

## АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Дубинина М.Г.

*Статья посвящена анализу современного состояния и перспектив развития аддитивных технологий в России и за рубежом. Проведено исследование рынка аддитивного производства, используемых для 3D-печати материалов, рассмотрены преимущества и недостатки этого вида производства.*

doi: 10.20537/mce2023econ08

**Введение.** Аддитивное производство (Additive Manufacturing, AM) представляет собой процесс послойного соединения материалов для изготовления деталей на основе данных 3D-моделей [1]. За годы своего существования эта технология перешла от печати прототипов к созданию готовой продукции. Доля готовой продукции в общей валовой добавленной стоимости AM выросла с 3.9% в 2003 г. до 38.3% в 2021 г. [1]. Эта технология позволяет быстро и относительно дешево создавать пользовательские объекты по индивидуальным характеристикам, а напечатанные продукты можно использовать в самых разных отраслях промышленности, в строительстве и медицине.

Важность аддитивных технологий была особенно наглядна в период пандемии коронавируса, когда из-за введенных ограничений по всему миру оказались разорваны цепочки поставок, в связи с чем традиционное производство не могло удовлетворить резкий спрос на медицинские изделия, жизненно важное испытательное оборудование и другие срочно необходимые продукты и материалы. В этот период для решения проблемы были использованы возможности AM. Некоторые компании предложили печатать промышленные запчасти по сниженным ценам или даже бесплатно для компаний, столкнувшихся с дефицитом поставок из-за COVID-19 [2]. Недостатки международных цепочек поставок и размещения производства в странах с низкой заработной платой, выявленные в период пандемии, показали необходимость модификации производства с использованием аддитивных технологий. Однако это требует

значительных инвестиций как в АМ, так и в предшествующие и последующие процессы [3].

**Рынок аддитивного производства.** Первые 3D-принтеры начали появляться в 1980-х гг. под термином «быстрое прототипирование» (rapid prototyping). На современном этапе развивается концепция аддитивных технологий 2.0, которая заключается в переходе от прототипирования и создания уникальных моделей в единичном экземпляре к мелкосерийному и серийному производству.

Рынок АМ за период 1995–2021 гг., по данным отчетов Wohlers, вырос более чем в 32 раза (с 471 млн долл. в 1995 г. до почти 15.3 млрд долл. в 2021 г., ожидается, что за счет увеличения выпускаемой с помощью 3D-принтеров продукции рынок 3D-печати к 2029 г. увеличится в 10 раз [4].

В США и Западной Европе идет активное создание фабрик 3D-печати, на которых собраны десятки 3D-принтеров, работающих по разным технологиям («3D print farm») [5]. В Китае в 2018 г. запущена фабрика, на которой установлено 12 больших 3D-принтеров, с их помощью за год можно напечатать продукции в 5 раз больше аналогичного по размеру металлургического завода [6].

В 2021 г. на экспорт было поставлено более 2.2 млн 3D-принтеров [7]. Все более популярными становятся принтеры, работающие со смешанными материалами, что делает их применимыми в нескольких направлениях конечного использования. Доля промышленных 3D принтеров в общей стоимости 3D принтеров в 2021 г. составила более 70%, хотя в количественном выражении в 2018 г. она не превышала 3.3%. Это связано с гораздо более высокой стоимостью промышленных 3D принтеров по сравнению с настольными, хотя в последние годы их цена снизилась в несколько раз (по оценкам компании Ultimaker, средняя цена промышленного 3D принтера в 2021 г. превышала 10 тыс. долл. [8]).

В структуре добавленной стоимости аддитивного производства по отраслям экономики в 2019 г. большая доля приходилась на производство электроники и прочих потребительских товаров (24%), на автомобильную промышленность (17%) и медицину (15%) (рис. 1). К 2025 г. прогнозируется активный рост мировых разработок и внедрения

аддитивных технологий в авиакосмической и оборонной отраслях, электронике и автомобильной промышленности.



**Рис. 1.** Структура аддитивного производства по отраслям экономики в 2019 г. Источник: [4].

В автомобильной промышленности 3D-печать в основном использует два основных вида материалов — полимерные и металлические. Аддитивное производство на основе полимеров конкурирует с традиционными методами производства (литье под давлением), а 3D-печать металлом сравнима с обработкой на станках с ЧПУ. В 2018 г. на долю полимеров (это фотополимеры, полиуретаны, поликарбонатные смолы, полиамидные смолы, АБС и др.) приходилось более 61% материалов, используемых в АМ, на долю металлов — 29%, керамики — 7%, песка и воска — 2% [4]. В 2021 г., по данным [7], в структуре используемых материалов по-прежнему лидировали полимеры (64.5%), более 30% приходилось на металлические материалы и 5.2% — на керамику.

Металлические материалы (например, титан) пользуются особым спросом в аэрокосмической и автомобильной промышленности. Рынок

3D-печати металлом развивается быстрее, чем любой другой сегмент. В 2019 г. рынок аддитивного производства из металлов оценивался примерно в 2.23 млрд долл., в 2020 г. его стоимость практически не изменилась (примерно 2.24 млрд долл.). В 2021 г. рынок этих видов 3D-печати вырос на 16.2%, но остался ниже среднего показателя по отрасли (19%) [9].

В структуре добавленной стоимости АМ в аэрокосмической промышленности, по данным компании Apollo Research, в 2022 г. 63.7% приходилось на компоненты двигателя, 27.9% — на структурные компоненты и 8.3% — на прочие конечные продукты.

3D-печать металлом уже стала для ряда компаний незаменимым инструментом, она используется для производства самых разных продуктов — от топливных форсунок реактивных двигателей до автомобильных компонентов. Так, например, компания Airbus использует 3D-печать не только для прототипирования, но и для изготовления деталей для моделей своих самолетов (A350 XWB, A300/A310), спутника Atlantic Bird 7, БПЛА Atlante и THOR. По мнению инженеров компании, использование аддитивного производства позволяет снизить массу деталей (до 50%), сократить потребление энергии (до 90%) и сроки доставки (до 75%), упростить сборку за счет уменьшения количества деталей [10].

Компания Boeing в настоящее время произвела более 200 различных деталей для 10 авиационных платформ, а также использовала около 20 тыс. деталей, изготовленных с помощью 3D-печати, для военных и коммерческих самолетов, в том числе 32 различных компонента для самолетов 787 Dreamliner [11]. Компания запустила свой спутник SES-15, включающий более 50 компонентов 3D-печати [12].

**Преимущества и недостатки АМ.** В сочетании с другими технологиями цифрового производства (обработка с ЧПУ, малосерийное литье под давлением), а также благодаря цифровым цепочкам поставок и умным фабрикам, технология АМ формирует новый производственный ландшафт. Отличительная черта аддитивных технологий в том, что весь процесс, от проектирования до изготовления конечного продукта, является цифровым. Аддитивное производство, передовая промышленная робототехника и промышленный интернет вещей лежат в основе индустрии 4.0. В настоящее время развивается комбинация процессов 3D-печати с промышленными роботами, которая призвана удовлетворить растущую

потребность производителей в массовом и точном создании больших объектов, а также в автоматизации производственного процесса.

По сравнению с традиционными подходами к производству технологии АМ обладают следующими преимуществами: они способны генерировать практически любую трехмерную форму, что дает возможность создавать детали, которые работают лучше или стоят дешевле, чем обычные; для них отсутствует необходимость пресс-форм или стационарных инструментов, что позволяет каждой детали, изготовленной на станке, быть уникальной, создавая возможность массовой индивидуальной настройки; с их помощью устраняются трудоемкие операции по изготовлению инструментов, ускоряется как разработка продукта, так и производство, сокращая время выхода на рынок; печать запасных деталей на 3D-принтерах рядом с производством уменьшает зависимость от поставщиков и сокращает время поставки; упрощается техническое обслуживание, уменьшается потребность в складских запасах.

В то же время существуют и недостатки, задерживающие распространение АМ. К ним относят: низкую скорость производства и ограниченный размер продукции; сложность интеграции в производственные рабочие процессы; зависимость программного обеспечения от конкретного поставщика, ограниченность интеграции между различными машинами и системами управления производством; высокую стоимость материалов для обработки на аддитивном оборудовании, недостаточное количество доступных аддитивных материалов, полностью сертифицированных для АМ; отсутствие послепродажной технической поддержки; риски использования АМ в запрещенных целях, что ставит перед разработчиками задачу создания программных ограничений на печатаемые предметы [13].

Кроме того, на долю трудоемких и часто дорогостоящих этапов постобработки деталей, изготовленных с помощью АМ (удаление опорного материала, отделка поверхностей, окраска и покрытие, термообработка), в 2021 г. приходилось почти 27% их стоимости [14].

При всех преимуществах аддитивное производство никогда не стремилось занять место классического метода, его применение позволяет расширить технологические возможности производства, обеспечить экономическую эффективность и увеличить производственные мощности в различных отраслях промышленности.

**Аддитивное производство в России.** Рынок 3D-печати в России за последние 4 года вырос в 1.8 раза (с 2 млрд руб. в 2017 г. до 3.56 млрд руб. в 2020 г. [15]). До недавнего времени Россия занимала 11-е место в мире по использованию 3D-печати, ее доля на мировом рынке не превышала 2%. Однако в 2021 г. была принята «Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года» [16] и взят курс на широкое распространение этого вида производства. В настоящее время, в связи с введенными против нашей страны санкциями, развитие аддитивных производств становится особенно актуальным. В условиях дефицита запасных частей и отказа в их поставках зарубежными компаниями, реверс-инжиниринг и последующая 3D-печать становятся востребованным способом воспроизводства деталей. Кроме того, растет применение крупноформатной 3D-печати для изготовления оснастки, которая в дальнейшем используется в качестве литейной формы [17].

За последние годы удалось увеличить долю российских принтеров в аддитивном производстве с 4% в 2011 г. до 42% в 2019 г. В 2021 г. эта доля выросла до 46.5%, однако среди промышленных 3D-принтеров всего 6% российских (по данным на ноябрь 2021 г. [18]).

В наибольшей степени аддитивные технологии внедряются в авиакосмическую и автомобильную отрасли России: в частности, аддитивное производство связано с печатью деталей металлическими порошками. В 2020 г. на долю авиакосмической отрасли приходилось около 30% российского рынка аддитивного производства [15]. В самой отрасли в 2022 г., по оценкам Apollo Research [19], 83.3% добавленной стоимости приходилось на детали для самолетов, 15.7% — для БПЛА и 1% — для космических кораблей. Наиболее крупными потребителями 3D являются государственные компании: «Роскосмос», «Ростех», «Росатом».

**Заключение.** Аддитивные технологии открывают новые возможности для экономики и общества, они являются необходимой частью современного производства, ориентированного на экономию энергии и сырья. АМ предполагает не замену, а гибридное взаимодействие с традиционными методами производства. Степень использования аддитивных технологий в промышленности является верным индикатором индустриальной мощи государства и его инновационного развития.

Основными тенденциями рынка АМ в настоящее время являются увеличение производства деталей для конечного использования, появление новых материалов (которые позволяют производить продукты со свойствами, соответствующими или превышающими свойства

изготовленных с помощью традиционных методов), рост спроса на широкоформатные системы, особенно в 3D-печати металлом.

Широкое внедрение аддитивных процессов может привести к инновационному развитию и кардинальной трансформации традиционных секторов машиностроения России, даст толчок новым исследованиям в различных отраслях экономики, поможет преодолеть последствия введенных против страны санкций и обеспечить производство необходимыми деталями. Необходимо создать условия для развития отечественного серийного производства оборудования, порошков металлов и сплавов, цифровых технологий, программного обеспечения для построения 3D-моделей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3D printing market size. Fortune Business Insights. URL: <https://www.fortune-businessinsights.com/industry-reports/3d-printing-market-101902>
2. Kunovjanek M., Wankmüller C. An analysis of the global additive manufacturing response to the COVID-19 pandemic // *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2021. Vol. 32 No. 9, pp. 75–100.
3. The impact of the COVID-19 pandemic to the Additive Manufacturing market. URL: <https://additive-manufacturing-report.com/analysis/corona-impact/>
4. Wohlers Reports 2007-2022. URL: <https://wohlersassociates.com/product/wohlers-report-2022/>
5. Аддитивные технологии в России сегодня. Когда мы сможем печатать человеческие органы? URL: <https://habr.com/ru/post/592889/>
6. В Китае открылась самая большая в мире фабрика 3D-печати. URL: <https://hightech.fm/2018/07/25/china-print>
7. 3D Printing Market Outlook (2022–2032). URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/3d-printing-market>
8. How much does a 3D printer cost? URL: <https://ultimaker.com/learn/how-much-does-a-3d-printer-cost>
9. HUBS. 3D Printing Trend Report 2022. URL: [https://4075618.fs1.hubspotusercontentna1.net/hubfs/4075618/020%203DP%20Trend%20report%202022\\_DEF\(April%202022\).pdf](https://4075618.fs1.hubspotusercontentna1.net/hubfs/4075618/020%203DP%20Trend%20report%202022_DEF(April%202022).pdf)
10. FAST. Airbus technical magazine. January 2015. #55. URL: <https://aircraft.airbus.com/sites/g/files/jlcbta126/files/2022-04/Airbus-FAST55.pdf>

11. Debnath B., Shakur M.S., Tanjum F., Rahman M.A., Adnan Z.H. Impact of Additive Manufacturing on the Supply Chain of Aerospace Spare Parts Industry—A Review // *Logistics*, 2022. Vol. 6 (28). doi: 10.3390/logistics6020028.
12. Boeing Unveils High-Throughput Small Satellite 3d Printing Production Facility. URL: <https://3dprintingindustry.com/news/boeing-unveils-high-throughput-small-satellite-3d-printing-production-facility-207155/>
13. The mainstreaming of additive manufacturing. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-mainstreaming-of-additive-manufacturing>
14. Wohlers Associates Publishes Report on Post-Processing. URL: <https://wohlersassociates.com/press-releases/wohlers-associates-publishes-report-on-post-processing/>
15. Деловой профиль. Рынок технологий 3D-печати в России и мире: перспективы внедрения аддитивных технологий в производство. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-tekhnologiy-3d-pechati-v-rossii-i-mire-perspektivy-vnedreniya-additivnykh-tekhnologiy-v-proizv/>
16. Распоряжение Правительства РФ от 14.07.2021 N 1913-п <Об утверждении Стратегии аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года>.
17. Сорокин В. Аддитивное производство в России в новых условиях // *Аддитивные технологии*. 2022. №4. С.20–28.
18. Российский парк 3D-принтеров на ноябрь 2021 года // *Коммерсантъ Наука*, №47 от 30.11.2021, стр. 29. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/5089556>
19. Russia Aerospace 3D Printing Market Value, By Platform. URL: <https://app.statzon.com/datasets/rEZQP>

## ADDITIVE MANUFACTURING IN RUSSIA AND ABROAD

**Dubinina M.G.**

*The article is devoted to the analysis of the current state and prospects for the development of additive technologies in Russia and abroad. It was made a study of the additive manufacturing market, materials used for 3D printing, the advantages and disadvantages of this type of production are considered..*