

УДК 62.21474

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА В США

© 2016 г. **С.А. Толкачёв, Е.И. Москвитина,
Т.М. Цветкова***

Статья поступила в редакцию 24.08.2015.

Рассмотрев предпринимательский потенциал рынка аддитивных технологий, авторы подчёркивают их возрастающее значение в перестройке всей цепочки производственных процессов и рассматривают их как основу для перехода промышленности к новому технологическому укладу. В статье исследуются основные тенденции развития аддитивных технологий как потенциальных факторов, способствующих увеличению конкурентоспособности американской обрабатывающей промышленности.

Ключевые слова: аддитивные технологии, тенденции развития 3D-технологий, технологический уклад, неоиндустриализация, динамика рынка 3D-печати, новая индустриальная парадигма, кастомизация.

Аддитивные технологии или технологии послойного синтеза, в настоящее время являются одними из наиболее динамично развивающихся перспективных производственных процессов и могут стать основой для перехода промышленности к новому технологическому укладу.

Технологическое содержание аддитивного производства

3D-печать (3D-принтинг), или «аддитивное производство», – процесс создания цельных трёхмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели.

* **ТОЛКАЧЁВ** Сергей Александрович – доктор экономических наук, профессор, директор Центра промышленной политики Института экономической политики и проблем экономической безопасности Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. Российская Федерация, 125993, Москва, Ленинградский проспект, д. 49 (SATolkachev@fa.ru); **МОСКВИТИНА** Екатерина Ильинична – студентка Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. Российская Федерация, 125993, Москва, Ленинградский проспект, д. 49 (kitkat_08@mail.ru); **ЦВЕТКОВА** Татьяна Михайловна – студентка Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. Российская Федерация, 125993, Москва, Ленинградский проспект, д. 49 (tanyatsvetkova1101@yandex.ru);

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счёт бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета 2015 года. Проект LIX. ВТК-ГЗ-59-15 «Условия и факторы неоиндустриального развития».

Фактически 3D-печать является полной противоположностью таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счёт удаления лишнего материала (так называемое субтрактивное производство) [4].

В последние годы 3D-технологии, или «аддитивное производство», переходит из области экзотики в сферу серьёзного производственного использования, революционизирующего всю обрабатывающую промышленность. 3D-принтеры, ещё недавно используемые для выдувания игрушек и простейших пластмассовых изделий, созрели для производства серьёзных промышленных изделий с высокой степенью технологического передела.

Основные технологии, которые связаны с аддитивным производством, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные методы аддитивного производства

Метод	Технология	Используемые материалы
<i>Экструзионный</i>	Моделирование методом послойного наплавления, FDM	Термопластики (такие как полилактид, акрилонитрил-бутадиенстирол и др.)
<i>Проволочный</i>	Производство произвольных форм электронно-лучевой плавкой, EBF	Практически любые металлические сплавы
<i>Порошковый</i>	Прямое лазерное спекание металлов (DMLS)	Практически любые металлические сплавы
	Электронно-лучевая плавка, EBM	Титановые сплавы
	Выборочная лазерная плавка, SLM	Титановые сплавы, кобальт-хромовые сплавы, нержавеющая сталь, алюминий
	Выборочное тепловое спекание, SHS	Порошковые термопластики
	Выборочное лазерное спекание, SLS	Термопластики, металлические порошки, керамические порошки
<i>Струйный</i>	Струйная трехмерная печать, 3DP	Гипс, пластики, металлические порошки, песчаные смеси
<i>Ламинирование</i>	Изготовление объектов методом ламинирования, LOM	Бумага, металлическая фольга, пластиковая пленка
<i>Полимеризация</i>	Стереолитография, SLA	Фотополимеры
	Цифровая светодиодная проекция, DLP	Фотополимеры

Реализация существующих возможностей 3D-технологий предполагает модернизацию 3D-принтеров по трём основным направлениям [12].

1. Производительность: улучшение ключевых характеристик – скорости, разрешения, автономной работы, простоты использования, надежности и стабильности.

2. Мультиматериальные возможности и диверсификация: включение нескольких типов материалов, в том числе возможность смешивания материалов при печати одного объекта.

3. Готовая продукция: возможности печатать полностью функциональные и активные системы, которые включают в себя множество модулей: встроенные датчики, аккумуляторы, электронику, микроэлектромеханические системы и другие.

Большинство современных 3D-принтеров работает по принципу: высокая стоимость – большие возможности, низкая стоимость – ограниченные возможности. Высококачественные принтеры, как правило, ориентированы на предприятия и сервис-бюро 3D-печати, в то время как целевой аудиторией низкокачественных принтеров (производных от *RepRap*-принтеров) являются любители [22].

Тенденции развития 3D-технологий с точки зрения повышения производительности принтеров затрагивают области:

- принтеры и способы печати,
- программное обеспечение для дизайна и печати,
- используемые для печати материалы.

В то время как производительность принтера определяется многими характеристиками, основными проблемами являются скорость и простота в использовании.

«Существует много способов для улучшения скорости с помощью использования более качественных компонентов и оптимизации конструкции и движения лазеров», – говорит Э. Богери, ведущий инженер в этой области. Например, *Form 1+*, стереолитографический принтер из «Формлабс» (*Formlabs*), использует лазеры, которые в 4 раза мощнее печати и до 50% быстрее, чем принтер предыдущего поколения *Form 1* [26].

Большинство современных принтеров используют одну печатающую головку для нанесения материала. Добавление большего количества печатающих головок, осуществляющих печать одновременно, может значительно увеличить скорость за счёт более быстрого нанесения материала, в частности включения нескольких материалов или нескольких цветов одного и того же материала. Кроме того, несколько печатающих головок позволит сделать много копий одного и того же дизайна за время, необходимое для печати одного. Благодаря внедрению подобной инновации, скорость печати может увеличиваться линейно по мере увеличения количества головок.

Поиск решения проблемы скорости печати больших объектов осуществляется при сотрудничестве «Оукридж эшнл лаборетри» (*Oak Ridge National Laboratory*) и «Цинциннати инкорпарейтед» (*Cincinnati Incorporated*) [20]. Организации занимаются разработкой масштабной системы, способной печатать полимерные компоненты в 10 раз больше и на скорости от 200 до 500 раз быстрее, чем существующие присадки машин.

Более простое использование принтеров будет достигаться за счёт автоматизации функций, что почти полностью исключает из работы человеческий фактор и снижает риск многих ошибок.

Многие принтеры (*XYZprinting* и *MakerBot*) включают автоматические уровни, где принтер калибруется на платформу.

Ожидаемая в будущем система обратной связи, которая обеспечит мониторинг процесса печати в режиме реального времени и позволит определять де-

фекты и отклонения, способствует повышению надёжности и стабильности процесса печати.

Тенденции развития 3D-принтеров с точки зрения работы с материалами сводятся к обеспечению возможности 3D-устройств обрабатывать несколько типов материалов в пределах одного цикла сборки. Различные факторы, связанные в основном с самими материалами, превращают данное требование в сложную задачу. Например, большинство процессов строятся вокруг идеального материала, который реагирует на узкий диапазон температурных входов или частоты света. Используя тепло или свет, принтеры часто превращают вещества в жидкость или твердое тело, чтобы манипулировать материалом для создания точных форм, что исключает возможность использования многих потенциальных материалов [12].

«Для мультиматериальной печати технологии струйной печати – это настоящее и будущее», – предсказывает Э. Богери.

Такие методы, как селективное лазерное спекание, используют технологию струйной печати, которая позволяет обрабатывать несколько материалов в пределах порошкообразной «базы» на основе технологии использования нескольких печатающих головок. В результате, части, изготовленные из различных материалов, могут быть напечатаны одним тиражом. Сегодня эта технология доступна на высоком уровне у «Вокселджет» (*Voxeljet*), «Стрэтесис» (*Stratasys*), «3D-системс» (*3Dsystems*) и других.

Струйную печать для 3D-принтеров стала применять «Обджект» (теперь часть «Стрэтесис») около семи лет назад. Данная технология позволяет создавать новые свойства материалов, которые охватывают диапазон от жёсткого пластика до резины и от непрозрачного до прозрачного. Совсем недавно технология позволила печатать в нескольких цветах, например, принтер *Stratasys Objet500 Connex3* поддерживает мультиматериал и многоцветную 3D-печать. Объект печати может иметь 14 различных свойств материала и 10 цветовых палитр [27].

Тенденции развития 3D-принтеров с точки зрения готовой продукции связаны со способностью печатать полные системы или подсистемы.

Большинство готовой продукции производится из более чем одного материала. Тем не менее, существуют определённые проблемы, связанные со сложностями при встраивании компонентов – датчиков, электроники и батареи таким образом, чтобы всё могло быть напечатано в одной сборке.

Ключевая задача состоит в разработке чернил, которые могут служить основанием для печати различных видов продукции, будь то датчики, электроника, или батареи. Так, например, профессор Дженнифер А. Льюис в Гарвардской школе инженерных и прикладных наук создала функциональные чернила, которые могут затвердевать в виде батарей и их компонентов (электроды, проводники и антенны) [18]. Кроме того, её команда разработала биокраски для создания живых тканей. Были использованы несколько печатающих головок и индивидуальные краски для создания сложных живых тканей [31]. Некоторые фармацевтические компании уже применяют 3D-печатные ткани для тестирования препаратов.

Печать полных систем не ограничивается нано- или микроскопическим масштабом. «Оптомек» (*Optomec*) напечатал полные крылья самолета, включая электронику и датчики, для малых беспилотных летательных аппаратов [23]. Каждое крыло было выполнено на принтере *Stratasys FFF*. Датчики и схема

были напечатаны непосредственно на крыло при использовании аэрозольный струйной системы «Оптомек». В то время как струйная печать осуществляется на плоской поверхности, аэрозольная система адаптирована для поверхностей, которые могут быть неправильной формы.

Некоторые подходы могут комбинировать 3D-печать с другими методами производства. Например, *iRobot* подала заявку на патент на полностью автоматизированный роботизированный 3D-принтер [13].

Динамика рынка 3D-принтинга

Непрерывно увеличивается количество компаний, занимающихся производством принтеров. Крупнейшие из них представлены в табл. 2. На этом рынке выделяются два лидера – американские компании «Стрэтесис» и «3D-системс».

Эти же две компании лидируют и по капитализации. Рыночная стоимость акций этих компаний на начало 2015 г. составила 3,9 млрд. и 3,5 млрд. долл. соответственно.

Таблица 2

10 ведущих компаний рынка 3D-печати, акции которых торгуются на бирже

Компания	Выручка 2014 факт, млн. долл.	Выручка 2015 прогноз, млн. долл.	Прибыль 2014, млн. долл.	Изменение выручки 2013–2014, %
Стрэтесис	750	940	-119*	+54
3D-системс	650	850–900	+1,6**	+27
Материэлайз	81	97,2	+1,8	+18,4
Эксуан	43,9	58–66	10,5*** -21,8****	+10
Аркэм	39	н.д.	+6	+70
СЛМ-солюшн	36	59,1^	н.д.	+56
Альфаформ	30	н.д.	-3,9	+11,6
Вокселджет	17–18	25,5–27	-4,3*	+38
Органово	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Ренишоу	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

^ – млн евро; * – чистая прибыль; ** – чистый доход по GAAP; *** – валовая прибыль; **** – операционная прибыль.

[6].

Наиболее известные компании, присутствующие на российском рынке, информация о которых доступна в открытых источниках:

- МНТЦ (г. Томск) сделал один из первых отечественных 3D-принтеров. В последнее время отсутствуют сообщения о продолжении работ.
- В Москве производство 3D-принтеров «Пикасо билдер» (*Picasso Builder*) осуществляет компания «Пикассо-3D», которая была создана в 2012 г. на базе ООО «Научно-производственное Предприятие интеллектуальные информационные системы» (НПП ИИС).

- В Нижнем Тагиле Общество с ограниченной ответственностью «Центр информационных технологий» (ООО ЦИТ), производит 3D-принтеры «Хамелеон».

- Компания «Маркет-сити» (*Market City*) из Курска производит 3D-принтеры под названием «Люмен».

- Проект «Принт и плей» (*Print and Play*) из Новосибирского Академгородка осуществляет мелкосерийное производство 3D-принтеров собственной конструкции под маркой «*SibRap*».

- Московская *RGT* (разрабатывает и производит оборудование с числовым программным управлением) выпустила в конце прошлого года модель *PrintBox3D One*.

- Компания СТАНКИН-АТ – частное предприятие при МГТУ «СТАНКИН» недавно продали свои первые *Prusa Mendel*.

Аддитивное производство, несомненно, принадлежит к ядру нового, шестого, технологического уклада и развивается рекордными опережающими шагами на фоне прочих отраслей. Ежегодные темпы роста как рынка самих 3D-принтеров, так и соответствующей сферы 3D-принтинга, согласно всем аналитическим оценкам, измеряются внушительными двузначными цифрами. Насыщение производственной сферы коммерческими 3D-принтерами идёт ошеломляющими темпами. Если в 2008 г. в мире насчитывалось 355 установленных 3D-принтеров, то в 2013 г. – уже 23 тыс. Информационный сервис «Би-ай интеллидженс» (*BI Intelligence*), оценивая возможности рынка 3D-печати, прогнозирует увеличение поставок 3D-принтеров к 2018 г. в 100 раз по сравнению с 2012 г. и в 10 раз по сравнению с 2015 года [28].

Аналитическая компания «Кэнелис» прогнозирует среднегодовые темпы роста рынка 3D-печати в 45,7%: с 2,5 млрд. долл. в 2013 г. до 16,2 млрд. долл. в 2018 году [3].

Аналитическая компания Ай-ди-си делает следующий прогноз: совокупные темпы годового роста продаж 3D-принтеров к 2017 г. достигнут 59%, среднегодовые темпы роста дохода от поставок составит в прогнозном периоде 27% [25].

Аналитическая компания «Стэтиста инк.» (*Statista Inc.*) считает, что мировой рынок 3D-принтинга вырастет до 11 млрд. долл. в 2021 году [7].

Лавинообразному росту распространения 3D-принтеров способствует радикальное снижение цены в кратчайшие сроки. Так, после завершения срока патентной защиты технологии *FDM* в 2011 г., цены на такие принтеры снизились с 14 тыс. долл. в 2010 г. до 300 долл. в 2015 году [17].

Ведущая компания мира на рынке производства 3D-принтеров – американская «Стрэтесис» – показывает ошеломляющие темпы роста чистых продаж. Так, с 2009 по 2014 г. чистые продажи этой фирмы выросли в 7,5 раза – с 98 млн. до 750 млн. долларов.

США в 2012 г. существенно опережали любую другую страну по количеству установленных коммерческих 3D-принтеров, обладая долей в 38%. Япония, Германия, Китай и другие развитые страны не дотягивали до 10% мирового рынка. Россия хотя бы попала в мониторинг, заняв, наряду с Турцией, 1,4% мирового рынка.

Рост сферы использования 3D-принтеров

Развитие сфер применения аддитивных технологий также идёт немислимыми темпами. Ещё в 2013 г. Г. Дэвисон, характеризуя перспективы 3D-принтинга, писал: «Конечно, мы не надеемся увидеть вскоре 3D-принтеры в качестве замены токарных станков, сварочных аппаратов, прессов и мельниц» [16]. Однако, уже в июне 2015 г. в том же журнале «Индастри уик» статья «Как напечатать металлический мост» [10], где сообщается, что один голландский стартап собирается возвести к середине 2017 г. первый в мире мост через канал в Амстердаме, используя технологии 3D-принтинга.

Несколько роботизированных принтеров будут «рисовать» арочные конструкции моста, постепенно перемещаясь вперёд по мере застывания разогретого до 1500°C металла. Фирме удалось соединить передовые сварочные технологии с роботизированным промышленным оружием.

Проект будет первым в мире применением 3D-технологий в сфере крупных инженерных металлических изделий. Очевидно, что в данном случае технологии аддитивного производства заменят целый комплекс существующих промышленных и инфраструктурных технологий, включая те же прессы, токарные станки и множество других машин и оборудования. Возможно, остаётся немного подождать до того момента, когда 3D-технологии воспроизведут Эйфелеву или Останкинскую башню.

В начале августа 2015 г. Федеральное агентство по лекарствам США одобрило и выдало лицензию на производство лекарства против эпилепсии, произведённое на основе 3D-технологий. Компания «Апресиа фармацевтиклз» (*Apprecia Pharmaceuticals*) разработала пористую субстанцию, растворимую в воде, для пациентов, имеющих проблемы с глотанием, и для детей. Препарат под названием *Spritam*, или *Levetiracetam*, который уже давно присутствует на рынке в других форматах, оказался первым, изготовленным с помощью 3D-принтинга и одобренным государственной администрацией США [9].

Перспективные направления развития 3D-технологий в США представлены в табл. 3.

Появляются первые жертвы аддитивного производства среди компаний традиционного машиностроения. Легендарный американский «Кольт», фирма с 179-летней историей, которая прославилась тем, что создала «оружие, завоевавшее Запад», знаменитый револьвер, а также винтовки М4 и М16, инициировала процедуру банкротства после того, как кредиторы отвергли план реструктуризации долга.

Среди причин, за счёт которых у фирмы возникли проблемы с потоком ликвидности для обслуживания долгов, менеджеры называют сокращение спроса из-за отсрочки в поставках оружия в армию США, а также другие «негативные тренды» [16], среди которых можно предположить появление технологии производства пистолетов из металла ещё в ноябре 2013 г. [11]. Тогда Лос-Анджелесская инженеринговая компания сообщила, что ей удалось впервые в мире воспроизвести с помощью 3D-технологий пистолет образца 1911 г., который успешно прошёл стрельбовые тесты. Пистолет состоит из 30 напечатанных компонентов.

Таблица 3

**Перспективные сферы распространения 3D-технологий
в промышленности США**

Отрасль	Возможности
Автомобильное и промышленное производство	• Консолидация многих компонентов в единый комплекс; • Создание инструментов для производства; • Производство запасных частей и компонентов; • Создание прототипов.
Авиакосмическая промышленность	• Создание частей сложной геометрической формы, появление которых не представляется возможным в «традиционном» производстве (контроль плотности, жесткости и других свойств материала части; создание легких частей).
Фармацевтическая промышленность/Здравоохранение	• Планирование хирургической операции с помощью точных анатомических моделей на основе КТ или МРТ; • Разработка ортопедических имплантатов и протезов; • Использование 3D-печатных моделей человека для медицинского обучения; • Биопечать живых тканей для тестирования при разработке лекарственных средства.
Розничная торговля	• Создание игрушек, ювелирных изделий, игр, предметов домашнего интерьера и других изделий.
Спорт	• Создание защитного снаряжения для удобства и безопасности; • Создание пластины с шипами для футбольной обуви, основанной на биомеханических характеристиках; • Создание многоцветных и мульти-материальных прототипов для тестирования продукции.

[12].

Развитие аддитивного производства вызовет сокращение устаревших технологических методов, а это будет иметь положительный эффект и в других областях. Изготовление протезов для пациентов, муляжей и макетов органов

для подготовки врачей к ответственным операциям позволит улучшить качество медицины и снизить многие риски, связанные с хирургией.

Таким образом, экономический эффект от применения 3D-оборудования будет достигнут в разных областях промышленности благодаря следующим преимуществам 3D-технологий:

- высокая точность печати;
- снижение себестоимости производства модели за счёт использования недорогих порошкообразных материалов;
- надёжность, высокая скорость и большое разрешение для создания моделей с мелкими деталями;
- возможность создавать фигуры сложной формы;
- возможность одновременной печати нескольких деталей;
- возможность цветной печати и др.

Однако внедрение и широкое распространение 3D-технологий в промышленности США может оказать, по данным опросов деструктивное воздействие.

Негативный эффект может заключаться в следующем [21]:

- снижение потребности в транспорте и логистике (9,3%);
- повышение конкурса на «талант 3D-печати» (9,3%);
- ослабление экономической жизнеспособности традиционного массового производства (10,2%);
- изменение характера отношений с потребителями/конечными пользователями (13,8%);
- угроза интеллектуальной собственности (27,8%);
- реструктурирование цепочки поставок (29,6%).

Отдельное внимание следует уделить проблеме интеллектуальной собственности. Размещение свободных 3D-проектов на сайтах (*Thingiverse*, *Shapeways*), с одной стороны, способствует широкому распространению 3D-технологий. С другой – большинство конструкций не являются запатентованными, поэтому идеи могут быть легко заимствованы и неоднократно использованы другими производителями, что вызывает необходимость усовершенствовать системы правового регулирования сферы 3D-технологий.

Имеющиеся преимущества самих 3D-технологий не исключают наличия определённых недостатков, негативно сказывающихся на экологии.

Во-первых, согласно исследованию, при высокотемпературном плавлении пластика, 3D-принтеры потребляют приблизительно в 50–100 раз больше электроэнергии, чем литьё под давлением, при изготовлении детали одинакового веса [19].

Во-вторых, в соответствии с результатами исследования, 3D-принтеры могут представлять риск для здоровья при использовании в домашних условиях [1]. При нагревании пластика и печати маленьких фигурок устройства, использующие *PLA*-нить, выделяли 20 млрд. сверхтонких частиц в минуту, и *ABC* – до 200 млрд. частиц, которые могут оседать в легких.

В-третьих, одним из самых масштабных экологических движений является снижение зависимости от пластмасс, при этом самые популярные недорогие 3D-принтеры используют пластиковую нить. Следовательно, массовое внедрение 3D-печати в промышленность вызывает необходимость повторного использования переработанного пластика [29].

Итак, сейчас, точнее в последние два-три года, 3D-технологии стремительно переходят из сферы использования в качестве прототипов и игрушек, в область серьёзного промышленного применения. Технологии 3D-печати прокладывают дорогу к применению в аэрокосмической и оборонной промышленности, в частности при производстве деталей для военной авиации, при создании авиадвигателя, при разработке конструкций для коммерческой авиации и сложных деталей для комплекса вооружения.

Предпринимательский потенциал аддитивных технологий

Подобно тому, как Интернет вооружил всех жителей земли «цифровым арсеналом» – социальные сети, личные странички, «облачные» хранилища информации и пр. – наступающая эпоха 3D-технологий приводит к появлению целого сообщества «создателей», готовых привнести в повседневную жизнь свои задумки из области «физического арсенала».

Теперь изобретатели и предприниматели не должны идти на поклон к крупным компаниям, чтобы реализовать свои идеи. Понятие «фабрики» меняется. Уходят в прошлое огромные дымные заводские цеха и металлические ангары. Небольшие предприятия, способные разместиться в среднегабаритной городской квартире, выпускающие мелкосерийную продукцию, будут процветать в новом индустриальном мире.

Сообщество таких неоиндустриальных предпринимателей, овладевающих навыками «цифрового производства», получает простое, но ёмкое название – «создатели» (*makers*). В США формируется целое общественное движение «создателей», которое определяется Крисан Андерсоном, автором книги «Создатели: новая индустриальная революция» [14] по трём критериям:

- люди, использующие цифровые технологии, чтобы проектировать и размножать новые продукты;
- делящиеся своими разработками в онлайн-сообществах;
- использующие стандартные форматы файлов, которые могут быть присланы коммерческим фирмам в сфере производственного сервиса.

О важности и массовости движения «создателей» говорят следующие факты:

- 135 млн. граждан США, или 57% взрослого населения занимаются созданием новых продуктов;
- В 2013 г. венчурные капиталисты инвестировали 848 млн. долл. в стартапы по производству оборудования;
- 3 млн. человек заложили имущества более чем на 480 млн. долл. на краудсорсинговые проекты;
- К 2025 г. финансирование краудсорсинговых проектов может достигнуть 93 млрд. долларов;
- В 2014 г., молодая возникающая отрасль производства дронов невоенного назначения, возглавляемая такой компанией из числа «создателей», как «3D-роботикс» (*3DRobotics*), уже стоила 2,5 млрд. долларов ;
- два из трёх новых рабочих мест в сфере малого бизнеса появляется за счёт движения «создателей» [30].

Разумеется, между «создателями» и «производителями» сохраняются фундаментальные расхождения в плане капитала и производственных навыков. В отличие от сферы интернет-предпринимательства, которая не содержит практически никаких барьеров входа, производство, даже в незначительных объёмах, чрезвычайно дорогое и сложное предприятие. Если создатели могут обладать рецептами новых продуктов, то производители продолжают обладать средствами производства и знаниями, заставляющими их работать.

Новая индустриальная парадигма

Итак, неоиндустриальная революция делает ощутимые шаги в сторону завоевания господства, прежде всего, за счёт развития аддитивных технологий. Фактически на повестке дня стоит вопрос о смене производственной парадигмы в обрабатывающей промышленности: вместо традиционного, или субтрактивного, производственного процесса будет использоваться «аддитивное производство». Субтрактивное производство обречено потерять свои конкурентные преимущества, связанные с дроблением производственного процесса на всё более мелкие стадии и ростом производительности труда за счёт специализации применяемых труда и машин. Новая философия производственного процесса, аддитивное производство, построена на иных фундаментальных принципах. Она концентрирует и материализует интеллектуальный ресурс в ключевых областях – сам 3D-принтер с программным обеспечением плюс расходные материалы к нему – и делает ненужными всю прочую производственную инфраструктуру, разросшуюся в результате углубления разделения труда.

Существующая модель производства изделий базируется на крупномасштабных производственных предприятиях, которые связаны глобальными цепочками поставок по всему миру. 3D-технологии изменяют лицо совместного дизайна и производственного процесса, сокращают время доставки продукции до потребителей, ведут к массовой персонализации производства.

3D-принтинг заменяет целую философию тандема «дизайн-производство». Существующая отживающая система базируется на подходе «локальный дизайн – глобальное производство». Идеологи обанкротившейся концепции постиндустриальной экономики любили указывать, что развитые страны в русле так называемой экономики знаний удерживают на своей территории наиболее наукоёмкие виды деятельности – НИОКР, дизайн, управление логистикой и пр., – а собственно производство, как второсортный вид деятельности, могут рассеивать по развивающимся странам в зависимости от цен на рабочую силу, энергию и прочие компоненты инвестиционного климата. Крупнейшие транснациональные корпорации добивались таким образом сокращения удельных издержек на производство, продолжая извлекать максимальную прибыль и паразитируя на своём превосходстве в области маркетинга и управления сложноорганизованным производством с высокой степенью разделения труда.

Новая производственная парадигма, провозвестником которой является 3D-революция, разрушает всю многовековую империю «эффекта масштаба», вытесняет грандиозную систему углубления разделения труда как основу конкурентоспособности производственной деятельности. 3D-принтинг формирует новую парадигму – «глобальный дизайн – локальное производство», которая, на наш взгляд, более глубоко отражает суть интеллектуального подхода к производственной деятельности. Глобализация дизайна за счёт развития

инфокоммуникационных технологий позволяет задействовать креативный потенциал миллионов людей при разработке новых изделий с максимально подходящим для определённых потребителей дизайном в разных регионах мира. Производство же перестаёт быть сложнейшей управленческой системой, основанной на длинной технологической и логистической цепочке поставщиков и потребителей промежуточной продукции.

Кажется, что мир хочет невозможного – соединить привлекательность ремесленного производства (изготовление изделия на заказ) и преимущества массового производства. Мы сейчас фактически являемся свидетелями зарождения новой эры и новой эпохи производства: массовой кастомизации. Теперь потребитель выступает в качестве дизайнера и инженера, чьи желания могут напрямую изменять и контролировать производственный процесс.

В качестве примера можно привести американскую компанию «Либерти бутлуркс» (*Liberty Bottleworks*) по производству алюминиевых бутылок, украшенных произведениями искусства. Но это не просто алюминиевые бутылки и не просто трафаретная печать на них. «Мы печатаем на наших принтерах вещи, которые вы просто не сможете сделать традиционным способом трафаретной печати», – говорит один из основателей компании Р. Кларк. Компания предоставляет потребителям возможность самостоятельно выбрать размер, точную форму, цвет и графический рисунок будущего продукта. «Вместо того, чтобы сделать 10 тыс. бутылок для получения прибыли, теперь я могу сделать 100. Я могу сделать 10 с техническими характеристиками, необходимыми потребителям», – считает Кларк.

«Либерти бутлуркс» не единственная компания, создающая изделия с кастомизированным дизайном.

Сегодня даже такие крупные производители, как «Найк» и «Адидас», предлагают специализированные веб-порталы, которые позволяют клиентам создать персонализированный дизайн кроссовок, учитывающий эстетические и функциональные потребности покупателя.

Автопроизводители, например, «Форд», «Мазда» и «Фольксваген» позволяют потребителям создавать свои собственные автомобили, превращая тем самым водителя в инженера, реализуя возможность создать автомобиль мечты. И, что немаловажно, диапазон различных конфигураций не ограничивается только цветом, а предлагает куда больше возможностей.

Наиболее ярким примером, позволяющим говорить уже о массовой кастомизации, является компания «Гугл» (*Google*). Суть одного из проектов этой компании заключается в разработке модульного смартфона, который позволит пользователям менять не цвет корпуса и обои, а создавать устройство по собственному желанию из специальных блоков, содержащих отдельные компоненты аппарата: дисплей, процессор, память, камеру, клавиатуру, дополнительную батарею, датчики и т.д. Пользователи смогут также самостоятельно заменять неисправные модули с компонентами или обновлять свой смартфон в соответствии с тенденциями на рынке. «Это то, что мы так долго ждали», – говорит глава американской компании «3D-системс» А. Рейшенталь. – «Мы берём идею индивидуализации и реализуем её в условиях массового производства. Это яркий пример того, как производство будет выглядеть в будущем» [32].

3D-принтинг открывает новые подходы в дизайне и радикально меняет производственный процесс. Например, в известном «напечатанном» автомобиле *Urbee*, который выпустила компания «Стрэтесис», был применён револю-

ционный подход к дизайну бампера. Вместо того, чтобы использовать от 300 до 500 зажимных приспособлений и деталей, применили конструкцию «кость птицы» для её прочности, интегрировав эти несколько сотен отдельных деталей в единый узел [33]. А компания «Дженерал электрик» к 2016 г. намерена использовать в своих авиационных двигателях 19 «напечатанных» топливных форсунок. Новый дизайн форсунок консолидирует в одном производственном процессе десятки различных деталей и соответствующих процессов [5].

Важно отметить, что кастомизация и возрождающаяся культура производства малыми сериями под конкретный заказ приведут к исчезновению проблемы перепроизводства и последующей порчи (естественной или сознательной) произведенной продукции.

3D-принтеры могут разрушить старую модель за счёт скорости и снижения издержек. Товары будут производиться под индивидуальные заказы в локализованных производственных хабах. Радикально меняется система цепочек поставок. Теперь самый дальний поставщик компании-производителя может располагаться на другом конце города, а не на другой стороне планеты, чем так гордится сейчас отживающая философия субтрактивного производства.

По словам Хью Эванса из компании «3D-системс», «с 3D-принтингом любой человек где угодно сможет проектировать дизайн продукта, который будет произведён вблизи того рынка, где существует спрос». Показательно, что статья в «Индастри уик» с его интервью называется «3D-принтинг – это если бы Китай был вашим гаражом» [2].

3D-технологии обладают наиболее прорывным потенциалом для будущих бизнес-моделей в обрабатывающей промышленности за счёт формирования и разрастания программных платформ, которые будут координировать 3D-экосистемы [24].

Э. Бернштейн, президент Института промышленных исследований, и Т. Фаррингтон в статье «Приведёт ли развитие 3D-технологий к коллапсу традиционной промышленности?» в «Гарвард бизнес ревью» [15] положительно отвечают на поставленный вопрос.

Некоторые эксперты считают, что 3D-технологии являются такими же фундаментальными прорывными технологиями, изменяющими «правила игры», каковыми выступили в своё время паровой двигатель и телеграф [8].

Итак, основные факторы, способствующие революционизации производственного процесса следующие:

- физическое сближение групп, сотрудничающих в вопросах дизайна, маркетинга и производства;
- сокращение времени доставки продукции по цепям поставок;
- улучшение процесса интеграции дизайна за счёт сокращения времени на представление нового дизайна продукции;
- способность адаптироваться под потребительский спрос на непрерывно эволюционирующие продукты;
- улучшение качества взаимоотношений и более тесное взаимодействие между конечными потребителями и производителями как в сфере *B2B*, так и *B2C*.

Чрезвычайно важно, что распространение 3D-технологий будет обеспечиваться гигантским потенциалом положительных внешних эффектов, заложенных в эту производственную парадигму. Подобно тому, как современные соци-

альные интернет-сети мультиплицируют полезный эффект каждого отдельного пользователя за счёт присоединения других пользователей, так и применение 3D-принтеров будет обладать растущей отдачей по мере присоединения других производителей к сообществу дизайнеров, маркетологов и производителей. Разрастание данной сети будет неизбежно, поскольку выгоды в виде сокращения времени поставки продукта с месяцев и дней до буквально минут, повысят производительность труда на порядок и обесценят традиционную субтрактивную систему поставок. Более важно, что новая сеть позволит объединить ресурсы дизайнеров по всему миру и сможет поставлять наилучшие дизайнерские решения прямо к «вашему порогу или непосредственно на ваш стол» [16].

3D-технологии обладают неоценимым потенциалом, с точки зрения возможностей краудсорсинга. Широкая публика будет вовлекаться в процесс конструирования и отбора вариантов новой продукции, голосуя за ту или иную 3D-модель. Для существующих цепочек поставок 3D-технологии могут предоставить конечным потребителям возможность участвовать в инновационном процессе. По мере того, как снизится стоимость принтеров, а их возможности станут более понятны публике, они смогут стимулировать долгожданное предпринимательство в обрабатывающей промышленности.

Со временем сфера производства товаров будет заселена небольшими предпринимчивыми конкурентами, а это плюс для роста и глобальной оперативности американской обрабатывающей промышленности.

Малые гибкие производства будут специализироваться на отдельных аспектах разработки новой продукции в русле 3D-технологий.

Используя возможности гибкого дизайна, 3D-технологии смогут распространять спилвер-эффект от кластера к кластеру и тем самым, содействовать развитию новых кластеров. Это должно привести к резкому рывку конкурентоспособности американской обрабатывающей промышленности.

Список литературы

1. Напечатать самолет – это реально [Napechatat samolet – eto realno] [To Print an Airplane – it's Real (In Russ.)]. Available at: <http://www.innocom.ru/news/napechatat-samolet-jeto-realno.html> (accessed 11.08.2015).
2. Новости аддитивных технологий. Топ-10 компаний рынка 3D-печати, акции которых торгуются на бирже. [Novosti additivnyih tehnologiy. Top-10 kompaniy ryinka 3D-pechati, aksii kotoryih torguyutsya na birzhe. [The Additive Manufacturing News. Top-10 Companies on Stock Exchange. (in Russ.)]. Available at: <http://fea.ru/news/6134> (accessed 11.08.2015).
3. Additive Manufacturing – Statista Dossier. Statista, Inc. NY, 2015. Available at: <http://www.industryweek.com/datasheet/additive-manufacturing-industry-report> (accessed 11.08.2015).
4. Agence France-Presse. 3-D Printing Could Herald New Industrial Revolution // IndustryWeek. 29.04.2013. Available at: <http://www.industryweek.com/emerging-technologies/3-d-printing-could-herald-new-industrial-revolution> (accessed 11.08.2015).
5. Agence France-Presse. FDA Approves First 3-D Printed Drug.//IndustryWeek. 4.08.2015 Available at: <http://www.industryweek.com/technology/fda-approves-first-3-d-printed-drug> (accessed 11.08.2015).
6. Agence France-Presse. How To 3-D Print a Steel Bridge // IndustryWeek. 16.06.2015, Available at: <http://www.industryweek.com/emerging-technologies/how-3-d-print-steel-bridge> (accessed 11.08.2015).
7. Agence France-Presse. U.S. Firm Claims First 3-D Printed Metal Gun // IndustryWeek. 11.11.2013, Available at: <http://www.industryweek.com/technology/us-firm-claims-first-3-d-printed-metal-gun> (accessed 11.08.2015).
8. *Anderson Chris*. Makers: the New Industrial Revolution. NY, Crown Business, 2012. p.

9. *Atwell Cabe*. iRobot Takes Humans out of 3-D Printing Equation. Design News, 13.03.2013.
10. *D'Aveni R*. The Time to Think About the 3D Printed Future Is Now // Harvard Business Review, 06.05.2015. Available at: https://hbr.org/2015/05/the-time-to-think-about-the-3d-printed-future-is-now&cm_sp=Article-_-Links-_-Top%20of%20Page%20Recirculation (accessed 11.08.2015).
11. *Bernstein E, Farrington T*. Will 3-D Printing Cause Traditional Manufacturing to Collapse? // Harvard Business Review. 14.01.2014. Available at: <https://hbr.org/2014/01/will-3-d-printing-cause-traditional-manufacturing-to-collapse> (accessed 11.08.2015).
12. *Brewster Signe*. Formlabs Reveals the Form 1+, a Faster and More Reliable SLA 3D Printer Gigaom, 10.06.2014. Available at: <http://gigaom.com/2014/06/10/formlabs-reveals-the-form-1-a-faster-and-more-reliable-sla-3d-printer/> (accessed 11.08.2015).
13. The Dark Side of 3D Printing: 10 Things to Watch. Available at: <http://www.techrepublic.com/article/the-dark-side-of-3d-printing-10-things-to-watch/> (accessed 11.08.2015).
14. *Davidson Gavin*. How 3-D Printing Will Transform Manufacturing // IndustryWeek. 26.09.2013. Available at: <http://www.industryweek.com/emerging-technologies/how-3-d-printing-will-transform-manufacturing> (accessed 11.08.2015).
15. *Earls Alan, Baya Vinod*. The Road Ahead for 3-D Printers. Available at: <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/2014/3d-printing/features/future-3d-printing.jhtml> (accessed 11.08.2015).
16. *Hessman T*. Have it Your Way: Manufacturing in the Age of Mass Customization // IndustryWeek. 3.06.2014. Available at: <http://www.industryweek.com/technology/have-it-your-way-manufacturing-age-mass-customization?page=3> (accessed 11.08.2015).
17. *Hessman T*. Rethink Everything: 3-D Printing and the Product Design Revolution // IndustryWeek. 25.08.2014. Available at: <http://www.industryweek.com/rethink-everything?page=2> (accessed 11.08.2015).
17. The Maker Movement: Our Future Economy (An Infographic). Available at: <https://www.thegrommet.com/blog/the-maker-movement-infographic/> (accessed 11.08.2015).
18. MIT's Environmentally Benign Manufacturing Available at: <http://web.mit.edu/ebm/www/index.html> (accessed 11.08.2015).
19. Oak Ridge National Laboratory. ORNL, CINCINNATI Partner to Develop Commercial Large-Scale Additive Manufacturing System, News Release, 17.02.2014. Available at: <http://www.ornl.gov/ornl/news/news-releases/2014/ornl-cincinnati-partner-to-develop-commercial-large-scale-additive-manufacturing-system> (accessed 11.08.2015).
20. Orcutt Mike, Printing Batteries, MIT Technology Review, 25.11.2013. Available at: <http://www.technologyreview.com/demo/521956/printing-batteries/> (accessed 11.08.2015).
20. *Parker R, Kmetz K*. 3D Printing—A Transformative Opportunity for Print and Manufacturing. IDC-report, 2014. Available at: <http://webobjects.cdw.com/webobjects/media/pdf/3dprinting/IDC-report.pdf> (accessed 11.08.2015).
21. PwC and Zpryme Survey and Analysis. 2014 Disruptive Manufacturing Innovations Survey, Conducted in, February 2014.
22. RepRap Was One of the First Desktop 3-D Printers. The RepRap Concept Applies to any Machine That Can Replicate Itself, Which the RepRap 3-D Printer Can do. Available at: <http://reprap.org/wiki/RepRap> (accessed 11.08.2015).
23. Revolutionary 'Smart Wing'. Created for UAV Model Demonstrates Groundbreaking Technology, Optomec, 2006. Available at: <http://www.optomec.com/revolutionary-smart-wing-created-for-uav-model-demonstrates-groundbreaking-technology/> (accessed 11.08.2015).
24. *Semetaite Juste, CGTrader*. Is This the 3-D Printing Breakthrough We've Been Waiting For? // IndustryWeek. 2.02.2015. Available at: <http://www.industryweek.com/innovation/3-d-printing-breakthrough-weve-been-waiting?page=2> (accessed 11.08.2015).
25. Stratasys, Objet500 Connex3, How to Maximize Multi-Material and Color Possibilities, 2013.

26. 3D Printers Shown to Emit Potentially Harmful Nanosized Particles. Available at: <http://phys.org/news/2013-07-3d-printers-shown-emit-potentially.html#jCp> (accessed 11.08.2015). (accessed 11.08.2015)

27. 3-D Printing: Like Having China in Your Garage // IndustryWeek. 5.05.2015 Available at: URL: <http://www.industryweek.com/industryweek-best-plants/3-d-printing-having-china-your-garage>

28. 3D Printing Market to Grow to U.S.\$16.2 Billion in 2018. Canalys Estimates and Forecast, 2014. Available at: <http://www.canalys.com/newsroom/3d-printing-market-grow-us162-billion-2018> (accessed 11.08.2015).

29. 3-D Wiki. Available at: http://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology/ (accessed 11.08.2015).

30. The 3D-Printer Industry Is Taking Shape, With Big Implications For Product Design, Manufacturing. 30.01.2015. Available at: <http://www.printingshanghai.com/Information/Passage/Index/pid/2693.html> (accessed 11.08.2015).

31. The Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering at Harvard University. An Essential Step Toward Printing Living Tissues, News Release, 19.02.2014. Available at: <http://wyss.harvard.edu/viewpressrelease/141/> (accessed 11.08.2015).

Prospects of Additive Manufacturing Development in USA

(USA ❖ Canada Journal, 2016, No. 1, p.87-102)

Received 24.08.2015.

TOLKACHEV Sergey Aleksandrovich, Financial University under the Government of Russian Federation. 49, Leningradsky prospect, 125993, Moscow, Russian Federation (SATolkachev@fa.ru);

MOSKVITINA Ekaterina Iliyichna, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49, Leningradsky prospect, Moscow, 125993, Russian Federation (kitkat_08@mail.ru);

TSVETKOVA Tatiana Michailovna, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49, Leningradsky prospect, Moscow, 125993, Russian Federation (tanyatsvetkova1101@yandex.ru).

Acknowledgments. The article has been supported by the Government of the Russian Federation. Project *The Conditions and Drivers of the Neoindustrial Development.*

*Having considered the entrepreneurial potential of the additive technologies market the authors emphasize their increasing importance in the restructuring of production processes and consider them as the basis for the transition of industry to a new technological mode formation. The article examines the main trends in the development of additive technologies, as potential factors contributing to the increase in the competitiveness of the U.S. manufacturing. **Keywords:** additive technologies, development trends of 3D technologies, technological mode formation, neoindustrialization, 3D printing market dynamics, new industrial paradigm, mass customization.*

About authors:

TOLKACHEV Sergey Aleksandrovich, Doctor Sci. (Econ), Professor, Director of the Center of Industrial Policy;

MOSKVITINA Ekaterina Iliyichna, a student;

TSVETKOVA Tatiana Michailovna, a student.