

Технологии аддитивного производства как наиболее приоритетные современные цифровые технологии



М. А. Вержаковская,
к. ф.-м. н., доцент,
зам. начальника отдела
информационных систем
vma@psuti.ru



В. Ю. Аронов,
к. т. н., доцент/начальник
отдела информационных
технологий, АО «Концерн
«Автоматика» (г. Москва)
avy@ao-avtomatika.ru



В. А. Осанов,
студент
osanov97v@mail.ru

**Кафедра программного обеспечения и управления в технических системах,
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
(ПГУТИ, г. Самара)**

Данная статья посвящена проблеме внедрения аддитивных технологий в производство различных отраслей экономики РФ, подробно рассмотрены их достоинства и возможности. Проведен анализ текущего технологического потенциала России, а также исследованы трудности внедрения и применения аддитивных технологий в российском производстве. Представлены некоторые результаты применения аддитивных технологий на производстве в мире.

Ключевые слова: инновации, цифровая экономика, цифровые технологии, аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-принтер, аддитивное производство, российское производство.

С целью повышения эффективности экономической отрасли государства за счет цифровых технологий правительством России 28 июля 2017 года была принята программа развития цифровой экономики до 2024 года «Цифровая экономика Российской Федерации». Главной задачей этой программы является повышение уровня жизни населения, путем применения современных информационных технологий [1].

Сегодня мы не можем представить мир без цифровых технологий, которые совершенствуясь со скоростью света, значительно изменили и изменяют нашу жизнь. Такое стремительное развитие технологий, а также их доступность, бросает вызов предприятиям различных отраслей, заставляя их незамедлительно реагировать на появление все новых технологий в цифровом мире, выбирать наиболее эффективные и внедрять эти технологии в производство, чтобы

оставаться конкурентоспособными. Во всем мире практически не осталось ни одной сферы деятельности человека, которая не обходилась бы без применения современных цифровых технологий. Одной из наиболее приоритетных современных цифровых технологий является технология аддитивного производства.

Что же такое аддитивные технологии? Свою историю аддитивные технологии начинают в 1980-е гг., когда у инженеров появилась необходимость в создании быстрого прототипа своей идеи в виде наглядного представления, детального изучения и выявления недостатков. Идея аддитивного производства заключается в создании 3D-модели объекта, затем разделении модели на отдельные детали и слои, после чего изготовлении необходимой детали на специальном оборудовании — 3D-принтере (рис. 1).

Таким образом аддитивное производство — это создание объектов, путем послойного добавления ма-



Рис. 1. Схема аддитивного производства

Различия в традиционном и аддитивном производстве

Вид производства	Разработка продукта	Тип производства	Готовая продукция
Традиционное производство	Традиционная разработка	Традиционные технологии	Долго, дорого, не исключен человеческий фактор, низкая точность
Быстрое прототипирование	Цифровое проектирование	Традиционные технологии	Быстрый выход на рынок, дешевле, ограничен традиционными технологиями
Цифровое производство	Цифровое проектирование	Аддитивное производство	Исключение ошибок, быстрый выход на рынок, уникальная геометрия, низкая стоимость

териалов, с использованием данных компьютерного автоматизированного проектирования (САПР). Это исключительно новые технологии, отличающиеся от тех, которые использовались в XX веке. Принципиальное отличие аддитивных технологий заключается именно в послышном наращивании, в то время как в традиционных технологиях принято удалять ненужные части материала из заготовки методом механической обработки.

Технология аддитивного производства имеет множество преимуществ по сравнению с другими технологиями. Одними из самых главных достоинств является быстрота, экономия и качество изделия (табл. 1). Нет необходимости выполнять лишние этапы традиционного производства, тем самым уменьшаются время изготовления и затраты на материалы, при этом качество и надежность изделия остаются прежними.

Аддитивные технологии, позволяют собирать из специальной порошковой композиции необходимую деталь, а ключевым моментом является выход уже готового изделия. Производительность увеличивается в 20-30 раз по сравнению с традиционными технологиями. Еще одно важное достоинства аддитивных технологий, о котором необходимо упомянуть, это экологически чистое производство не загрязняющее окружающую среду.

Однако самым главным преимуществом аддитивной технологии является возможность создания геометрически сложных объектов в кратчайшие сроки, которые невозможно изготовить традиционными технологиями литья, штамповки и т.д. Именно это преимущество вызывает у производителей особый интерес.

Также 3D-технология позволяет производить обратную разработку, т. е. при помощи 3D-сканера можно отсканировать деталь и получить ее цифровую модель, которая дает точную информацию о детали, и в случае необходимости позволяет доработать ее.

Аддитивное производство получило широкое применение в различных областях экономики по всему миру (рис. 2) [2]. Сегодня с помощью этой технологии изготавливаются любые изделия, такие как кухонная утварь, ювелирные украшения или имплантат, все зависит только от выбора материала для изготовления.

Аддитивные технологии можно успешно применять даже в таком, казалось бы, трудоемком производстве, как ракетостроении. Используя самый большой металлический 3D-принтер, американская компания Relativity Space, печатает 95% деталей для двигателя ракеты. Необходимо отметить тот факт, что успешные испытания проходят около 100 напечатанных деталей. Применение технологии в производстве позволило

компаниям сократить сроки изготовления детали и число рабочих на предприятии. Так же стало известно, что компания участвует в программе создания на Марсе производственной базы по выпуску ракет [3].

В России аддитивные технологии в ракетостроении будут использоваться для изготовления жидкостных двигателей. Об этом было официально объявлено после успешных испытаний камеры двигателя 14Д23, напечатанной на 3D-принтере [4]. На создание смеси-головки камеры, которая изготавливается с помощью аддитивных технологий как единая цельная деталь уходит примерно около 80 часов, в то время как традиционные технологии изготавливают эту деталь из более чем 200 элементов, вследствие чего увеличивается время производства. Этот пример наглядно демонстрирует достоинства применения аддитивных технологий в производстве ракет, а именно возможность в разы сократить время изготовления сложных деталей.

Загрязнение вод мирового океана выбросами нефти является одной из самых важных экологических проблем нашей планеты. Профессор Y. Chen при помощи аддитивных технологий смог решить эту проблему, напечатав на 3D-принтере особую структуру (аналог микроструктуры листьев бразильского папоротника) [5], которая может отделять масло от воды, поглощая нефть (рис. 3). Так что можно с уверенностью сказать, что эта технология не только не загрязняет окружающую среду, но и участвует в процессе ее очищения.

Одной из актуальных проблем для ученых — исследователей в области робототехники, является проблема мягкого восприятия. Суть проблемы заключается в создании устройств, которые могут двигаться по



Рис. 2. Использование аддитивных технологий в различных отраслях



Рис. 3. Напечатанная структура плавающих листьев бразильского папоротника [5]

математически рассчитываемой траектории, в то время как жесткие устройства, хоть и могут сгибаться и разгибаться, все же двигаются только вокруг одной оси. Аддитивные технологии позволили напечатать датчики для так называемых мягких роботов [6]. Учеными из Гарвардского университета был разработан состав специальных чернил для 3D-печати с ограниченной ионной жидкостью. Эти датчики позволяют роботам реагировать на различные рода внешние воздействия: движения, прикосновения, давление и изменение температуры.

Очень эффективным оказалось применение аддитивных технологий в медицине. Результатом применения этой технологии являются печать прототипов органов, протезов, имплантатов, стоматологических моделей. Последними достижениями аддитивного производства в медицинской отрасли является напечатанные на 3D-принтере сердце на чипе и яичники. Сердце позволит производить всевозможные исследования, не подвергая людей и животных риску. Яичники оказались вполне функциональными и уже помогли бесплодным родителям, которые уже потеряли всякую надежду, зачать ребенка. Оба примера доказывают эффективность применения аддитивных технологий как в исследовательской (сердце на чипе), так и в практической медицине [7]. Создание функциональных 3D-модели органов человека — биопечать сейчас находятся на стадии разработки. Все инновации аддитивных технологий в медицине разрабатываются за границей и еще не доступны российской медицине. В России эту технологию используют в большей степени в стоматологии и для изготовления 3D-протезов.



Рис. 4. Доля аддитивного производства в ведущих странах мира

Наиболее популярной сферой применения аддитивных технологий являются потребительские товары. Примером может послужить 3D-печать кроссовок компании «Nike». Благодаря возможности изготовления спортивной обуви учитывая все особенности и пожелания клиента, в том числе дизайн [8].

Это отнюдь далеко не все достижения аддитивных технологий. Благодаря своим возможностям аддитивные технологии получили широкое применение во всем мире. Лидером в использовании аддитивных технологий в различных отраслях производства является США.

На сегодняшний день, по последним данным, объем рынка аддитивных технологий превышает \$5 млрд, а по оценке экспертов к 2025 г. объем инвестиций увеличится до \$21 млрд. Ежегодные темпы роста рынка аддитивных технологий составляют 15%. Россия отстает от остальных мировых стран по масштабам применения аддитивных технологий на производстве, на долю РФ приходится только 1% от мирового рынка аддитивных технологий [9]. Доля аддитивного производства в ведущих странах мира представлена на рис. 4 [2].

Вследствие всего вышесказанного появляется острая необходимость внедрения этой современной и популярной технологии на производстве все большего количества предприятий России, как государственного, так и частного сектора. Однако следует заметить, что внедрение и применение аддитивных технологий таит в себе немало трудностей и проблем, но которые вполне можно решить.

Самой главной проблемой внедрения технологий являются кадры. В мире насчитывается всего около 120 учебных заведения готовящих специалистов в сфере аддитивных технологий, из которых только 10 приходятся на Россию [10]. Поэтому вопрос подготовки профессиональных специалистов в сфере аддитивного производства является острым и актуальным. В ходе обучения студенты изучают трехмерное моделирование, компьютерное проектирование, технологию 3D-сканирования, устройство и принцип работы 3D-принтеров, получают навыки работы со станками с ЧПУ. После окончания университета студенты становятся техниками-технологами и могут работать в различных направлениях.

Первым звеном на пути разрешения этой проблемы стал центр аддитивных технологий, организованный в 2013 г. на базе Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, который сегодня является одним из крупнейших в России и Европе. Центр один из первых в РФ стал заниматься созданием сложных объектов на 3D-принтере, из специальных порошковых композиций. Эти порошки являются той самой основой, важным и необходимым материалом, для создается необходимых изделий. Именно в этом центре, впервые в стране, были изготовлены турбинные лопатки, завихритель воздушного потока и опоры перспективного вертолетного двигателя из титановых порошков. Из этого же титанового порошка был изготовлен протез тазобедренного сустава, на основе сформированной 3D-модели костей [11].

Для решения проблемы подготовки специалистов в 2015 г., на базе центра аддитивных технологий, Санкт-



Рис. 5. Три модели принтеров компании Picaso 3D, слева направо: Picaso 3D Builder, Picaso 3D Designer и Picaso Designer Pro 250

Петербургского политехнического университета Петра Великого и МГТУ им. Н. Э. Баумана, а также института авиационных материалов, был создан научно-производственный консорциум «Новые материалы и аддитивные технологии» [12]. Объединив в себе возможности, ресурсы и потенциал вышеупомянутых учебных заведений, консорциум позволяет заниматься развитием технологий изготовления новых материалов для 3D-печати и внедрением аддитивных технологий во все сферы экономики РФ.

Одной из немаловажных проблем внедрения аддитивных технологий в России является производство 3D-оборудования, изготовление материалов необходимых для трехмерной печати. На данный момент ученые России вынуждены большую часть товаров и оборудования для аддитивных технологий закупать за рубежом, преимущественно в Германии и Англии.

Лидерами по производству 3D-принтеров в России являются Picaso 3D, Magnum, MZ3D, Импринта и 3Dquality. Компания Picaso 3D является, так сказать, лидером из лидеров по объему производства 3D-принтеров. В процессе изготовления принтеров использует всего лишь 20% зарубежных составляющих компонентов, остальные 80% выпускаются в России, в том числе и материнская плата для принтера, которая полностью разработана и производится в Зеленограде. На данный момент, после признания качества продукции компании за рубежом, в ходе различных международных выставок, география продажи 3D-принтеров компании Picaso 3D значительно вышла

за пределы РФ. За время работы компании с 2011 г., было разработано и выпущено три основных модели принтеров, представленных на рис. 5 [13].

Относительно молодая компания 3Dquality, помимо производства коммерческих принтеров, занимается также выпуском mini принтеров. В процессе изготовления используется 75% российских деталей и только 25% зарубежных. Одним из главных достижений данной компании стала разработка русифицированного экрана управления.

Самые «отечественные» принтеры изготавливает компания Magnum, которая в процессе производства использует исключительно российские детали. К примеру, модули-индикаторы компания закупает у российской фирмы МЭЛТ, остальные детали компания Magnum изготавливает самостоятельно. Главная особенность принтеров компании Magnum — это возможность работы с любыми материалами. Рабочая температура принтера достигает 310°C, благодаря высокотемпературному экструдеру, что позволяет ему создавать объекты из самых различных видов пластика (рис. 6).

В ходе исследования проведенного маркетинговой компанией DISCOVERY Research Group осенью 2017 г., было сделано заключение о том, что доля импорта 3D-оборудования в России сокращается с каждым годом, при этом объем производства российской продукции увеличивается (рис. 7) [14].

В результате ведения секционной политики Европы в отношении России отечественные производители



Рис. 6. 3D-принтер компании Magnum, в трех различных комплектациях, слева направо: Magnum Creative 2 PLA, 2 UNI, 2 PRO [13]

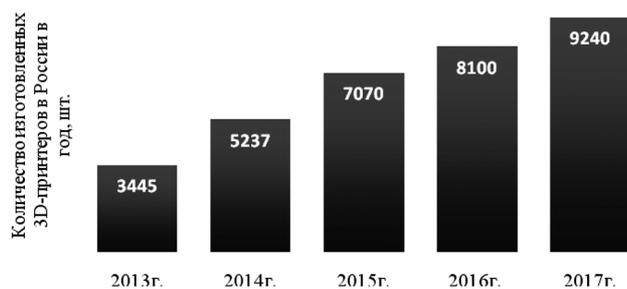


Рис. 7. Объем производства 3D-принтеров в России в натуральном выражении

здумались о производстве порошковых композиций. В случае если поставки прекратятся, все производство просто выйдет из строя, к тому же эти порошки стоят весьма недешево.

Передовым производителем материалов для трехмерной печати стал Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ). Некоторые их порошки уже используются на производстве, к примеру, на пермском заводе «Авиадвигатель» их используют при изготовлении гребешков бандажных полок лопаток. Однако производство порошков в лабораториях ВИАМ не сможет покрыть все более возрастающий спрос в отечественных порошках. Ситуация так же осложняется и многообразием порошков для 3D-принтеров. В результате появляется острая необходимость в создании специализированных заводов для производства порошков для 3D-печати в России.

Но аддитивные технологии требуют разработки не только материалов нового поколения, но и всей нормативной документации, а также методов контроля. Традиционными методами контроля качества детали, которые сейчас есть в промышленности, невозможно проконтролировать деталь, изготовленную по аддитивным технологиям.

Трудностей, с которыми сегодня сталкивается Россия в процессе внедрения аддитивных технологий на производстве, весьма сложны, но их решение необходимо для дальнейшего развития страны и успешного перехода к цифровой экономике. Несмотря на значительные успехи в решении некоторых проблем до больших побед России еще далеко. Предстоит очень много трудной работы, поэтому поддержка государства на данном этапе очень необходима.

Решение проблем внедрения аддитивных технологий является приоритетной задачей для государства. Эти технологии с успехом могут применяться в оборонно-промышленном комплексе, автомобильном машиностроении, энергетическом, авиационном и судостроении, медицинской, нефтегазовой, энергетической, аэрокосмической, авиационной промышленности. Они позволят повысить эффективность работы предприятия любой сферы экономики, а именно сократить время изготовления новых сложных деталей, снизить издержки и себестоимость, увеличить прибыли предприятия. Это окажет благоприятное влияние на развитие всей страны, поможет развитию промышленности и выходу на новую стадию индустриального развития.

Список использованных источников

1. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение Правительства от 28 июля 2017 г. № 1632-р//Собрание законодательства РФ. 2017. № 32. Ст. 5138.
2. L. N. Sharon. Ford. Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness. Journal of International Commerce & Economics. https://www.usitc.gov/journals/Vol_VI_Article4_Additive_Manufacturing_Technology.pdf.
3. Компания Relativity Space планирует печатать ракеты на Марсе с помощью гигантского 3D-принтера. 3D TODAY. <http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-company-relativity-space-planning-to-print-the-rocket-on-mars-usin>.
4. При производстве ракетных двигателей в России будет применяться 3D-печать. 3D News Daily Digital Digest. <https://3dnews.ru/966285>.
5. Природный способ очистки нефти от воды//Аддитивные технологии. 2018. № 2. С. 7-8.
6. Ученые напечатали на 3D-принтере мягких роботов со встроенными сенсорами. 3D PULSF. <http://www.3dpulse.ru/news/roboty/uchenye-napechatali-na-3d-printere-myagkih-robotov-s-vstroennymi-sensoram>.
7. Применение технологий быстрого прототипирования в медицине//Аддитивные технологии. 2018. № 2. С. 36-38.
8. Д. Кузнецов. Adidas и Nike будут печатать обувь на 3D-принтере в присутствии клиента. Российская Газета – Digital. <https://rg.ru/2015/10/12/shoes-site.html>.
9. А. Волостнов. Frost & Sullivan: технологии аддитивного производства – рынок, тенденции и перспективы до 2025 г. Frost & Sullivan. <https://ww2.frost.com/news/press-releases/frost-sullivan-tehnologii-additivnogo-proizvodstva-rynok-tendencii-i-perspektivy-do-2025-g>.
10. Новая специальность – «Аддитивные технологии». ОГАПОБ «Белгородский индустриальный колледж». <https://bincol.ru/home/novosti/670-novaya-spetsialnost-additivnye-tehnologii>.
11. 3D-печать в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. 3D PULSF. <http://www.3dpulse.ru/news/nauchnye-razrabotki-tehnologii/3d-pechat-v-sankt-peterburgskom-politehnicheskom-universitete-petra-velikogo/#>.
12. ВИАМ: конференция по аддитивным технологиям. Ассоциация государственных научных центров «Наука». <http://agnc.ru/news/7678>.
13. Ведущие российские производители 3D-принтеров: обзор и немного статистики. TJournal. <https://tjournal.ru/29434-vedushchie-rossiyskie-proizvoditeli-3d-printerov-obzor-i-nemnogo-statistiki>.
14. DISCOVERY Research Group. Анализ рынка 3D-принтеров в России. РосБизнесКонсалтинг. <https://marketing.rbc.ru/research/27078>.

Additive production technologies as the most priority modern digital technologies

M. A. Verzhakovskaya, candidate of physico-mathematical sciences, associate professor, deputy head of the information systems department.

V. Yu. Aronov, candidate of engineering sciences, associate professor/ head of the department of information technologies, joint stock company «Concern «Avtomatika» (Moscow).

V. A. Osanov, student.

(Software and management in technical systems department, Povolzhskystate university of telecommunications and informatics) (PSUTI, Samara))

This article is devoted to the problem of additive technologies introduction at the production in the Russian economy various sectors. Their advantages and opportunities are discussed in detail. The current technological potential in Russia analysis is carried out. The introducing difficulties and applying additive technologies in Russian production are investigated. Some results of additive technologies application at the production in the world are presented.

Keywords: innovations, digital economy, digital technologies, additive technologies, 3D-printing, 3D-printer, additive production, russian production.