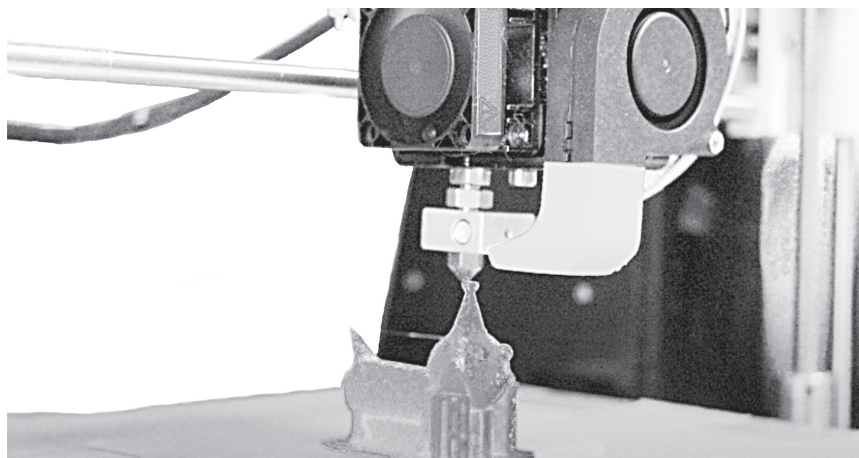


Рис. 4. Печать методом наплавления нити

Как вы можете заметить, в основе любой из аддитивных технологий создания трёхмерных моделей лежит принцип послойного формирования (выращивания) твёрдого объекта.



Задание 1

www

Подготовьте небольшой пятиминутный рассказ с мультимедиа-презентацией об одной из следующих технологий 3D-печати:

1. Fused Deposition Modeling — моделирование методом послойного наплавления.
2. SLA — стереолитография.
3. SLM — выборочная лазерная плавка.
4. SLS — выборочное лазерное спекание.
5. DMLS — прямое лазерное спекание.
6. EBM — электронно-лучевое плавление.
7. LOM — трёхмерное ламинирование.
8. SGC — масочная стереолитография.
9. DLP — цифровая светодиодная печать.
10. MJM — многоструйное моделирование.
11. ZDP — струйная 3D-печать.
12. CJP — цветная струйная печать.
13. SHS — выборочное тепловое спекание.
14. EBF3 — производственная электронно-лучевая плавка.
15. SDL — селективно осаждающее ламинирование.

§ 2

Применение аддитивных технологий

Аддитивные технологии (от англ. *add* — «прибавлять»), при использовании которых изделие создаётся слой за слоем, а за процессом следит компьютер, ориентируясь на точную трёхмерную модель, — один из главных мировых трендов. Ежегодный рост этого рынка варьируется в пределах 20–30%. Но важным, интересным фактом для всех является то, что рынок ещё только формируется. Трёхмерная печать включена в перечень основного инструментария четвёртой промышленной революции, переход к которой был объявлен на международном экономическом форуме в Давосе в 2016 году.



Традиционные технологии обработки металла основываются на вычитании материала, в то время как аддитивное производство построено на его добавлении. При этом получают детали сложной геометрической формы, сделанные в очень короткие сроки (на порядок быстрее) и с малыми издержками. Это коренным образом меняет всю экономику машиностроения.

Примеров успешного нахождения сфер применения аддитивных технологий достаточно. Для нужд обороны уже созданы (напечатаны) на 3D-принтере российские беспилотные летательные аппараты. Осуществляется ремонт рабочих лопаток двигателей методом лазерной порошковой наплавки. На выставке «Авиакосмические технологии, современные материалы и оборудование» (г. Казань) был представлен первый российский напечатанный на 3D-принтере прототип малогабаритного газотурбинного двигателя для беспилотного летательного аппарата.

Уже сейчас полностью охваченной сферой применения аддитивных технологий становится медицина: *эндопротезы* (внутреннее устройство, выполняющее функцию органа, т. е., например, эндопротез сустава — это, соответственно, внутреннее устройство, замещающее функцию сустава), *биопринтинг* (создание объёмных моделей на клеточной основе с использованием 3D-печати, при котором сохраняются функции и жизнеспособность клеток), *зубные мосты*, *ортопедия* и т. д. Количество 3D-принтеров, используемых в медицине, ежегодно удваивается.

В числе потенциальных отраслей — машиностроение: производство инструментов и их шаблонов, космическая и авиационная сферы (лёгкие детали со сложной геометрией, компоненты турбин).

Несколько лет назад начался прорыв в области строительства зданий и сооружений с использованием 3D-печати бетоном.

В октябре 2015 года на выставке «Станкостроение» (в «Крокус-Экспо») были представлены первые российские разработки и промышленные образцы строительных 3D-принтеров.

В мае 2016 года в г. Дубай (ОАЭ) состоялось открытие офисного здания Dubai Future Foundation — первого в мире здания, напечатанного на строительном 3D-принтере. В феврале 2017 года в России в подмосковном Ступино создали первый дом, полностью напечатанный на стройплощадке, а не собранный из деталей, произведённых в заводских условиях.

В этом же году одна из американских компаний не просто разработала принтер, способный построить здание любого размера и формы, но и задала важный ориентир в скорости строительства: сумела построить дом всего за одни сутки. При этом площадь дома составляла 38 квадратных метров (прихожая, коридор, гостиная, кухня, ванная комната), предполагаемый срок службы — 175 лет.

Технологии трёхмерной печати действительно меняют мир.

§ 3 Fused Filament Fabrication



Самой распространённой и доступной аддитивной технологией, которая широко используется при создании трёхмерных моделей, можно считать нанесение разогретого материала. Частным случаем такой технологии является FFF (Fused Filament Fabrication) — наплавление нитей какого-либо вещества. Данный способ даёт возможность создавать не только модели, но и конечные детали из различных *термопластиков*. Рассмотрим эту технологию подробнее.

Итак, FFF — это аббревиатура для обозначения процесса, при котором машина накладывает филамент.

Филамент (от англ. *filament* — «нить») — расходный материал, используемый для печати на 3D-принтере. Представляет собой нить из термопластика сечением 1,75 или 3 мм. *Термопластик* (термопласт) — это материал, который при нагревании до определённой температуры становится полужидким, а при охлаждении снова застывает. Такие переходы обратимы и могут повторяться многократно, что позволяет, в частности, производить переработку бытовых и производственных отходов из термопластов в новые изделия.

FFF-принтер (именно на таком вы будете печатать) — это машина, которая создаёт трёхмерные объекты, выдавливая тонкую струйку расплавленного термопластика и располагая его слой за слоем снизу вверх. Когда говорят, что в последнее время стали общедоступны 3D-принтеры, имеют в виду именно персональные FFF-принтеры. Практически все персональные 3D-принтеры используют один и тот же подход к процессу трёхмерной печати.

Итак, у нас есть нить термопластика (обычно в катушке). Печатающая головка 3D-принтера называется *экструдер* (от англ. *extrude* — «выдавливает») — рис. 5. Название отражает принцип действия: печатающая головка выдавливает термопластик через специальное сопло диаметром 0,2–0,4 мм (в зависимости от модели принтера).

Выходя из сопла экструдера, пластик сцепляется с предыдущим слоем пластика, который принтер выдавил ранее, и почти сразу же застывает (процессу охлаждения помогают дополнительный вентилятор и воздуховод). Таким образом объект создаётся прямо на наших глазах.

Модификации экструдера могут быть разными, однако принцип работы остаётся неизменным — рис. 6.

Экструдер необходимо очень точно позиционировать в пространстве, чтобы он смог послойно напечатать заданный объект. Производители используют практически один подход: обеспечивают экструдеру перемещение по двум осям, а рабочему столу (рабочей поверхности) — по одной оси, т. е. в результате получается перемещение по всем трём осям. Однако реализация этого подхода на практике может быть разной.

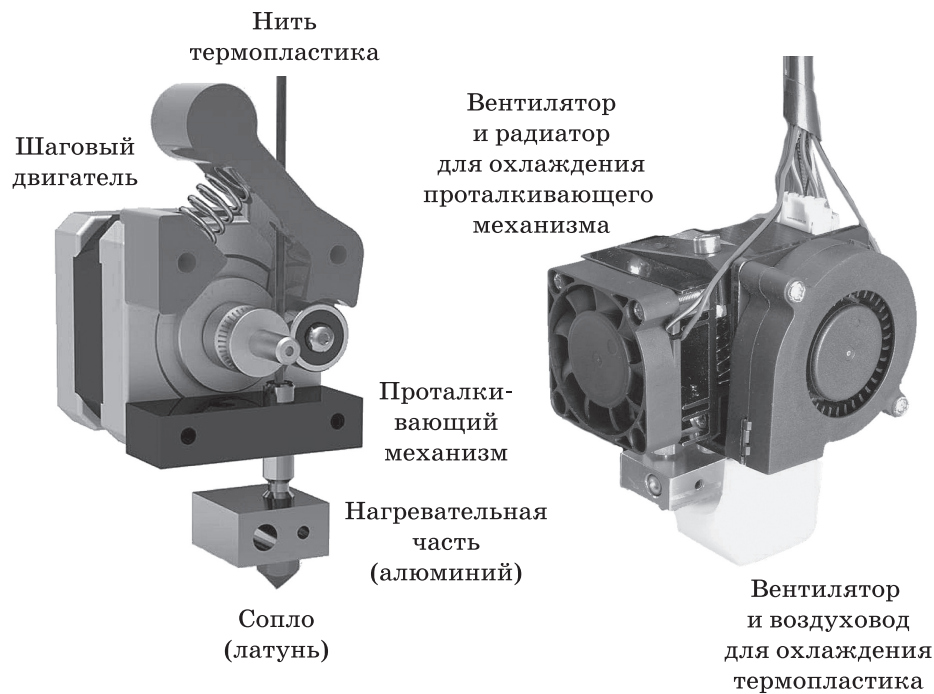


Рис. 5. Устройство экструдера 3D-принтера RepRap Prusa i3

- 1) Перемещать рабочий стол вперёд-назад, а сам экструдер вправо-влево и вверх-вниз.
- 2) Перемещать экструдер вперёд-назад, вправо-влево, а рабочий стол поднимать и опускать.

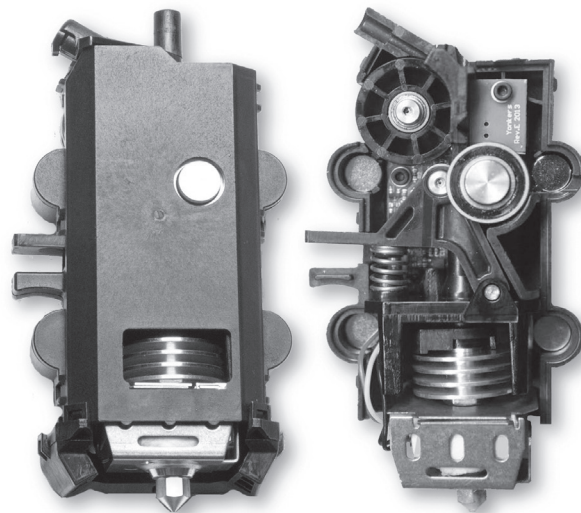


Рис. 6. Экструдер для принтера MakerBot Replicator Mini

Принтеры, представленные на рисунках 7 и 8, как раз используют именно такие способы позиционирования.

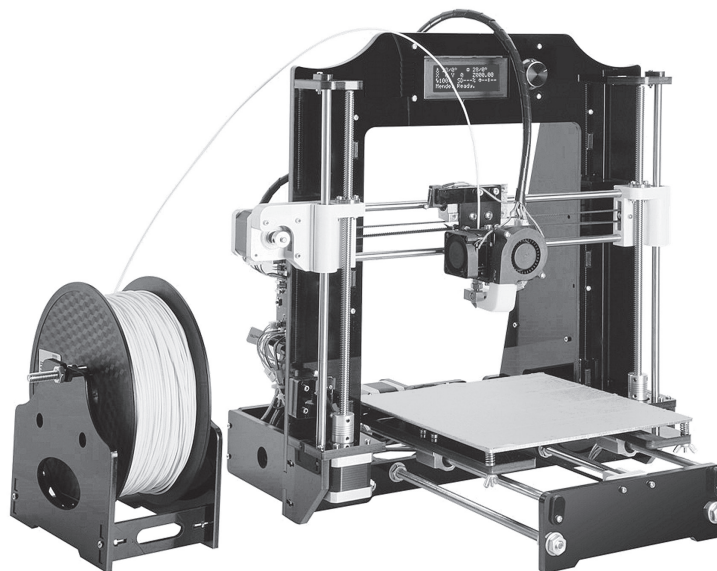


Рис. 7. Одна из модификаций 3D-принтера RepRap Prusa i3



Рис. 8. Принтер MakerBot Replicator Mini

Чтобы обеспечить точное позиционирование рабочего стола и экструдера, в конструкции 3D-принтеров применяют небольшие точные шаговые двигатели, которые могут обеспечивать поворот оси двигателя на 1° за один шаг. Также используют зубчатые ремни, ролики и особые винты для более точного перемещения по вертикали.



Задание 2

Изучите устройство имеющегося принтера (или принтеров). На его примере расскажите о принципе работы 3D-принтеров FFF-типа.

§ 4 Основные пользовательские характеристики

Рассмотрим основные характеристики персональных 3D-принтеров. Самая важная из них — *область печати* (рис. 9). Этот параметр задаёт максимальные размеры модели, которую может напечатать принтер. Например, область печати у RepRap Prusa i3 — $200 \times 200 \times 210$ мм, а у MakerBot Replicator Mini этот параметр — $100 \times 100 \times 125$ мм.

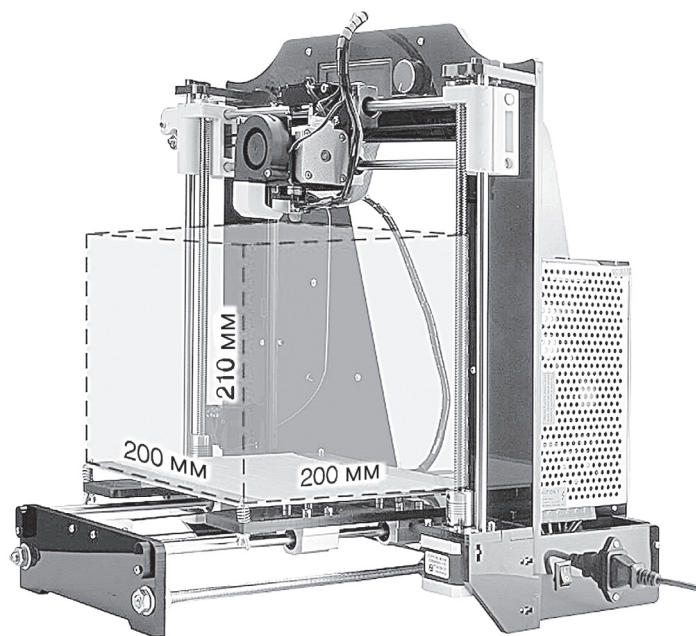


Рис. 9. Область печати принтера