

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика  
С.П. Королева (национальный исследовательский университет)

**«Аддитивные технологии (3D-печать) -цифровое производство»**

*Методические указания*

г. Самара, 2016

Автор-составитель: **Михеев Владимир Александрович**

**Аддитивные технологии (3D-печать) -цифровое производство** [Электронный ресурс]:  
электрон. метод. указания / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П.  
Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. В. А. Михеев. – Электрон. текстовые и граф. дан.  
(0,42 Мбайт). - Самара, 2016. - 13 с.

Методические указания предназначены для студентов инженерно-технологического факультета, обучающихся по дисциплине «Автоматизация машиностроительных производств» по направлению подготовки бакалавриата 15.03.01 "Машиностроение".

Подготовлено на кафедре обработки металлов давлением.

## ВВЕДЕНИЕ

Традиционный способ выпуска изделий включает субтрактивные процессы удаления лишнего материала с заготовки механическим путем, изготовление большого количества деталей с последующей их сборкой или сваркой в готовое изделие. Теперь же функциональная деталь может быть разработана на компьютере и распечатана на принтере, создающем твердотельные объекты с помощью послойного наращивания материала. Цифровой дизайн может быть изменен: пара щелчков мышки в компьютерной программе — и вот уже готово изделие с улучшенной конструкцией.

После запуска процесса печати принтеры работают автономно и не требуют вмешательства оператора до завершения всей процедуры. Установки аддитивного производства позволяют изготавливать прототипы и детали сложной геометрии, невозможной при использовании традиционных методов, легковесные конструкции и функционально интегрированные изделия. Речь идет о 3D-печати и ее возможностях.

Как известно, существует несколько методов 3D печати, однако все они являются производными аддитивной технологии изготовления изделий. Вне зависимости от того, какой 3D принтер вы используете, построение заготовки осуществляется путем послойного добавления сырья. Несмотря на то, что термин Additive Manufacturing используется отечественными инженерами очень редко, технологии послойного синтеза фактически оккупировали современную промышленность.

### 3D-печать: основные принципы и понятия

Что же такое 3D-печать? По сути, это создание объекта методом его послойного выращивания на основе трехмерной CAD-модели (модели, разработанной в системе автоматизированного проектирования). Зачастую также используется термин «аддитивное производство», поскольку при изготовлении детали применяется аддитивный метод — добавление материала слой за слоем. В этом заключается отличие 3D-печати от традиционного метода производства изделий, который является субтрактивным и при котором лишний материал удаляется с заготовки с помощью механической обработки.



Рисунок 1 – Схема последовательности 3D-печать

**3D-печать** или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели. Аддитивные технологии появились как способ автоматизации задач по формированию прототипов и изначально были известны под термином «быстрое прототипирование». На данный момент существенный спектр задач, для которых используются технологии, до сих пор находится в области быстрого выполнения прототипов изделий и деталей. Поскольку процесс создания деталей основан на цифровых компьютерных моделях, то для описания технологий 3D-печати изделий существует еще один термин — «цифровое производство».

Любой 3D-принтер выращивает изделие послойно, а разбивка по слоям и геометрия слоев описывается в STL-файле. Для получения послойного STL-файла обычно применяется конвертор CAD-формата, встроенный в систему автоматизированного проектирования, которую используют инженерно-технические работники предприятия.

*STL — формат файла, предназначенный для хранения трехмерных моделей объектов для использования в технологиях 3D-печати. Информация об объекте хранится как список нормалей и треугольных граней, которые описывают его поверхность.*

На данный момент существует множество технологий 3D-печати, установок аддитивного производства и типов используемых материалов. Так, наибольшее распространение в 3D-принтерах получили титановые, алюминиевые и никелевые сплавы, конструкционная и нержавеющая сталь, сплав кобальт-хром, жаропрочные сплавы, полиамидные пластики широкого спектра свойств, высокотемпературные пластики, жаропрочная керамика, фотополимерные пластики.

Но, несмотря на широкий спектр названий, суть процесса не меняется — деталь изготавливается слой за слоем по трехмерной компьютерной модели с минимальными трудозатратами на подготовку производства и постпроцессинг. Несомненно, в зависимости от используемых материалов и сложности изготавливаемых деталей для организации производственного процесса 3D-печати требуется определенная инженеринговая подготовка — моделирование элементов поддержки (вспомогательных структур, необходимых для печати навесных элементов детали аналогично строительным подмосткам, используемым при строительстве мостов над водным пространством), выбор оптимальной ориентации модели на рабочей платформе, оптимизация топологии изделий для снижения веса и расхода материала.

В случае с металлическими деталями — моделирование вспомогательных элементов конструкции для теплоотвода в процессе печати. В рамках постобработки напечатанных деталей следует производить снятие деталей с рабочей платформы, удаление поддержек и вспомогательных элементов конструкции, а при необходимости и полировку поверхности.

При работе с металлическими изделиями нужны повышенные механические свойства: деталь подвергают температурной обработке для закалки и отжига дефектов. Основные задачи, решаемые с помощью технологий 3D-печати, можно условно разделить на три группы:

- быстрое создание прототипов, ускоряющее процесс разработки изделий;

- создание конечных функциональных изделий сложной геометрии, легковесных конструкций, функционально интегрированных деталей;
- создание оснастки для литейных процессов — пресс-форм для литья пластиков, мастер-моделей для литья металлов по выплавляемым и выжигаемым моделям, форм для литья металлов в песчано-глинистых формах (ПГФ).

### Основные установки 3D-печати

История разработки технологий 3D-печати начинается в 1986 году, когда был выдан первый патент на установку стереолитографии (SLA). Этот патент принадлежал Чаку Халлу, американскому инженеру, который в 1983 году разработал первую SLA-установку. После получения патента Халл создал компанию 3D Systems Corporation, которая и сейчас является одной из самых крупных и преуспевающих компаний — производителей оборудования 3D-печати. Первая коммерческая система быстрого прототипирования SLA-1 была выпущена компанией 3D Systems в 1987 году, первая продажа (после многочисленных тестов и испытаний) состоялась в 1988-м.

Наиболее точной аддитивной технологией считается стереолитография – методом поэтапного послойного отверждения жидкого фотополимера лазером. SLA принтеры используются преимущественно для изготовления прототипов, макетов и дизайнерских компонентов повышенной точности с высоким уровнем детализации.

Помимо стереолитографии в тот же период начали развиваться и другие технологии 3D-печати. В 1987 году Карл Декард, сотрудник Техасского университета, подал заявку на патент, описывающий процесс быстрого прототипирования изделий с помощью технологии селективного лазерного спекания (SLS). Технология лазерного спекания была лицензирована компанией DTM Inc., приобретенной впоследствии компанией 3D Systems.



Рисунок 2 – Установка селективного лазерного спекания (SLS).

В 1989 Скотт Крамп, один из основателей компании Stratasys Inc., заявил о разработке технологии послойного наплавления (FDM), которая до сих пор используется компанией Stratasys Inc. и применяется на различных машинах начального уровня других производителей.

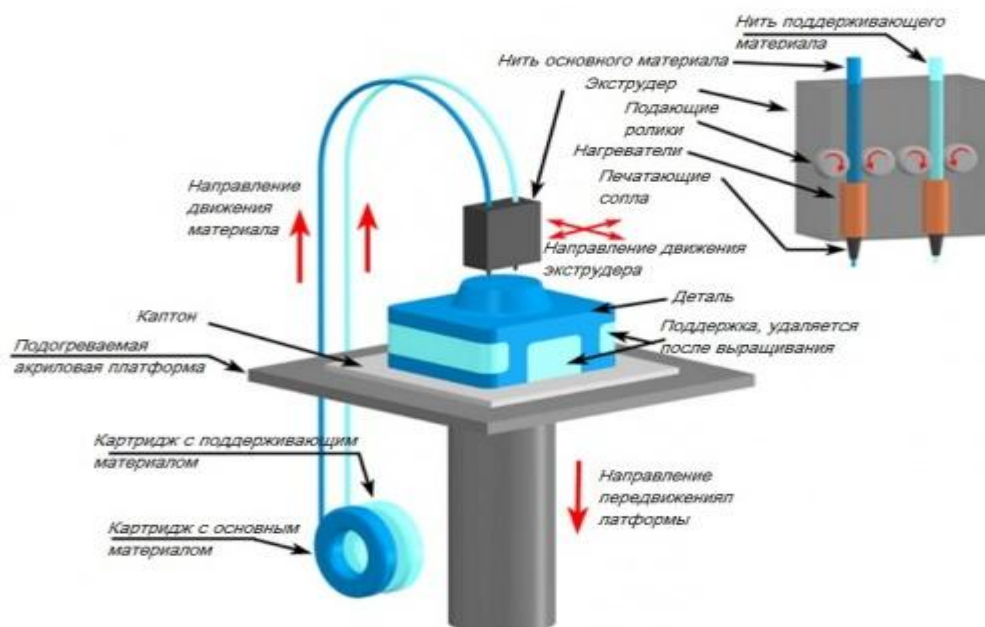


Рисунок 3 – Установка послойного наплавления (FDM)

Первым европейским производителем оборудования стала компания EOS GmbH (Германия), которая после разработок технологий стереолитографии сконцентрировала свои усилия на развитии технологий лазерного спекания. Первая установка стереолитографии STEREOS 400 была поставлена в 1990 году в отдел разработок концерна BMW, а в 1994-м была выпущена первая установка лазерного спекания пластиковых порошков (SLS) EOSINT P 350, а также разработана машина EOSINT M160 — прототип первой установки для изготовления металлических деталей методом прямого лазерного спекания (DMLS). С середины 2000-х начала проявляться диверсификация в развитии технологий 3D-печати — разработки стали развиваться в двух различных областях.

Во-первых, как существующие, так и новые компании — производители оборудования сфокусировали свои усилия на создании настольных машин, обладающих доступной стоимостью и простотой применения. Данные 3D-принтеры используют простейшие технологии (FDM, Digital Light Processing (DLP)), имеют небольшие (настольные) габариты и позволяют реализовать преимущества аддитивных технологий дома либо в офисе для быстрого создания концептуальных прототипов.

Второе направление развития технологий — дорогие промышленные установки, направленные на решение задач по изготовлению конечных изделий средними и большими тиражами, по созданию деталей сложной геометрии. Заказчиками данного

оборудования являются предприятия авиационной, космической, автомобильной, машиностроительной, медицинской и других отраслей промышленности, использующие промышленные 3D-принтеры в собственных производственных процессах. Развитие данного сегмента оборудования направлено в сторону увеличения размеров, скорости и качества изготовления деталей, смещая производственную парадигму с традиционных технологий на аддитивные.

## **Технологии 3D-печати**

Сегодня можно говорить о существовании широкого спектра различных технологий 3D-печати. Более того, при профессиональных обсуждениях периодически упоминаются разработки все новых технологий, а на профильных выставках демонстрируются новые машины (пусть до промышленного применения добираются и не все из них). Ниже рассмотрим самые распространенные и коммерчески востребованные процессы 3D-печати.

### **Fused Deposition Modelling (FDM) — метод послойного наплавления**

Технология основана на печати методом послойного нанесения расплавленного пластика с помощью экструдера. Пластик подается в экструдер с разматываемой катушки в виде тонкой нити. Материалы: ABS- и PLA-пластики.

Применение: простейшие прототипы и функциональные изделия из пластика.

### **Stereolithography (SLA), Digital Light Processing (DLP) — стереолитография**

В данной технологии жидкий фотополимерный пластик слой за слоем затвердевает под воздействием ультрафиолетового лазера (SLA) либо светодиодного проектора (DLP). Качество поверхности и детализация выращенных моделей отвечает самым высоким требованиям. Материалы: фотополимерные пластики. В качестве материала поддержки используется сам фотополимер, поддержки удаляются механически.

После печати и удаления поддержек деталь необходимо выдержать в ультрафиолетовой печи для достижения окончательной полимеризации пластика. Применение: печать высококачественных и детализированных прототипов, печать моделей для литья по выжигаемым моделям.

### **Multi-Jet Modeling (MJM) — многоструйное моделирование**

Технология многоструйного моделирования подразумевает использование жидкого фотополимера, который наносится на рабочую платформу печатающей головкой через большое количество форсунок и послойно отверждается ультрафиолетовым проектором. Материалы: фотополимерные пластики, воск. В качестве поддержки используется воск, вымываемый теплой водой или выплавляемый в печи.

Применение: печать высококачественных и детализированных прототипов, печать моделей для литья по выжигаемым и выплавляемым моделям.

### **ColorJet Printing (CJP) — цветное склеивание порошкового материала**

Технология основана на послойном склеивании порошкового материала. Мелкозернистый гипсовый порошок раскатывается ракелем или роликом по рабочей поверхности. Склеивание в цельную деталь осуществляется выборочным нанесением на слой гипса специального связующего вещества с красящими добавками. Используется мелкозернистый порошок на гипсовой основе и связующее вещество различных цветов. Детали, полученные по данной технологии, являются цветными и могут использоваться как демонстрационные и выставочные образцы продукции. Материал: гипс. Поддержки как таковые отсутствуют, в качестве поддержки выступает несклеенный порошок.

### **Selective Laser Sintering (SLS) — селективное лазерное спекание**

Суть технологии заключается в последовательном спекании слоев порошкообразного пластика с помощью лазеров высокой мощности. Порошок разравнивается ракелем по рабочей поверхности, после этого лазерный луч с помощью импульсного излучения заштриховывает соответствующий контур детали. Под воздействием высокоэнергетического лазерного луча шаровидные гранулы порошкового пластика спекаются между собой, образуя цельную деталь. Материалы: широкий спектр порошковых пластиков, керамика. Поддержки отсутствуют, в качестве поддержек выступает неспеченный порошок.

Применение: печать прототипов, создание конечных изделий сложной геометрии, легковесных конструкций, производство функционально интегрированных деталей.

### **Selective Laser Melting (SLM) — селективное лазерное плавление**

В данной технологии слои мелкозернистого металлического порошка под воздействием сверхмощного лазера сплавляются (спекаются) в среде инертного газа в цельнометаллические изделия. Металлический порошок разравнивается ракелем по рабочему пространству, затем контур детали заштриховывается импульсным лазером высокой мощности. Сферические гранулы металлического порошка сплавляются в цельнометаллическое изделие.

Материалы: алюминий, титан, конструкционная сталь, нержавеющая сталь, никель, сплав кобальт-хром. Поддержкой выступает несплавленный металлический порошок, но зачастую рекомендуется дополнительно моделировать поддержки для организации теплоотвода с целью снижения температурных деформаций детали. Применение: конечные изделия сложной геометрии, функциональная интеграция деталей, изготовление форм для литья пластиков.

В зависимости от производителя оборудования данная технология также может носить название Direct Metal Printing (DMP) и Direct Metal Laser Sintering (DMLS).

Завершая обзор существующих технологий, хочется отметить, что сильные стороны аддитивного производства конечных изделий лежат в тех областях, где традиционное производство ограничено теми или иными барьерами, например, сложной формой детали, высоким весом или высокой стоимостью. Также 3D-печать является наиболее оптимальным способом сокращения времени разработки изделий за счет быстрого



создания прототипов деталей и узлов. Помимо этого, аддитивные технологии незаменимы для быстрого и высокоточного создания литьевых форм и моделей. Преимущества использования аддитивных технологий производства: изготовление изделия сложной геометрии;

- изготовление легковесных конструкций;
- изготовление бионических конструкций;
- выпуск изделий под конкретные требования заказчика;
- проведение функциональной интеграции изделий;
- создание форм и моделей для литья металла;
- сокращение времени разработки изделий за счет быстрого прототипирования;
- снижение производственных издержек.

### **Технологии оптического 3D-сканирования**

Неотъемлемой составляющей развития аддитивных технологий являются технологии создания цифровых моделей физических объектов. Оптическое 3D-сканирование объектов — процесс получения компьютерной модели на основе геометрии исследуемого изделия.

Данные технологии используются для метрологического контроля изделий, изготовленных как традиционным методом, так и с помощью аддитивных технологий. 3D-сканер позволяет сравнивать цифровую модель, полученную с помощью сканирования, и САД-модель, на базе которой на ЧПУ или на 3D-принтере была изготовлена данная деталь. Также технологии сканирования физических объектов востребованы для реверс-инжиниринга, когда стоит задача разработать точную копию физического объекта. САД-модель, полученная методом 3D-сканирования, позволяет измерять любые геометрические параметры изделий с помощью компьютерных алгоритмов, а также может быть использована для изготовления копии детали на 3D-принтере.

Точность сканирования объектов составляет десятки микрон, что позволяет использовать технологии 3D-сканирования в машиностроении, автомобилестроении, приборостроении, на предприятиях аэрокосмической отрасли, а также в опытно-конструкторских бюро, НИИ и лабораториях.

### **От теории к практике**

Реализованные возможности 3D-печати хорошо демонстрирует примерный спектр применения этих технологий.

Авиационное подразделение General Electric — GE Aviation совместно с французским производителем авиационных двигателей Snecma разработало оптимизированную конструкцию топливной форсунки и изготовило методом аддитивных технологий 19 форсунок для установки в камеру сгорания на новый реактивный двигатель LEAP. Новое поколение пассажирских реактивных самолетов A320neo Airbus будет оснащено подобными типами двигателей. В 2015 году в Тулузе успешно осуществлен первый полет опытного образца воздушного судна с двигателями LEAP. С 2016 года GE

Aviation намерено выпускать подобные двигатели на коммерческой основе. Каждая топливная форсунка изготавливается аддитивным методом как единое изделие, что позволяет избежать сложной мехобработки и последующей сборки деталей. Также напечатанные форсунки могут выдерживать температуры до 2400 °С внутри камеры сгорания. Детали, изготовленные традиционным способом, теряют свои механические свойства при таких значениях температуры. Другими преимуществами перехода на аддитивный метод производства топливных форсунок стали:

- более низкие весовые характеристики (вес детали снижен на 25%);
- упрощенная конструкция (18 деталей, необходимых для изготовления топливной форсунки традиционным методом, функционально интегрированы в одну);
- доступны новые элементы топологии детали (более сложные внутренние каналы охлаждения и прочностные элементы конструкции позволяют в 5 раз увеличить прочностные характеристики форсунок).

Материал форсунок: сплав кобальт-хром. Технология получения: Direct Metal Laser Sintering (DMLS) — прямое лазерное спекание металлического порошка, толщина слоя 20 мкм.

Технологии 3D-печати позволяют создавать формы и модели для литья металлов. В частности, с помощью процесса лазерного спекания порошковых материалов (SLS) изготавливаются песчаные формы для литья металлов. Одним из применений данной технологии является использование 3D-принтеров для изготовления отливок сложной геометрии, такой как блоки головки двигателей.

Как за рубежом, так и в России востребовано применение аддитивных технологий для разработки и производства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В 2011 году пионером в данной области стал Университет Саутгемптона (Великобритания), который разработал и произвел тестовый полет БПЛА SULSA, чей корпус был напечатан из полиамидного пластика PA2200 по технологии лазерного спекания (SLS). SULSA имеет 2-метровый размах крыльев и несет полезную нагрузку 0,5 кг. Максимальная скорость почти 160 км/ч, длительность непрерывного полета около 30 мин.

БПЛА состоит из 4 структурных элементов корпуса, время сборки которых составляет не более 10 мин, без каких-либо отверток и традиционных креплений.

В 2015 году на выставке «Армия-2015» совместную разработку аналогичного БПЛА продемонстрировали КБ «Луч» и НПО «Сатурн». Аддитивные технологии позволяют улучшить аэродинамику аппарата, снизить его вес, облегчить сборку и ускорить процесс разработки новых конструкций. Способность изготавливать детали цифровым методом позволяет конструкторам разрабатывать БПЛА с эллиптической формой крыла, которая обладает наилучшими аэродинамическими свойствами. При использовании традиционных способов производства стоимость и сложность изготовления таких крыльев достаточно высока. Применение решетчатой ферменной конструкции позволяет существенно снизить вес корпуса БПЛА за счет сокращения расхода материала. Движущиеся части, такие как закрылки или шарниры, функционально интегрируются в крылья или корпус

непосредственно при печати данных элементов, что упрощает сборку аппарата.

Интересен пример оптимизации конструкции металлического блока двигателя. Конструкция блока двигателя изначально представляла собой сплошной блок, внутри которого проходят две трубы с циркулирующей жидкостью, сливающиеся в одну трубу большего диаметра на выходе из блока. Для создания данной конструкции традиционным методом приходилось сверлить два отверстия сверху блока таким образом, чтобы эти трубки соединялись с высверливаемой трубой большего диаметра на боковой поверхности блока. В точке соприкосновения труб в середине блока возникает зона повышенного гидродинамического сопротивления потоку жидкости.

При построении аддитивным методом данных труб внутри самого компонента их геометрия становится более равномерной с заданным поперечным сечением и плавным переходом между трубами, что приводит к значительному снижению гидродинамического сопротивления в точке соединения труб.

*3D-печать — новое технологическое направление компании «Диполь»*

Открыв новое направление деятельности, с 2015 года группа компаний «Диполь» занимается оснащением российских предприятий технологическим оборудованием аддитивного производства: высокопроизводительными промышленными 3D-принтерами для изготовления пластиковых и металлических изделий и прототипов, а также 3D-сканерами для верификации геометрических параметров деталей и реверс-инжиниринга.

В настоящее время «Диполь» сотрудничает с технологическими лидерами в соответствующих сегментах:

- Wuhan Easymade Technology Co. Ltd (КНР) — ключевой партнер группы компаний «Диполь» в области оборудования для быстрого прототипирования деталей из пластика и металла. Флагманской моделью Vinhu Easymade для печати пластиковых деталей по технологии лазерного спекания (SLS) является установка SLS-YZ1600, обладающая внушительными габаритами рабочей зоны 1600×800×600 мм.
- 3D Systems (США) — мировой лидер на рынке оборудования 3D-печати на базе различных аддитивных процессов (MJM, SLA, SLS, DMP). Линейка профессионального оборудования включает MJM-установки серии ProJet для изготовления фотополимерных и восковых прототипов. Промышленное оборудование серии ProX позволяет печатать фотополимерные изделия до 1500×750×550 мм по технологии стереолитографии (SLA), что является максимальными габаритами рабочей зоны в мире.
- EOS GmbH (Германия) — партнер группы компаний «Диполь» в области высокопроизводительных промышленных аддитивных установок для изготовления металлических и пластиковых изделий. Большие габариты изделий, высокая скорость печати и отличное качество поверхности деталей позволяют использовать машины EOS как наиболее высокопроизводительные решения в области аддитивных технологий производства. Флагманская модель печати изделий из металла EOS M400 имеет рабочую зону 400×400×400 мм и позволяет

изготавливать детали из конструкционной и нержавеющей стали, титана, никеля, алюминия, сплава кобальт-хром по технологии DMLS.

- 4D Dynamics (Бельгия) — производитель сверхточных оптических 3D-сканеров. Промышленной моделью оптического 3D-сканера является установка EX-PRO, позволяющая создавать цифровые модели физических объектов с максимальной разрешающей способностью 50 мкм.

В рамках работы нового направления предлагают своим заказчикам комплексный подход по организации цифрового производства на базе аддитивных технологий 3D-печати и 3D-сканирования:

- Подбор технологических решений, соответствующих задачам производства.
- Инжиниринговые услуги по подготовке к переходу предприятий на цифровое производство.
- Поставка, ввод в эксплуатацию и сервисное обслуживание технологического оборудования 3D-печати и 3D-сканирования.
- Поставка расходных материалов: фотополимерные пластики, порошковые пластики, порошковые металлы для 3D-печати.
- Обучение персонала работе на установках 3D-печати.
- Организация под ключ производственных участков на базе аддитивных технологий.

В сферу инжиниринговых услуг по переходу предприятий на цифровое производство также можно включить работы по оптимизации топологии изделий под 3D-печать и подготовку послойных STL-моделей к печати. Оптимизация топологии подразумевает изменение внутренней топологии деталей, снижение весовых характеристик и повышение их функциональности при сохранении прочностных и габаритных параметров. Оптимизация топологии необходима при решении задач перехода от традиционных методов изготовления деталей и узлов к цифровому производству.

Подготовка STL-моделей к печати включает в себя выбор оптимальной ориентации модели на рабочей платформе и моделирование вспомогательных элементов конструкции для отвода тепла в процессе лазерного плавления металлических порошков. Нет ни малейших сомнений в многочисленных преимуществах технологий 3D-печати. Вопрос только в том, как скоро они станут использоваться российскими предприятиями в массовом порядке. Хочется надеяться, что этот процесс не заставит себя ждать.

## **ВОПРОСЫ:**

Какие есть недостатки у 3D в сравнении с традиционными технологиями?

Сравнивать аддитивные технологии с традиционными необходимо в привязке к задачам, для которых используется оборудование: прототипирование или производство конечных изделий. В первое время после своего появления технологии 3D-печати развивались как решения для быстрого прототипирования изделий, и если говорить об изготовлении прототипов, то недостатков здесь нет.

При производстве конечных изделий по технологиям SLS и SLM/DMLS недостатки становятся продолжением достоинств. Аддитивные технологии производства в первую очередь ориентированы на создание деталей сложной геометрии, функциональную

интеграцию изделий либо на ограниченные тиражи продукции. Следует упомянуть и о технологических ограничениях на использование материала в процессах лазерного спекания и плавления — материал должен быть доступен в порошковой форме.

Какие ограничения на использование аддитивных технологий производства?

- высокая стоимость изготовления средних и больших тиражей деталей;
- спектр материалов ограничен теми, которые доступны в порошковой форме;
- в России на данный момент отсутствует нормативная база для использования конечных изделий, полученных аддитивным методом в таких ответственных отраслях, как авиация и космос.

Экологичны ли 3D-печать?

Учитывая большое количество технологий 3D-печати (со своими преимуществами и недостатками), сложно обобщить все факторы, влияющие на экологию при использовании аддитивных технологий производства и сравнить их с традиционными технологиями. Но можно однозначно говорить, что общей характеристикой всех процессов промышленной 3D-печати является снижение расходного материала — при изготовлении аддитивным методом на деталь тратится существенно меньше материала, чем при изготовлении ее по традиционным субтрактивным технологиям. В дальнейшем к экологическим преимуществам можно будет отнести снижение расхода топлива при доставке товаров — вместо отправки набора пластиковых деталей с фабрики изготовителя заказчик сможет распечатать их на 3D-принтере. Для объективности надо заметить, что использование аддитивных технологий достаточно энергоемко.

Не сталкиваются ли разработчики новых технологий с сопротивлением лобби производителей традиционного оборудования?

О лобби производителей традиционного оборудования ничего неизвестно, поскольку аддитивные технологии не являются конкурентом и полноценной заменой традиционным технологиям в широком спектре задач. Например, сферы применения термопласт-автомата и 3D-принтера для печати пластиковых изделий различны. Так же как и металлический 3D-принтер и мехобработывающий станок с ЧПУ не взаимозаменяемы.