

СОВРЕМЕННЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ В ЦИФРОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Уланов А.В., Юров И.И.

г. Тверь, Тверской лицей, 10 класс

Научный руководитель: Наумова А.И., г. Тверь, учитель информатики высшей категории, Тверской лицей

В данной работе достаточно подробно представлен актуальный материал по разработке и применению современных *аддитивных технологий*.

Как известно, существует несколько методов *3D печати*, однако все они являются производными *аддитивной технологии* производства изделий. Вне зависимости от того, какой 3D принтер используется, построение заготовки осуществляется путем *послойного добавления сырья* [7].

Аддитивность в переводе с латинского *additivus* означает *прибавляемый*. *Аддитивные технологии* (*AF – Additive Manufacturing*), или *технологии послойного синтеза*, сегодня одно из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства. Они позволяют ускорить решение задач при подготовке производства, а также активно применяются и для производства готовой продукции [3, 4].

Новейшие технологические разработки в области 3D печати начали входить в нашу жизнь и распространяются по всему миру с *большой скоростью*. Количество моделей 3D принтеров растет с каждым днем, появляются новые производители, которые вносят усовершенствования в существующую технологию, делая возможности печати *объемных объектов* более *эффективными*. На сегодняшний день применение 3D печати востребовано *во всех областях промышленности, медицины, дизайна, торговли и др.* [1].

Для написания реферативной работы по данной теме были подобраны соответствующие источники.

Цель работы: получить *дополнительные* знания по современным цифровым производствам.

Задачи: подобрать соответствующий материал с последующей систематизацией, обобщением и иллюстрацией текста.

Аддитивная технология

Описание и определение

Аддитивная технология (Технология 3D-печати) появилась в 1986 г., когда компания *3D Systems* разработала первый спе-

циальный принтер – машину для *стереолитографии*, которая нашла применение в оборонной промышленности. Первые аппараты были крайне дорогими, а выбор материала для создания моделей был ограничен. Бурное развитие трёхмерной печати началось с развитием технологий проектирования (CAD), расчётов и моделирования (CAE) и механической обработки (CAM). И сегодня сложно найти область производства, где бы не применялись 3D-принтеры: с их помощью изготавливаются детали самолётов, космических аппаратов, подлодок, инструменты, протезы и импланты, ювелирные изделия и др. Перспектива очевидна – аддитивная технология в ближайшее время станет *приоритетной* технологией машиностроения.

Ведущие страны мира активно включаются в 3D-гонку. Так, в 2012 г. в Янгстоуне, Огайо, открылся Национальный инновационный институт аддитивного производства NAMII – первый центр аддитивных технологий из пятнадцати создаваемых в США. Машинный парк института уже насчитывает 10 аддитивных машин, три из которых являются самыми современными машинами для создания металлических деталей [2].

Терминология и классификация

Суть аддитивных технологий заключается в *соединении материалов* для создания объектов из данных 3D-модели слой за слоем. Этим они отличаются от обычных субтрактивных технологий производства, подразумевающих механическую обработку – удаление вещества из заготовки.

Аддитивные технологии *классифицируют*: по используемым материалам (жидким, сыпучим, полимерным, металлопорошковым); по наличию лазера; по способу фиксирования слоя построения (тепловое воздействие, облучение ультрафиолетом или видимым светом, связующим составом); по способу образования слоя. Есть *два способа* формирования слоя. *Первый* заключается в том, что сначала насыпают на платформу порошковый материал, распределяют его роликом или ножом для создания ровного слоя материала заданной толщины. Про-

исходит *селективная* обработка порошка лазером или другим способом соединения частиц порошка (плавкой или склеиванием) согласно текущему сечению САД-модели. Плоскость построения неизменна, а часть порошка остаётся нетронутой. Этот способ называют *селективным синтезом*, а также *инструментом соединения* является лазер. *Второй* способ состоит в *непосредственном осаждении материала* в точку подведения энергии.

Организация ASTM, занимающаяся разработкой *отраслевых стандартов*, разделяет *3D-аддитивные технологии* на 7 категорий:

1. *Выдавливание материала*. В точку построения по подогретому экструдеру подаётся пастообразный материал, представляющий собой смесь связующего и металлического порошка. Построенная сырая модель помещается в печь для того, чтобы удалить связующее и спечь порошок – так же, как это происходит в традиционных технологиях. Эта аддитивная технология реализована под марками MJS (Multiphase Jet Solidification, многофазное отверждение струи), FDM (Fused Deposition Modeling, моделирование методом послойного наплавления), FFF (Fused Filament Fabrication, производство способом наплавления нитей).

2. *Разбрызгивание материала*. Например, в технологии Polyjet воск или фотополимер по многоструйной головке подается в точку построения. Эта аддитивная технология также называется Multi jetting Material.

3. *Разбрызгивание связующего*. К ним относятся струйные Ink-Jet-технологии впрыскивания в зону построения не модельного материала, а связующего реагента (технология аддитивного производства ExOne).

4. *Соединение листовых материалов*. Строительный материал представляет собой полимерную плёнку, металлическую фольгу, листы бумаги и др. Используется, например, в технологии ультразвукового аддитивного производства Fabrisonic. Тонкие пластины из металла свариваются ультразвуком, после чего излишки металла удаляются фрезерованием. Аддитивная технология здесь применяется в сочетании с субстрактивной.

5. *Фотополимеризация в ванне*. Технология использует жидкие модельные материалы – фотополимерные смолы. Примером могут служить SLA-технология компании 3D Systems и DLP-технология компаний Envisiontec, Digital Light Procession.

6. *Плавка материала в заранее сформированном слое*. Используется в SLS-технологиях, использующих в качестве источника энергии лазер или термоголовку (SHS компании Blueprinter).

7. *Прямое подведение энергии в место построения*. Материал и энергия для его плавления поступают в точку построения одновременно. В качестве рабочего органа используется головка, оснащённая системой подвода энергии и материала. Энергия поступает в виде сконцентрированного пучка электронов (Sciaky) или луча лазера (POM, Optomes,). Иногда головка устанавливается на «руке» робота [2].

Технологии 3D печати

Как и в обычной печати 2D здесь имеются аналогичные похожие технологии, но с применением более сложного технологического процесса. Концепция создания объёмных предметов лежит в *выращивании модели посредством послойного наложения из различных материалов*. Чаще всего это полимерное сырьё, но также применяют металл, стекло или гипс. Многообразие расходных материалов растёт очень быстро и представляет собой комбинированные смеси для различных нужд, которые удовлетворяют любые запросы конструкторских бюро, производственных цехов или малого сувенирного бизнеса. Оба вида 3D печати имеют *подвиды*, которые имеют общую концепцию, но используют разные структуры материалов или виды наложения слоев.

Виды лазерной печати 3D объектов

Способ стериолитографии – заключается в облучении лазером специального фотополимера, который выкладывается пиксель за пикселем, застывая под действием лазера на основе ультрафиолета.

Способ сплавления – заключается в сплавлении порошкообразной субстанции из металла или полимерного материал, выводя слой за слоем контур будущей модели или продукта.

Способ ламинирования – используется особая пленка, которая склеивается слоями, а лазер вырезает контур в нужной конфигурации.

Виды струйной печати 3D объектов

Способ охлаждения материала на рабочей поверхности – заключается в охлаждении основы-платформы, на которую головка 3D принтера наносит исходный материал, из которого формируется требуемый объект.

Способ полимеризации фотополимера – под действием ультрафиолетового из-

лучения от специальной лампы происходит застывание пластика.

Способ спекания порошкообразного сырья – этот вид печати похож на лазерный вариант, но фиксация слоев идет посредством склеивания особым составом, поступающим из головки принтера [1].

Области применения 3D печати

Архитектурные разработки

Архитектурные разработки – технология быстрого осуществления *моделей строительства* и всевозможных пробных миниатюрных конструкций посредством *3D принтера* очень востребована в данной области.

Инженерные технологические разработки

Инженерные технологические разработки – создание *предварительных макетов* сложных прототипов техники в малой

и большой отрасли машиностроения обязательный этап конструирования. Экспериментальные макеты покажут отрицательные и положительные стороны будущего продукта.

Медицинские технологии

Медицинские технологии – набирающая обороты отрасль воспроизведения *искусственных имплантатов и протезов*, которые требуют *точнейшей* реализации, что позволит новая технология 3D печати. Также не за горами воссоздание живых органов для последующей имплантации.

Области малого бизнеса и обычного использования

Области малого бизнеса и обычного использования – такие как *сувенирная продукция, полиграфические услуги* в создании различных рекламных продуктов, а также малосерийное производство всевозможных изделий [1].

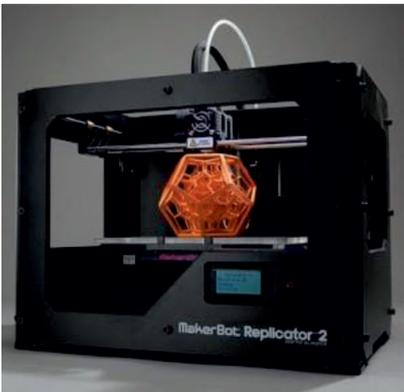
Таблица 1

Технические характеристики 3D SystemsCube X

	Технические характеристики
	<ul style="list-style-type: none"> – размер рабочего пространства 275x265x240 мм; – цветная технология печати; – технология Plastic Jet Printing (PJP); – скорость осуществления печати 90 см³ / час; – беспроводная интеграция с ПК через Wi-Fi;

Таблица 2

Технические характеристики Makerbot Replicator 2X

	Технические характеристики
	<ul style="list-style-type: none"> ● размер рабочего пространства 284x154x152 мм; ● цветная технология печати; ● технология ABS-пластик; ● скорость печати увеличена на 30%; ● режим высокого разрешения в 100 микрон;

Технические характеристики некоторых моделей 3D принтеров

ными операционными системами Windows, Linux или Mac.

Настольные принтеры

Производственные варианты принтеров sPro 230

3D SystemsCube X

Устройство предельно просто в подключении и имеет хорошее технологическое оснащение, позволяющее печатать одновременно несколькими цветами. Компания *Cubify* получила положительные отзывы на выставке CES 2013. *Универсальность* в использовании сырья для печати выделяет этот принтер среди других моделей.

Данная модель делает большой объем работ и будет стабильно совершать поставленную задачу. Компания-создатель ответственно подошла к разработке модели, создав *модульную структуру*, позволяющую усовершенствовать принтер. *Увеличенная производительность* за счет системы TruTemp.

Makerbot Replicator 2X

Еще один интуитивно понятный образец принтера, который имеет еще больший объем рабочего пространства, по сравнению с предыдущим поколением этой модели. MakerWare позволяет работать с раз-

PROX™ 500

Отличные физические свойства создаваемых моделей дадут качество и хорошую репутацию. *Автоматизация процесса* позволит осуществлять непрерывный производственный процесс. Оптимальная стоимость будет целесообразна с функциональными возможностями этого принтера. [1]

Таблица 3

Технические характеристики sPro 230

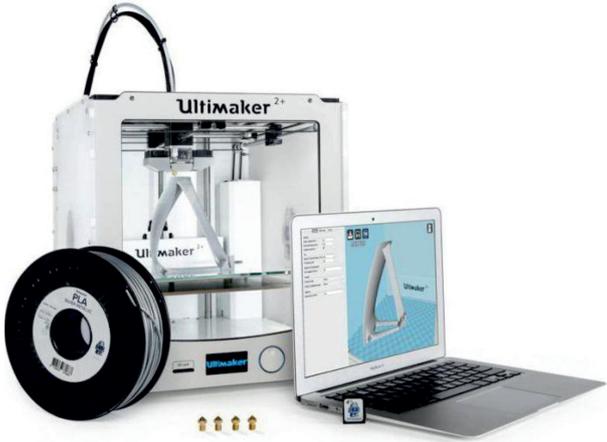
	Технические характеристики
	<ul style="list-style-type: none"> – размер рабочего пространства 550x550x750 мм; – использование материалов DuraForm или CastForm; – система сканирования ProScan GX; – тип лазерной установки CO2; – скорость осуществления 3D печати 5 л / час; – наличие Ethernet и беспроводной опции Wi-Fi.

Таблица 4

Технические характеристики PROX™ 500

	Технические характеристики
	<ul style="list-style-type: none"> – размер рабочего пространства 381x330x457 мм; – технология осуществления SLS (Selective Laser Sintering); – система сканирования ProScan DX; – скорость осуществления 3D печати 2 л / час; – экологически чистое сырье для печати с возможностью повторного использования; – повышенная скорость печати;

Технические характеристики Ultimaker 2

Технические характеристики	
<ul style="list-style-type: none"> – размер рабочей камеры – 223 x 223 x 305мм; – вес – 12,3 кг; – размер головки – 0,25/0,4/0,6/0,8 мм; – температура головки – 180-260 °С; – разрешение слоя – 150-60/200-20/400 - 20/600-20 микрон; – скорость печати – 8-24 мм3/с; – точность XYZ – 12,5-12,55 микрон; 	<ul style="list-style-type: none"> – материал – PLA, ABS, СРЕ диаметром 2,85 мм; – программное обеспечение – Cura; – поддерживаемые типы файлов – STL, OBJ, AMF; – потребляемая мощность – 221 Вт; – цена – 1 895 евро базовая модель и 2 495 евро расширенная.
	

Лучшие 3D принтеры 2016 года

Ultimaker 2

По мнению журнала CHIP, который провёл тестирование и сравнил характеристики бытовых 3D-принтеров, лучшими принтерами 2016 года являются модели Ultimaker 2 (табл. 5) компании Ultimaker, Reniforce RF1000 компании Conrad и Replicator Desktop 3D Printer компании MakerBot.

Ultimaker 2+ в его улучшенной модели использует технологию моделирования методом наплавления. 3D-принтер отличается наименьшей толщиной слоя, равной 0,02 мм, небольшим временем расчёта, низкой стоимостью печати (2600 руб. за 1 кг материала). По отзывам покупателей, принтер лёгок в установке и использовании. Отмечают высокое разрешение, саморегулирующуюся ложу, большое разнообразие используемого материала, использование открытого программного обеспечения. К недостаткам принтера относят открытую конструкцию принтера, которая может привести к ожогу горячим материалом [2].

Sciaky EBAM 300

Одной из лучших промышленных машин аддитивного производства является EBAM 300 компании Sciaky. Электронно-лучевая

пушка наносит слои металла со скоростью до 9 кг в час.

- размер рабочей камеры – 5791x1219x1219 мм;
- давление вакуумной камеры – 1x10⁻⁴ Тор;
- потребляемая мощность – до 42 кВт при напряжении 60 кВ;
- технология – экструзия (от англ. *extrusion* – выталкивание, выдавливание);
- материал – титан и сплавы титана, тантал, инконель, вольфрам, ниобий, нержавеющая сталь, алюминий, сталь, сплав меди с никелем (70/30 и 30/70);
- максимальный объём – 8605,2 л;
- цена – 250 тыс. долларов США.

Аддитивные технологии в России

Разработки инжиниринговых центров

Машины промышленного класса в России не выпускаются. Пока только ведутся разработки в «Росатоме», лазерном центре МГТУ им. Баумана, университете «Станкин», политехническом университете Петербурга, Уральском федеральном университете. «Воронежсельмаш», выпускающий учебно-бытовые 3D-принтеры «Альфа», разрабатывает промышленную аддитивную установку.

Такая же ситуация и с расходными материалами. Лидером разработки порошков

и порошковых композиций в России является ВИАМ. Им производится порошок для аддитивных технологий, использующийся при восстановлении лопаток турбин, по заказу пермского «Авиадвигателя». Прогресс есть и у Всероссийского института лёгких сплавов (ВИЛС). Разработки ведутся различными инжиниринговыми центрами по всей Российской Федерации. «Ростех», Уральское отделение РАН, УрФУ ведут свои разработки. Но все они не способны удовлетворить даже небольшой спрос в 20 т порошка в год [2].

Поручение правительства по созданию согласованной программы разработок и исследований

В связи с этим правительство поручило Минобрнауке, Минэкономразвитию, Минпромторгу, Минкомсвязи, РАН, ФАНО, «Роскосмосу», «Росатому», «Росстандарту», институтам развития создать согласованную программу разработок и исследований. Для этого предлагается выделить дополнительные бюджетные ассигнования, а также рассмотреть возможности софинансирования за счёт средств ФНБ и других источников. Рекомендовано поддержать новые производственные технологии, в т.ч. аддитивные, РВК, «Роснано», фонду «Сколково», экспортному агентству «ЭКСПАР», «Внешэ-

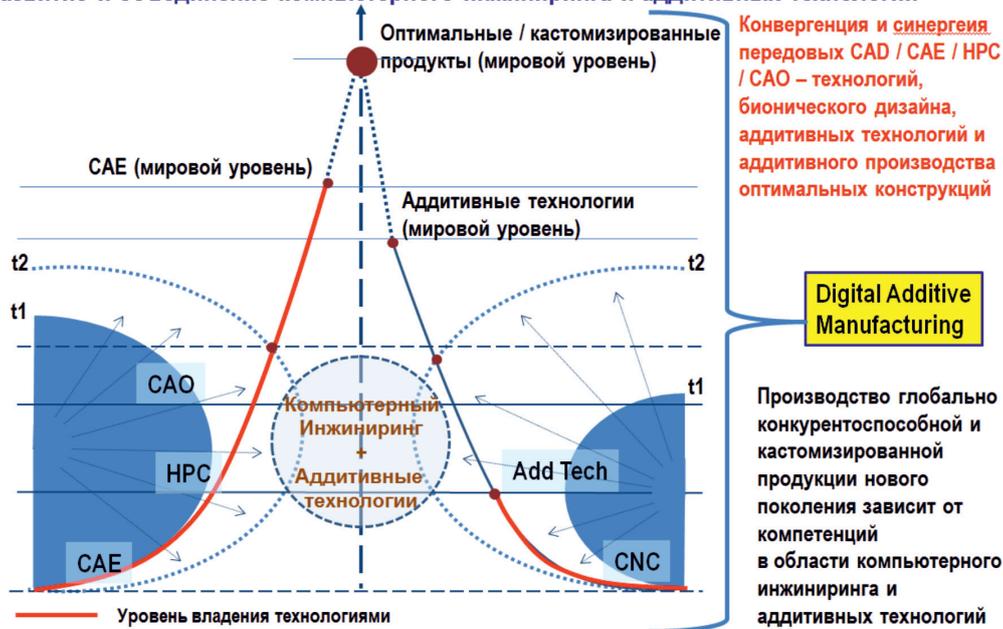
кономбанку». Также правительство в лице Минпромторга подготовит раздел государственной программы по развитию и повышению конкурентоспособности промышленности [2].

Заключение

Исходя из вышесказанного, аддитивные технологии не только актуальны, но и достаточно перспективны. Мировые научно-исследовательские центры продолжают разрабатывать, модифицировать и внедрять в производство АТ-технологии.

Для российской высокотехнологичной промышленности ключевым подходом становится объединение наукоемкого компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE), многопараметрической, многокритериальной, топологической (Multi X)^N-оптимизации и передовых производственных технологий (Advanced Manufacturing Technology) для создания принципиально новых материалов и изделий. Этот подход позволяет в кратчайшие сроки создавать глобально конкурентоспособную и кастомизированную продукцию нового поколения, осуществлять импортозамещение и импортоопережение высокотехнологичной зарубежной продукции, а также увеличивать долю экспорта продукции и услуг [5].

Глобальный тренд на основе конвергенции и синергии двух трендов – стремительное развитие и объединение компьютерного инжиниринга и аддитивных технологий



Слайд из доклада профессора А.И. Боровкова, научного руководителя центра компьютерного инжиниринга СПбПУ на международной выставке ИННОПРОМ-2015

В рамках выездного заседания президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России по вопросу инновационного развития в сфере станкостроения, состоявшегося 15 марта 2016 года в Коломне, временный генеральный директор холдинга Станкопром Госкорпорации Ростех Дмитрий Косов представил премьер-министру Дмитрию Медведеву отечественный 3-D принтер *Альфа-2* – совместной разработки Станкопрома и Центра аддитивных технологий [6].

Список литературы

1. 3D принтеры и область их применения. Обзор моделей для объемной печати- <http://gooosha.ru/3d-printery-i-oblast-ix-primeneniya-obzor-modelej-dlya-obemnoj-pechati/#ixzz4L3RLG89u>.
2. Аддитивная технология: описание, определение, особенности применения и отзывы. Аддитивные технологии в промышленности – <http://fb.ru/article/231049/additivnaya-tehnologiya-opisanie-opredelenie-osobennosti-primeneniya-i-otzyivyi-additivnyie-tehnologii-v-promyshlennosti>.
3. Аддитивность – <https://ru.wikipedia.org/wiki/Аддитивность>.
4. Журнал, Конструктор. Машиностроитель, 12.05.2012, Аддитивные технологии в российской промышленности; <http://konstruktor.net/podrobnee-det/additivnyie-tehnologii-v-rossijskoj-promyshlennosti.html>.
5. Международная промышленная выставка ИННОПРОМ-2015 – <http://fea.ru/news/6218>.
6. Станкопром представил Дмитрию Медведеву отечественный 3-D принтер *Альфа-2* – http://stankoprom.ru/press-tsentr/novosti/novosti_73.html.
7. Что это такое аддитивные технологии? <http://make-3d.ru/articles/chto-eto-takoe-additivnyie-tehnologii/>.