|  |  |
| --- | --- |
| *voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-02 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | Е |  | Оружие и системы вооружения |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | Е2 |  | Технология производства артиллерийского вооружения |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Аддитивные технологии | | |

КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему

|  |
| --- |
| "Создание детали "Ухо" на 3D-принтере" |
|  |
|  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | |  | Е2М31 |
| Алексеев А.М. | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| **РУКОВОДИТЕЛЬ** | | | | | |
| Серебреницкий П.П. | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | | |  |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 201\_г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

Содержание

Введение Стр

1. Основные сведения об аддитивных технологиях........................................................... 3

### 1.1. Основные понятия и определения................................................................................. 5

### 1.2. Классификация аддитивных технологий .................................................................... 8

### 1.2.1. Классификация аддитивных технологий по типу процесса................................... 8

#### 1.2.2. Классификация по сложности процесса .................................................................. 9

#### 1.2.3. Классификация материалов для аддитивного производства ................................. 9

#### 1.2.4. Основные сферы применения аддитивных технологий ......................................... 9

2.Технология лазерного спекания SLА(Лазерная стереолитография)...................................... 11

3. 3D-принтер по металлу SLA UnionTech RSPro800....................................................... 14

Заключение.............................................................................................................................. 18

Список литературы................................................................................................................. 19

**Введение**  Аддитивные технологии (АТ), ее процессы изначально были названы быстрым прототипированием. Термин «быстрое прототипирование» (БП, RP —Rapid Prototyping) используется в различных отраслях промышленности для описания процесса быстрого изготовления модели или макета системы или ее части перед окончательным запуском в производство или коммерциализацией [3, 4]. Иными словами, акцент делается на быстром создании прототипа или базовой модели, на основе которой можно было бы в дальнейшем разрабатывать более точные модели и в итоге получить конечный продукт. Консультанты по вопросам управления и инженеры-программисты используют термин «быстрое прототипирование» для описания своих процессов развития бизнеса и программных подходов в виде кусочно-слоеных моделей-прототипов, что позволяет клиентам и другим заинтересованным сторонам проверить реализацию идеи и обеспечить обратную связь в процессе разработки. В контексте разработки продукции термин «быстрое прототипирование» широко используется для описании технологий, которые создают физические прототипы непосредственно по цифровым данным, но в настоящее время применяющимся и для многих других целей. Расширение задач быстрого прототипирования привело к созданию процессов аддитивное производство (АМ – Additive Manufacturing) и аддетивные технологии (AF – Additive Fabrication) и хотя в основе этих технологий и лежит процесс быстрого прототипирования. Таким образом, назначение аппаратов аддитивного производства (АП) – это материализовать согласно определенной технологической схемы (аддетивные технологии – АТ) геометрию заданной 3D модели (функция прототипирования) из материалов, обеспечивающих возможность использования полученного прототипа по его прямому назначению благодаря характеристикам материала (производственная функция). То есть сочетании с другими методами в технологических цепочках АП (АТ) могут быть использованы для значительного сокращения времени разработки продукта и затрат для получения на выходе сразу конечного продукта.

Под аддитивным производством понимают процесс выращивания изделий на 3D-принтере по CAD-модели [2, 3 и др.].. Этот процесс считается инновационным и противопоставляется традиционным способам промышленного производства (см. рис. 1). Естественно, схемы и методы выращивания моделей могут быть различными, определяются используемым оборудованием, обеспечивающим определенную последовательность в получении изделия – модели, то есть определенными аддитивными технологиями [5, 6].

**Примечание:** Аддитивность ([лат.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *additivus* — прибавляемый) — свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям, в некотором классе возможных разбиений объекта на части. Например, аддитивность [объёма](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%8A%D1%91%D0%BC) означает, что объём целого тела равен сумме объёмов составляющих его частей. Аддитивный (от [лат.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) *additio* — прибавляю) — относящийся к [сложению](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5).

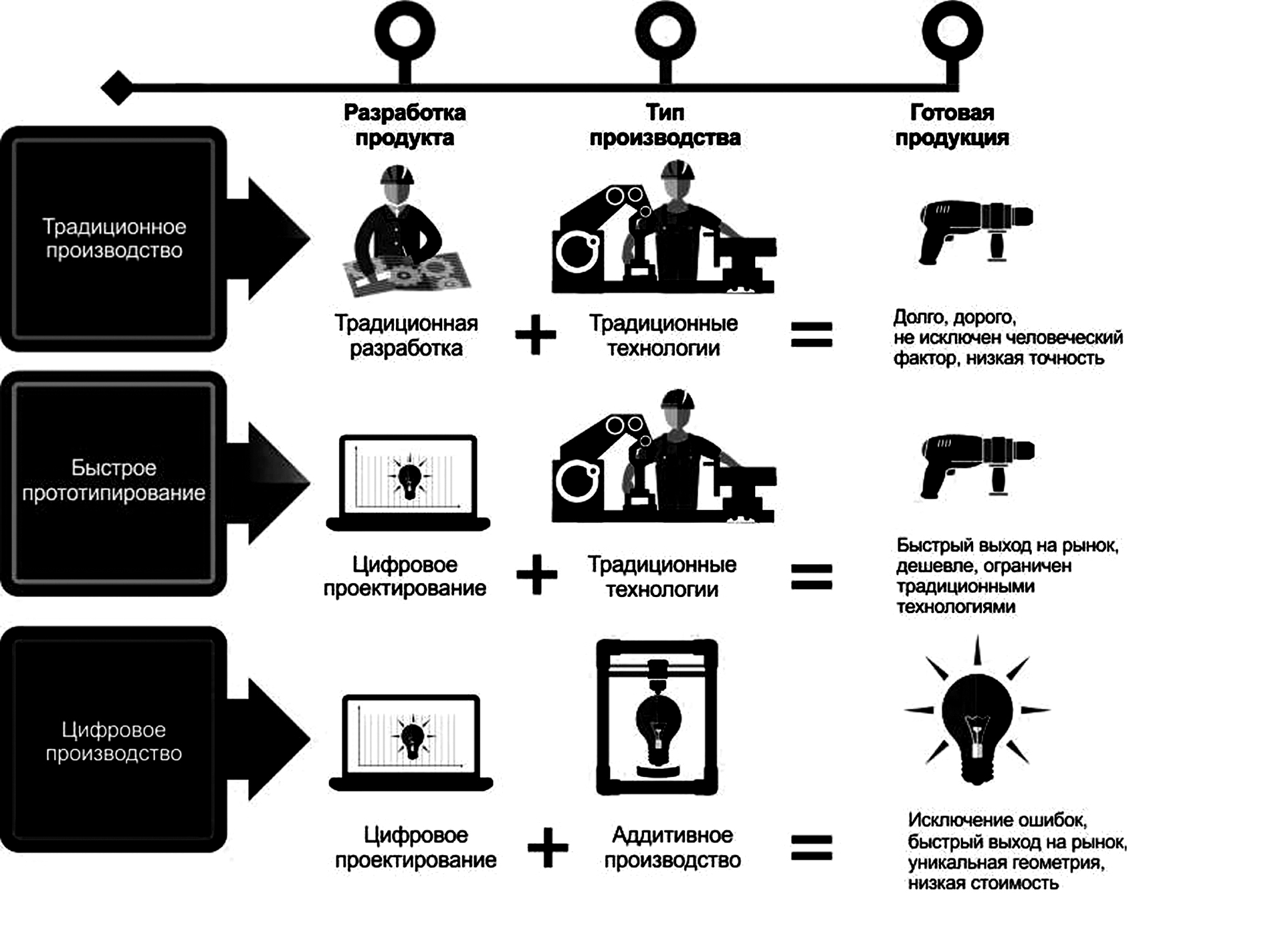


Рис. 1 Схема разных видов производств

## **1. Основные сведения об аддитивных технологиях**

### *1.1. Основные понятия и определения*

### Основной принцип технологий аддитивного производство (АП) заключается в том, что модель первоначально генерируется с использованием системы трехмерного автоматизированного проектирования 3D САПР (3D CAD — Computer-Aided Design), а изделие изготавливается непосредственно без необходимости планирования процесса. АП значительно упрощает процесс производства сложных трехмерных объектов прямо по данным САПР. Другие (традиционные) производственные процессы требуют тщательного и детального анализа геометрической формы и размеров детали, чтобы определить порядок обработки поверхностей, выбор инструментов и процессов технологической цепочки, потребность в дополнительной оснастке для финишной обработки изделия. АП, в отличие от них, нужны только некоторые основные данные о размерах, некоторое знание о принципах работы машин АП и свойствах материалов, выбранных для данного изделия.

### Ключом к пониманию АП является принцип изготовления изделия —послойное добавление материала, причем каждый слой представляет собой тонкий поперечный срез изделия, информация обо всех параметрах которого содержится в исходных данных САПР. Очевидно, что на физическом уровне каждый слой должен иметь конечную толщину, поэтому получающееся в итоге изделие будет приближением к исходной виртуальной модели. Чем тоньше каждый слой, тем ближе конечная деталь к оригиналу. Все коммерциализованные на сегодняшний день машины АП используют послойный подход и отличаются друг от друга только используемыми материалами, методами создания слоев и соединения слоев друг с другом (то есть аддитивными технологиями). Этими различиями определяются точность соответствия конечного изделия заданной модели и его физико-механические свойства. Они также определяют время изготовления детали, необходимость финишной обработки, размер машины АП, общую стоимость машины и всего процесса.

### В сочетании с другими методами в технологических цепочках АП могут быть использованы для значительного сокращения времени разработки продукта и затрат. Совсем недавно некоторые из этих технологий были усовершенствованы до такого уровня, что на выходе сразу можно получить конечный продукт. Это объясняет, почему терминология существенно изменилась от «быстрого прототипирования» до «аддитивного производства». Кроме того, использование мощных лазеров привело к тому, что изделия можно сразу изготавливать из разных металлов, что еще больше расширяет область применения АП. Учитывая важность аддитивного производства (аддитивных технологий) ряд положений уже стандартизованы.

В соответствии с ГОСТ Р 57558–2017/ISO/ASTM 52900:2015 под аддитивным технологическим процессом (additive manufacturing) понимается процесс изготовления деталей, который основан на создании физического объекта по электронной геометрической модели путем добавления материала, как правило, слой за слоем, в отличие от вычитающего (субтрактивного) производства (механической обработки) и традиционного формообразующего производства (литья, штамповки) [1].

Устоявшейся классификации аддитивных технологий пока не принято [2]. Различные авторы подразделяют их:

- по применяемым строительным (модельным) материалам (жидкие, сыпучие, полимерные, металлопорошковые и т.д.);

- по наличию или отсутствию лазера;

- по методам подвода энергии для фиксации слоя построения (с помощью теплового воздействия, облучения ультрафиолетовым или видимым светом, посредством связующего состава и т.д.);

- по методам формирования слоя.

- и др.

По методам формирования слоя аддитивные технологии можно различить два вида: Bed Deposition и Direct Deposition.

При использовании технологии Bed Deposition (рис. 2) сначала формируют слой, например, насыпают на рабочую платформу дозу порошкового материала и разравнивают порошок с помощью ролика или «ножа», формируя ровный слой материала определенной толщины. Затем выборочно (селективно) обрабатывают порошок в сформированном слое лазером или иным способом, скрепляя частички порошка (сплавляя или склеивая) в соответствии с текущим сечением исходной CAD-модели.

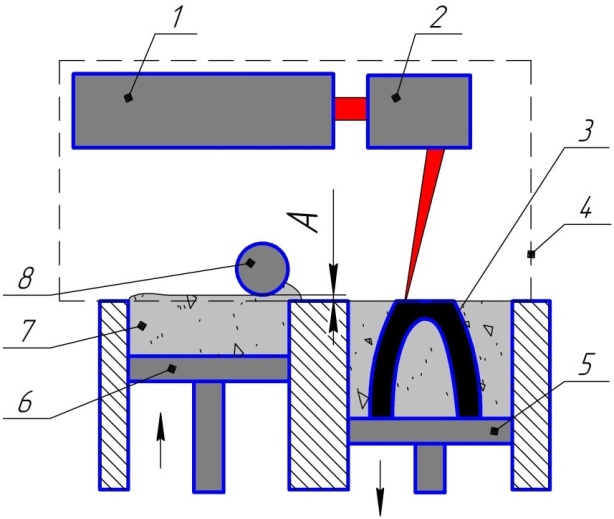


Рис. 2. Схема работы установки аддитивного производства по методу Bed Deposition:

*1* – источник энергии; *2* – система зеркал; *3* – изготавливаемая деталь; *4* – рабочая камера; *5* – платформа построения; *6* – подвижная платформа (подачи материала); *7* – расходный материал; *8* – ролик; *А* – шаг построения

После завершения построения сечения платформа построения перемещается в вертикальном направлении на величину шага построения, на ней формируют новый слой – и процесс повторяется до полного изготовления детали. Плоскость построения неизменна, а часть порошка остается нетронутой.

Этой технологии достаточно точно соответствует термин «селективный синтез» или «селективное лазерное спекание» (SLS – Selective Laser Sintering), если «отверждающим» инструментом является лазер [2], который здесь, в отличие от лазерной стереолитографии (SLA-технологии), является источником тепла, а не ультрафиолетового излучения.

Метод Direct Deposition (рис. 3) заключается в направлении энергии и осаждении материала в конкретную точку построения.

В отличие от метода Bed Deposition, здесь не формируется слой строительного материала на поверхности платформы, а материал подается в зону построения, куда в данный момент времени подводится энергия и где идет процесс формирования детали.

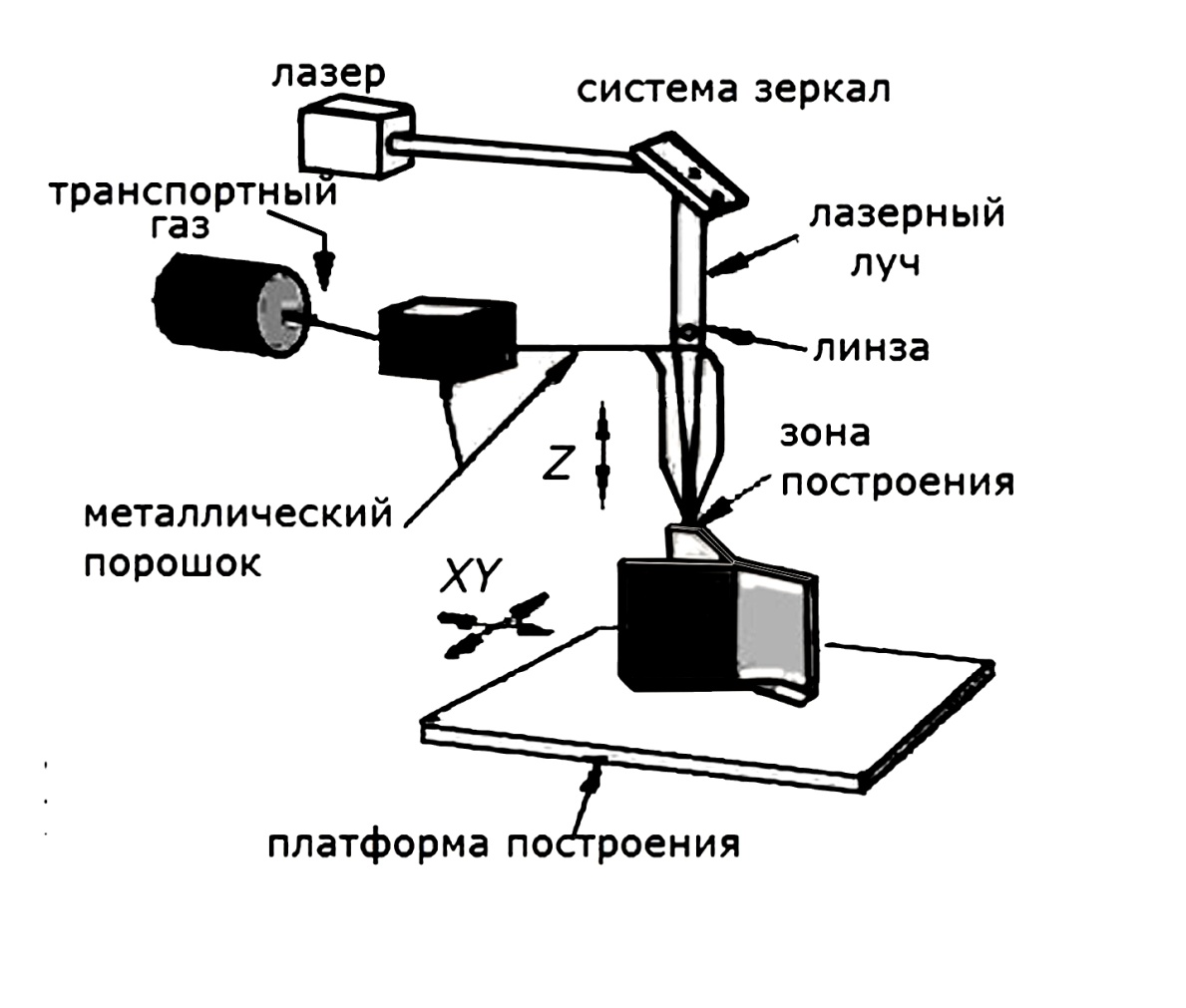


Рис. 3. Схема работы установки аддитивного производства по методу Direct Deposition

Укрупненно аддитивные технологии могут быть классифицированы на группы по типу процесса. При этом в каждой группе размещены технологии, отличающиеся по тем или иным признакам.

### **1.2. Классификация аддитивных технологий**

### *1.2.1. Классификация аддитивных технологий по типу процесса:*

* струйное нанесение связующего (binder jetting);
* прямой подвод энергии и материала (directed energy deposition);
* экструзия материала (material extrusion);
* струйное нанесение материала (material jetting);
* синтез на подложке (powder bed fusion);
* листовая ламинация (sheet lamination);
* фотополимеризация в ванне (vat photopolymerization).

#### 1.2.2. Классификация по сложности процесса

*Многошаговый процесс (многоэтапный процесс) (multi-step process)* — тип процесса аддитивного производства, в котором детали изготавливают за две или более операции, при этом на 1-й стадии, как правило, обеспечивается получение заданной геометрической формы, а на последующих за счет консолидации детали формируются основные требуемые свойства используемого материала (металл, керамика, полимер, композит и др.).

Примечание: Важно отметить, что удаление структур поддержек и операции очистки могут быть необходимы, однако в данном контексте не рассматриваются как отдельный процесс. [1]

*Одношаговый процесс (одноэтапный процесс) (single-step process) —* тип процесса аддитивного производства, в котором детали изготавливают за одну операцию, при этом основная геометрическая форма и свойства материала достигаются одновременно [1].

#### 1.2.3. Классификация материалов для аддитивного производства

Материалы, применяемые в аддитивном производстве подразделяются на следующие виды:

* жидкие — фотополимеры;
* сыпучие — полимеры (полиамид, полистирол), пески (кварцевые, циркониевые), металлические порошки (алюминиевые, медные, титан-алюминиевые, титановые, серебряные, золотые, кобальт-хромовые, порошки на основе жаропрочных сплавов Инконель 625, 718 и инструментальных сталей);
* нитевидные и прутковые — полимеры (ABS-пластик), металлы (пруток или проволока);
* листовые и пленочные — полимеры (ПВХ-пленки), металлы (фольга, листовой прокат).

*1.2.4. Основные сферы применения аддитивных технологий*

Аддитивные технологии в первую очередь применяются для изготовления деталей со сложной геометрией, которые невозможно изготовить по традиционным технологиям (топливные форсунки, теплообменники, трубопроводы и воздуховоды, лопатки газотурбинных двигателей и турбонасосов и др.). Кроме того, аддитивные технологии позволяют создавать интеллектуальные конструкции с применением бионического дизайна, в том числе со встроенными системами мониторинга.

Степень реализации аддитивных технологий в производственном процессе можно разделить на три уровня.

***1 уровень*** — вспомогательное производство. Изготовление оснастки, выжигаемых моделей для литья деталей и др.

Напечатанные детали могут выступать в качестве разовых моделей для точного литья, если они изготовлены из материалов, выгорающих под действием высоких температур. Так как такие объекты не расширяются и не трескаются при обжиге, возможно использование традиционных методов литья, при которых модели выгорают при заполнении формы расплавленным металлом.

Прочность и жесткость напечатанных деталей делает их удобными для вакуумного литья тонких пластмассовых компаундов при малых и средних объёмах производства. Прочность моделей, полученных по технологиям LOM, SLA, FDM, SLS позволяет им выдерживать высокие напряжения.

Напечатанные детали, имеющие достаточную прочность, используется для быстрого изготовления пресс-форм для литья по выплавляемым моделям из парафиново-стеариновых составов при малых и средних объемах производства. Для улучшения качества отливок и увеличения ресурса пресс-форм, на рабочие поверхности можно нанести металлическое покрытие.

Геометрическая стабильность LOM, SLA и других моделей, и свойственная им точность, делают возможным их использование для литья гипсовых форм, пресс-форм из силиконового каучука для получения полиуретановых или эпоксидных отливок.

***2 уровень*** — изготовление прототипов деталей и элементов конструкций, не обеспечивающих выполнение требований конструкторской документации, для проведения макетирования и, в некоторых случаях, испытаний на работоспособность.

Технологии быстрого получения прототипов изделий предоставляют конструктору свободу творчества при создании дешевых трехмерных моделей для оценки эстетических свойств проектируемых изделий.

Прототипы, изготовленные по технологиям, обеспечивающим достаточную прочность моделей (LOM, FDM, SLA), применимы в прикладных задачах, требующих оценки формы деталей и проверки технологичности сборки изделий.

***3 уровень*** — изготовление опытных и серийных деталей. Изготовление деталей, удовлетворяющих требованиям нормативной и конструкторской документации для применения в действующих образцах техники.

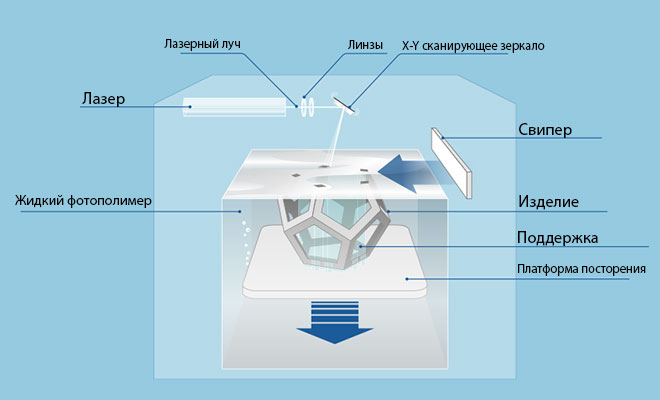
# 2. ***Технология*** ***лазерной стереолитографии*** SLА

## Лазерная стереолитография (SLA) — технология 3D-печати, основанная на послойном отверждении жидкого материала под действием луча лазера. Используется в промышленных 3D-принтерах компаний 3D Systems и Uniontech.

## Фотополимер — это вещество, изменяющее свои свойства под воздействием ультрафиолетового света. В обычном состоянии фотополимер податливый, а при попадании под УФ-излучение электромагнитного диапазона приобретает прочность. Продолжительность облучения и длина волны рассчитывается в зависимости от конкретного материала, размеров объекта и условий окружающей среды.

***Принцип работы:***

В емкость с жидким фотополимером помещается сетчатая платформа, на которой будет происходить выращивание прототипа. Изначально платформа устанавливается на такой глубине, чтобы ее покрывал тончайший слой вещества, толщиной всего 0.05-0.13 мм — по сути это и есть толщина слоя в лазерной стереолитографии. Далее включается лазер, воздействующий на те участки полимера, которые соответствуют стенкам заданного объекта, вызывая их затвердевание. После этого вся платформа погружается ровно на один слой, то есть на глубину 0.05-0.13 мм.

Рис.4. Схема технологии лазерной стереолитографии (SLA)

## По завершению построения объект погружают в ванну со специальным составом для удаления лишних элементов и полной очистки. И, наконец, финальное облучение светом для окончательного отвердевания. Как и многие другие методы 3D-прототипирования, SLA (лазерная стереолитография) требует возведения поддерживающих структур, которые вручную удаляются по завершении строительства.

***Преимущества и особенности технологии:***

* Изготовление моделей любой сложности (тонкостенные детали, мелкие детали);
* Легкая обработка изготовленного прототипа;
* Высокая точность построения и высокое качество поверхности;
* Свойства применяемых полимеров позволяют использовать выращенный прототип в качестве готового изделия;
* Большие, чем у других 3D-принтеров, размеры рабочей камеры;
* Низкий процент расходного материала на поддержку;
* Низкий уровень шума производства деталей.

***Области применения:***

* **Научные исследования.** Поскольку получить пластиковую модель практически любой сложности для любых целей можно в считанные часы, SLA-технология становится незаменимым помощником в различного рода научно-исследовательских изысканиях. Модели обладают достаточной прочностью, а также прозрачностью, поэтому имеется возможность визуализации газо- и гидродинамических потоков внутри моделей.
* **Медицина.** В челюстно-лицевой хирургии и ортодонтии с появлением SLA сформировалось новое направление. Пациенту делают магниторезонансную томографию проблемного участка, из нее формируется компьютерная 3D-модель, а по ней выращивается реальная 3Д-модель костной ткани. Таким образом, доктор уже на следующий день имеет в своем распоряжении модель костей или зубов реального пациента.
* **Искусство.** Скульпторы, модельеры и ювелиры благодаря технологии лазерной стереолитографии выходят на новый уровень производства. Процесс 3D-печати прототипов значительно уменьшает время на тестирование экспериментальных образцов, что благоприятно влияет на скорость и качество создания будущего ювелирного изделия или скульптуры. SLA-технология очень хорошо подходит для этого: модели прочные, легко красятся.
* **Литье по выжигаемым моделям.** При возникновении потребности в получении металлической детали, применяется следующая технология: SLA-модель заливается формовочной смесью, затем прокаливается при высоких температурах (до 1000 °С). При этом пластик полностью выгорает, а на его место в образовавшуюся форму под вакуумом заливается металл. После его застывания форма разрушается и деталь извлекается. [5]

***Образцы моделей, напечатанных по технологии SLA***

[](http://3d.globatek.ru/3d-printers/sla7.jpg)[](http://3d.globatek.ru/3d-printers/sla10.jpg)[](http://3d.globatek.ru/3d-printers/sla8.jpg)[](http://3d.globatek.ru/3d-printers/sla12.jpg)

***Материалы:***

В качестве исходных материалов применяются следующие виды фотополимеров: [6]

* Somos Next
* Somos GP Plus
* Somos NanoTool
* Somos 9120
* Somos Next LV Gray
* Somos ProtoCast
* Somos ProtoGen
* Somos ProtoTherm
* Somos WaterClear Ultra
* Somos WaterSged​

**3. 3D-принтер по металлу SLA UnionTech RSPro800**

****

Рис. 5. 3D-принтер по металлу SLA UnionTech RSPro800

***Преимущества:***

* Типовая скорость сканирования 15м/с.
* Все основные ключевые компоненты, поставляются мировыми брендами: Panasonic (Япония), Spectra-Physics (Германия), Scanlab (Германия).
* Автоматизированный контроль уровня фотополимерной смолы и режимов построения.
* Мраморная платформа позволяет машине печатать с толщиной слоя 0,07мм чтобы получать максимально качественные поверхности
* Стратегия замкнутой системы управления- контроля движения платформы построения. уровня смолы, мощности лазера, температуры и вакуумной системы контроля поверхности смолы, позволяют получать превосходную точность и стабильность всей системы.
* Сертификат CE гарантирует стабильность и безопасность машины.
* Удобная конструкция установки и демонтажа платформы построения
* Система телеуправления позволяет реализовать дистанционное управление и контроль работы.
* Новый эргономичный дизайн облегчает работу оператора.​

***Программное обеспечение:***

## 3D-принтер UnionTech Pilot HD поставляется вместе с лицензионным программным обеспечением Magisc of Materialise, которое позволяет подготавливать данные и редактировать STL-файлы для 3D-печати и аддитивных технологий в целом. Для удобной и эффективной работы ПО получило настраиваемый и интуитивно понятный интерфейс. Программа поможет разобраться в особенностях 3D-печати и сможет давать пошаговые инструкции пользователю. Оборудование совместимо с операционными системами семейства Windows: XP/7. [6]

Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Сертификаты | *CE* |
| Размеры, мм | *1819 х 1616 х 2287* |
| Вес, кг | *2700* |
| Программное обеспечение | *Magics of Materialise* |
| Страна производитель | *Китай* |
| Лазер | *Размер луча: 120-200 мкм* |
| Максимальный вес готового изделия | *100 кг* |
| Поддерживаемые платформы | *Windows XP / 7* |
| Поддерживаемые форматы файлов | *Stl, Slc* |
| Рабочая камера | *800 x 800 x 550 мм* |
| Специализация | *Изготовление высококачественных точных изделий из 10 различных материалов.* |
| Тип лазера | *Твердотельный, 354,7 нм* |
| Точность построения | *150 мкм (или 0,15% от размера детали)* |
| Точность уровня жидкости | *30 мкм* |
| Требования по электропитанию | *200-240 VAC 50/60Hz, single-phase, 30amps* |
| Поддерживаемые материалы | *Somos NextSomos GP PlusSomos NanoToolSomos 9120Somos Next LV GraySomos ProtoCastSomos ProtoGenSomos ProtoThermSomos WaterClear UltraSomos WaterSged* |
| Интерфейсы | *Ethernet, IEEE 802.3 using TCP/IP and NFS* |
| Скорость сканирования | *До 15 м/сек* |

Таблица1. Характеристики 3D-принтер по металлу SLA UnionTech RSPro800

***Примеры изделий:***

[](http://3d.globatek.ru/production/prox800_big_2.jpg)[](http://3d.globatek.ru/production/prox800_big_3.jpg)[](http://3d.globatek.ru/production/prox800_big_4.jpg)  
[](http://3d.globatek.ru/production/prox800_big_5.jpg)[](http://3d.globatek.ru/production/prox800_big_6.jpg)[](http://3d.globatek.ru/production/prox800_big_7.jpg)

Заключение

Под аддитивным производством понимают процесс выращивания изделий на 3D-принтере по CAD-модели [2, 3и др.].. Этот процесс считается инновационным и противопоставляется традиционным способам промышленного производства (см. рис. 1). Естественно, схемы и методы выращивания моделей могут быть различными, определяются используемым оборудованием, обеспечивающим определенную последовательность в получении изделия – модели, то есть определенными аддитивными технологиями [5, 6].

Список литературы:

1. ГОСТ Р 57558–2017/ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения

2.Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении /М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.( https://www.twirpx.com ›)

3. [Ян Гибсон](https://www.ozon.ru/person/70123719/), [Брент Стакер](https://www.ozon.ru/person/70123721/), [Давид Розен](https://www.ozon.ru/person/70207325/)**,** Технологии аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство**, -** Издательство Техносфера, 2016, 656 с.

4.  Серебреницкий П. П. Быстрое прототипирование, журнал РИТМ, 2008, №7, №8

5.Globatek.3D 3D оборудование для профессионалов, (http://3d.globatek.ru/3d\_printing\_technologies/sla/)

6. Ваш эксперт на рынке 3D –техники (http://top3dshop.ru/kupit-3d-printer/uniontech-rspro-800.html)