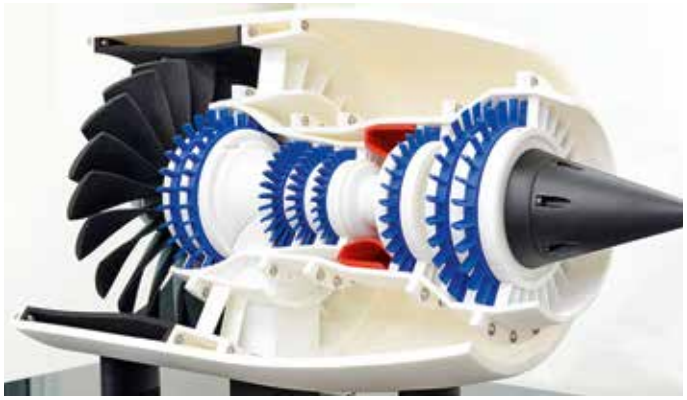


http://3dprint.com/17716/3d-printed-jet-engine/

# Трехмерная печать: из мечты в реальность

*Мировым трендом современности считается динамично развивающееся направление «цифрового» производства – аддитивные технологии (АТ), предполагающие выпуск изделий по трехмерной компьютерной модели методом послойного нанесения материала. Они вместе с нано- и оптоэлектроникой, информатикой и фотоникой, биотехнологиями, робототехникой и системами искусственного интеллекта составляют ядро шестого технологического уклада. Страны, сделавшие ставку на развитие аддитивных систем, занимают наиболее выгодные позиции в международном разделении труда. АТ обеспечивает гибкость производства, что позволяет выпускать кастомизированную продукцию и запасные части, детали технических сложных форм.*

**Андрей Комаров,**
научный сотрудник отдела исследований интеграционных процессов Центра системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси

Преимущества цифровых моделей – это возможность мгновенной передачи макета изделия практически в любую точку земного шара, что в свою очередь ведет к организации быстро масштабируемого локального производства. Еще одна особенность – близость получаемой формы к заданной характеристике, что значительно сокращает расходы материала и отходы. Исследование Европейского аэрокосмического и оборонного концерна показало, что экономия сырья при АТ может достигать 75% [1]. К тому же снижаются энергозатраты, нагрузка на окружающую среду, что позволяет считать эти технологии идеальным решением.

К уникальным возможностям следует причислить способность 3D-принтеров взаимодействовать с другими устройствами, простоту эксплуатации, создание персонального дизайна. Однако самое существенное преимущество аддитивных технологий в возможности быстрой реализации полного жизненного цикла продукта с использованием ИТ – от создания материала до готового изделия, его эксплуатации и последующей утилизации.

За прошедшие десятилетия разработано несколько процессов и систем АТ, расширились их возможности. Если первые установки в качестве сырья применяли только полимерные материалы, то современные способны производить детали из металла и керамики, композитов, термопластов, стекла и др. Этот прогресс достигнут буквально в последнее десятилетие, что значительно расширило рынок применения аддитивных технологий. Они стали востребованными в автомобильной и космической промышленности, стоматологии, фармацевтике, пищевой индустрии и даже моде. С помощью спекания материала производят инструменты, технологическую оснастку, детали двигателей, спутников, ракет, таблетки, шоколад, обувь и пр. Ученые активно работают над проблемой трехмерной печати внутренних

| Место | Страна | Доля АТ-оборудования, % |
|---|---|---|
| 1 | США | **38,0** |
| 2 | Япония | **9,7** |
| 3 | Германия | **9,4** |
| 4 | Китай | **8,7** |
| 5 | Великобритания | **4,2** |
| 6 | Италия | **3,8** |
| 7 | Франция | **3,2** |
| 8 | Республика Корея | **2,3** |
| 9 | Канада | **1,9** |
| 10 | Тайвань | **1,5** |
| 11 | Россия | **1,4** |
| | Турция | **1,4** |
| 12 | Испания | **1,3** |
| 13 | Швеция | **1,2** |
| 14 | Другие страны | **12** |

*Таблица 1. Доля АТ в ведущих странах мира*
*Составлено по данным [3]*

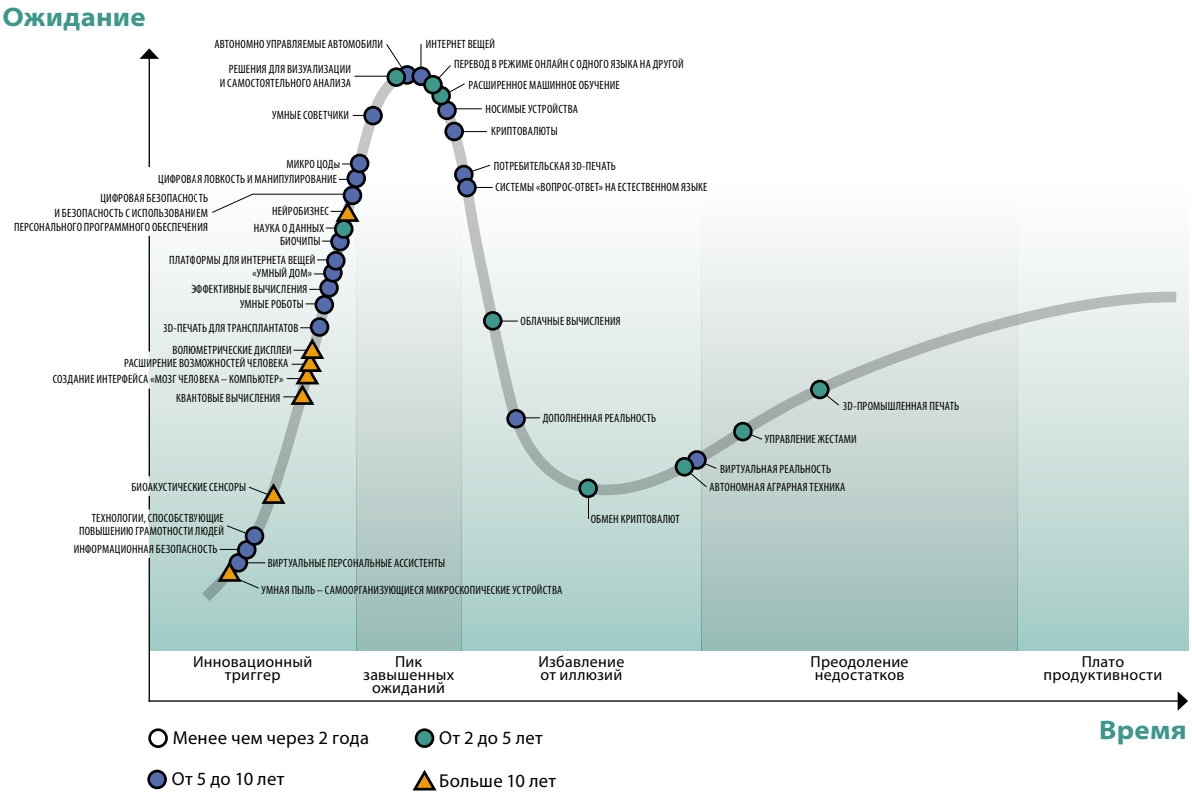



*Рис. 1. Цикл зрелости технологий по состоянию на 2015 г. [7].*

органов человека и тканей и уже имеют определенные успехи.

И все же значительную часть приложений аддитивных технологий составляют прототипирование и изготовление инструментальной оснастки, к примеру производство прессформ. Связано это прежде всего с тем, что предприятия, ориентированные на 3D-печать, используют ее возможности для доработки новой продукции как на стадии создания, так и изготовления, а также скорейшего вывода на рынок. Тем не менее сторонники АТ ограничены относительно узким набором контента, возможностями программного обеспечения, систем и устройств, материалов и услуг. В то время как у обычного производства они значительно шире.

Мировой рынок аддитивных технологий в 2014 г. составил 4,1 млрд долл. при среднем ежегодном росте в 35,2% [2]. Увеличение его объема за три года (2012–2014 гг.) составило 33,8%. Он представлен 50 крупнейшими производителями. Лидером на протяжении многих лет остаются США, которым принадлежит 38%. Затем со значительным отставанием идут Япония, Китай и Германия. Россия делит 11-е место с Турцией и занимает 1,4% рынка технологий послойного синтеза [3]. Из табл. 1 видно, что более 50% рынка принадлежит США и странам ЕС.

Несмотря на то что многие эксперты относят аддитивные технологии к прорывным и ведущим в XXI в., их влияние на мировое производство пока остается весьма скромным (рис. 1) [7].

Экосистему АТ представляют поставщики и потребители промышленного и бытового оборудования, исследовательские структуры, пытающиеся решать проблемы, препятствующие их масштабированию. Вопросы, над которыми они работают, связаны со сложностью программ проектирования, высокой стоимостью принтеров, низкой скоростью печати, ограниченным набором материалов и их функциональности. Есть другие задачи, требующие решения, – качество изделий, безопасность, управление объектами интеллектуальной собственности и данными (рис. 2).

Пока не созданы эффективные механизмы, которые защищали бы авторские разработки от пиратов. Возможно, что отрасль пойдет по пути развития платного доступа к макетам через Интернет. Подобные сервисы уже существуют, среди них: shapeways.com, matter.io, iMaterialise.com, protolabs.com.

*Рис. 2. Цели приобретения 3D-принтеров, в%*

*Источник: [2]*

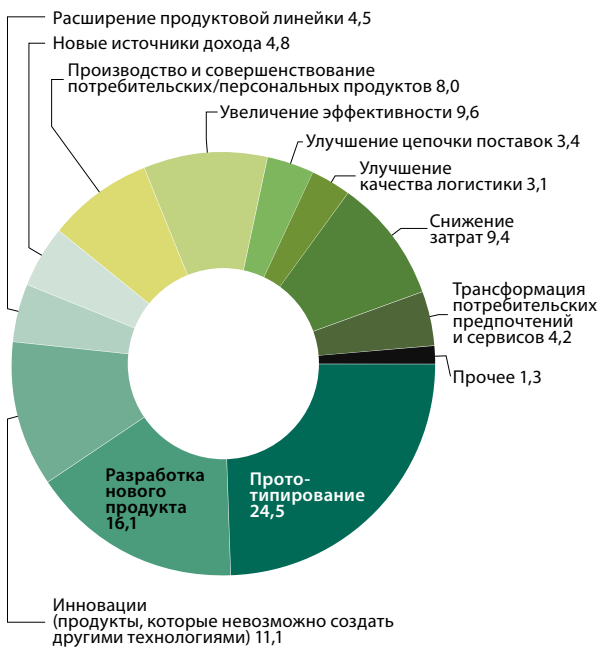


*Рис. 3 Профили патентов, выданных в секторе АТ*

*Источник: [5]*
*Графика: DUPress.com*

## Выдано

**388** выданы компаниям ТТК

**180** заявителей из **21** страны

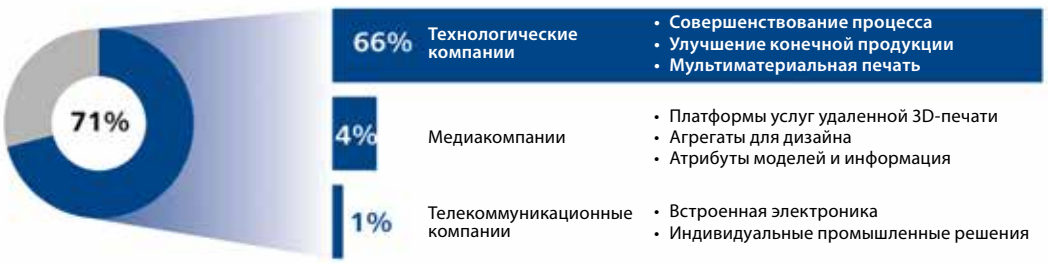
Топ 4 страны:
**53%** США
**16%** ФРГ
**9%** Япония
**5%** Израиль

**292** Выданы резидентам США

**24%** Миннесота
**16%** Ю.Каролина
**13%** Калифорния
**8%** Нью-Йорк
**6%** Массачусетс

## Сегменты выданных патентов

## Приоритетные области патентов, выданных в секторе АТ для технологических, телекоммуникационных компаний и СМИ




Индикатором развития аддитивных технологий являются патенты, рост которых в последние годы стремителен. В 2005 г. было выдано 80 патентов, касающихся АТ-систем, в 2013 г. – 600. Прибыли их владельцев в крупных компаниях Stratasys, 3D Systems, Xerox, IBM и HP превысили 800% [5, 8].

Как показывает практика, в сфере АТ доминируют НИР, связанные с расширением возможностей печати и управления данными. Более половины от общего их числа в 2011–2015 гг. занимают патенты на способ производства. Анализ текущих патентных заявок представлен компанией «Делойт», которая проанализировала 546 охранных документов, выданных Патентным ведомством США в секторе аддитивного производства. Согласно отчету, патенты на контент занимают – 6%, ПО – 10%, производственные системы и устройства – 52%, материалы – 15% и услуги – 17% (рис. 3).

Более пристальный взгляд на данные Патентного ведомства США в пяти группах – контент, услуги, материалы, устройства и способы производства, программное обеспечение в последние 4 года проливает свет на возможные события в сфере АТ [5, 8].

Контент и программное обеспечение вместе составляют 16% выданных патентов в исследуемые сроки, причем ключевое положение принадлежит ПО. Последние патенты касаются сенсорного управления и тактильного интерфейса, предполагается, что будущие программы проектирования станут более интерактивными и взаимодействующими с устройствами виртуальной реальности. В сегменте контента ключевое место занимает хранение информации, включая размеры модели, цвет, текстуру и состав материалов в 3D-форматах для файлов печати. Растет количество программных продуктов для отладки моделей, редактирования и ремонта, способных улучшить подготовку 3D-моделей к печати.

В группе «устройства и способы производства» развиваются технические решения, направленные на улучшение качества конечных продуктов: время производства, контроль температуры, уменьшение отходов, безопасность. Разработчики предлагают решения, совершенствующие отделку поверхности, прочность конструкции и ее геометрическую точность. Учитывая, что эти два сегмента составляют 71% патентов, можно ожидать, что в ближайшее время изобретатели предложат мультиматериалы и насадки для био- и гибридной печати.

Материалам принадлежит 15% патентов от общего числа. Они в основном связаны с полимерами, фотополимерами, различными композитами, такими как полиамиды, сложные полиэфиры и другие фотоотверждаемые композиции смол. Есть патенты, касающиеся токопроводящих красок, что позволит создавать интегральные схемы, датчики и устройства на подложках, а значит, расширятся возможности печатной электроники. Изменения могут коснуться растворимых материалов, направленных на улучшение качества печати и одновременно на сокращение времени изготовления изделий.

| Исследовательские фирмы | годы (млрд. долл.) | | | | | | Среднегодовой темп роста (%) | период |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2018 | 2020 | | |
| Canalys | 2,5 | 3,8 | | | 16,7 | | 45,7 | 2013-2020 |
| CCS Insight | 1,2 | | | | 4,8 | | 33,0 | 2013-2018 |
| Gartner | | | 1,6 | | 13,4 | | 103,1 | 2015-2018 |
| Wohlers | 3,1 | | | | 12,8 | 21,0 | 33,0 | 2013-2018 |

*Таблица 2. Прогноз развития рынка 3D-печати [8]*

Сегмент услуг составляет 17% от выданных патентов. Это решения, которые находят себе применение в таких областях, как аэрокосмическая, автомобильная промышленность, потребительские товары, медицинские технологии, здравоохранение, оборона и промышленность. Имеются патенты, относящиеся к управлению с удаленных площадок, к цифровому праву и шифрованию услуг, а также обслуживанию 3D-печати.

Несмотря на то что патенты на изобретения предлагают новые решения, в секторе аддитивного производства остаются трудности, связанные с их широким использованием. В их числе ограничения системы восстановления ковочного штампа, способ получения металлосплавов, пригодных для 3D-печати, а также довольно долгий процесс перехода от одного материала к другому из-за сложности чистки машины, в некоторых случаях он занимает 2–3 дня.

Российское патентное ведомство в 2015 г. выдало ряд патентов в классе МПК B33Y «Технология послойного синтеза». Среди них на способ изготовления гибридного компонента, трехмерный принтер (варианты), систему восстановления ковочного штампа, конструкцию для присоединения термоизоляционного материала к металлической конструкции трехмерного объекта, способ его получения и стереолитографическую машину, реализующую данный способ. Евразийским патентным ведомством в этот период выданы патенты на системы и способы моделирования трехмерной структуры для улучшения интерполяции максимальной непрерывности, способы изготовления объемного объекта и др., которые могут быть реализованы в стереолитографии и быстром прототипировании. Среди владельцев патентов – авторы и заявители из США и Франции. В нашей стране в 2014 г. Национальным центром интеллектуальной собственности выдан патент на способ лазерного легирования и наплавки и устройство для его осуществления. Патентовладелец – Институт молекулярной и атомной физики НАН Беларуси. Есть еще ряд охранных документов, выданных НЦИС в классах МПК B22F, C22C, B23K 26/00. Это патенты Республики Беларусь на способ лазерного спекания изделий из сферических порошковых материалов и устройств для его реализации, на способ лазерного легирования и наплавки, а также устройство для его осуществления. Полного анализа патентной активности отечественных заявителей в сфере АТ не проводилось.

Исследования глобального института «Мак-Кинси» свидетельствуют о том, что в мировом ВВП к 2025 г. АТ могут достичь роста в 50 млрд долл. в год. Другие эксперты более сдержаны в своих оценках. По данным крупнейших аналитических агентств, рост рынка АТ будет в пределах 33% (табл. 2).

По материалам недавнего исследования компании Gartner, у 37% фирм в пользовании находится по одному 3D-принтеру, у 18% – 10 и более, сред-

нее число – 5,4. Среди отраслей, где АТ наиболее интенсивно используются, первое место принадлежит выпуску промышленной продукции – 19%, далее идут производство потребительских товаров – 18%, автомобильная промышленность – 17%, медицина – 14%, аэрокосмическая отрасль – 12%. По 4–5% занимают военная промышленность, архитектура и пр. [7].

Продажи 3D-систем для проектирования и производства промышленных изделий увеличились на 27% с 2013 г. по 2014 г. и составили 609,8 млн долл., для системы здравоохранения на 80% – с 71,7 до 129,3 млн долл. Вырос и потребительский сегмент в суммарном выражении – с 34,8 млн долл. до 43,8 млн долл [8].

Производители в следующие несколько лет будут стремиться к добавлению новых функций и улучшению производительности 3D-принтеров, а не к снижению цен.

Рынок АТ-установок состоит из трех сегментов. Первый – недорогие 3D-принтеры, ориентированные на создание концептуальных макетов и пригодных для эксплуатации в офисной, домашней среде. Второй сегмент – средний по стоимости – предназначен для создания прототипов деталей с различной степенью точности или функциональности. Обе эти группы, как правило, используют в качестве материала полимеры. 3D-принтеры высокого класса, составляющие третий сегмент, позволяют производить детали из полимерных, металлических и керамических материалов. Цена такого оборудования колеблется между 200 тыс. и 2 млн долл. Оно обладает высокой производительностью, на нем можно выпускать крупногабаритные детали. В мире известно более 300 брендов, которые отличаются широким многообразием оборудования и технологиями печати. К числу ведущих изготовителей АТ-систем относятся американские компании 3D Systems и ExOne, американо-израильская – Stratasys, шведская – Arcam, немецкие – EOS и Voxejet. Среди других операторов отрасли – фирмы ATI, Carpenter Technology, Concept laser, CRP Technology, Optomec, Proto Labs, Renishaw, SLM Solutions [6].

Согласно отчету компании Gartner, в 2014 г. было продано 106,7 тыс. 3D-принтеров. В 2015 г. только в Китае их было реализовано 77 тыс., что на 226% превысило аналогичный показатель предыдущего года. По мнению экспертов в 2016 г. объемы отгрузок 3D-принтеров увеличатся и составят более 496 тыс., а в период с 2016 по 2019 гг. прогнозируется ежегодное удвоение продаж.

Отчет за прошлый год указывает, что в 2014 г. 91,6% продаж приходилось на настольные 3D-принтеры и только 8,4% – на промышленные, что составило 173,3 млн долл. и 1,12 млрд долл. соответственно [4].

Самой перспективной считается авиационная промышленность, что подтверждают планы ряда крупнейшие операторов этой отрасли. К примеру, европейский концерн «Аэробус» расширяет диапазон применения технологии 3D-печати с тем, чтобы производить для новой серии самолетов индивидуальные конструкционные части и даже более крупные конструкции корпуса. В долгосрочной перспективе они надеются за счет аддитивных технологий снизить вес каждого самолета более чем на тонну.

Boeing ежегодно изготавливает 22 тыс. деталей 300 наименований для 10 военных и коммерческих самолетов. В ближайшие годы, по мнению экспертов, получит свое дальнейшее развитие производство товаров потребительского сегмента. Так, некоторые компании уже предлагают 3D-услуги и программные продукты для печати очков, в том числе и солнцезащитных. Интенсивно развивается и облачный сервис 3D-изделий. В Сети можно найти несколько миллионов различных моделей для их последующей печати на 3D-принтерах.

Анализируя имеющуюся информацию и отслеживая изменения на рынке АТ, можно представить картину будущего и то, какие научные исследования и разработки нужны и будут востребованы сегодня, а также в среднесрочной перспективе. Стоит отметить, что в 2012 г. был создан Национальный институт аддитивных технологий в Янгстоуне (США), занимающийся исключительно этим направлением. В Китае по данной тематике работает 20 исследовательских организаций и 45 университетов. В последние годы возросло количество стартапов, использующих 3D-принтеры и привлекающих финансирование посредством краудфандинга. В 22 странах образованы национальные ассоциации по АТ, объединенные в глобальный альянс GARPA. Его участники обмениваются технологиями, создают, тиражируют, продают права на использование своих шаблонов и привлекают фирмы-разработчики 3D-моделей. Образован специальный международный комитет, который утверждает все нормативные документы, касающиеся АТ.

Так что у аддитивных технологий весьма радужные перспективы, но для их организации необходимы такие слагаемые, как 3D-проектирование и моделирование, инженерный анализ и подготовка производства, технологии оцифровки и реинжиниринга, сопутствующие технологии, серьезные капиталовложения и, конечно, кадры.

## Литература


1. Additive Manufacturing Study Shows Cuts in Material Consumption and Reduced CO2 Emissions, Powder Metall Rev., (2013) http://www.ipmd.net/articles/002490.html
2. http://www.gartner.com/newsroom/id/2940117
3. Степанова Е.Ю. Аддитивные технологии как прорывные инновации ресурсосбережения 21 века Россия, Орёл, ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», http://gu-npk.ru/science/confs/2015
4. Отчет 2015 Wohlers. https://www.wohlersassociates.com/2015report
5. http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/technology-media-telecommunications/russian/ru_tmt_predictions_2015_rus.pdf
6. http://www.researchandmarkets.com/reports/3365724/global-aerospace-additive-manufacturing-market#pos-2
7. http://www.gartner.com/newsroom/id/3139118
8. http://dupress.com/articles/3d-printing-in-technology-media-telecom-tmt-industry/