



ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

Информационно-аналитический отчет



Санкт-Петербург

2022

Авторы:

А.А. Барданов, Д.В. Масайло, Д.В. Никитин, А.В. Саженов, А.Н. Шершнева

В настоящем информационно-аналитическом отчете представлены результаты аналитических исследований международного и российского рынка аддитивных технологий в рамках направления «Технет» НТИ. Исследованы основные сегменты, емкость, темпы роста, жизненный цикл рынка аддитивных технологий, а также его стадия зрелости. Проанализированы тренды, барьеры и риски отрасли, а также нормативно-правовое регулирование, в том числе государственные программы поддержки по НИРам и НИОКРам. Исследован национальный и международный нормативно-технологический ландшафт, основные игроки: количество, рыночные доли, описаны продукты и разработки. Проведена оценка успешных бизнес-моделей и лучших практик, в том числе инвестиций, сделок М&А и коопераций. Проведен анализ новых крупных проектов, указаны возможные причины их закрытия. Перечислены основные технологии, применяемые на рынке аддитивных технологий. Проведен анализ компаний НТИ по направлению аддитивные технологии, описаны их продукция, выручка и РИД.

На обложке – изображение, созданное на основе запроса «additive manufacturing technologies» с помощью приложения Midjourney, которое позволяет сгенерировать уникальные рисунки по фотографиям и ключевым словам с помощью нейросети.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	11
ГЛАВА 1. РЫНОК АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	16
1.1 Основные сегменты рынка аддитивных технологий.....	16
1.2 Емкость рынка аддитивных технологий	22
1.3 Темпы роста рынка аддитивных технологий.....	34
1.4 Жизненный цикл отрасли / рынка аддитивных технологий, стадия зрелости	43
1.5 Тренды рынка аддитивных технологий.....	44
1.6 Барьеры рынка аддитивных технологий.....	46
1.7 Риски рынка аддитивных технологий.....	46
ГЛАВА 2. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, В ТОМ ЧИСЛЕ АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ПО НИРАМ И НИОКРАМ ПО ИССЛЕДУЕМОЙ ОБЛАСТИ	49
2.1 Национальный и международный нормативно-технологический ландшафт.....	50
ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ИГРОКИ РЫНКА АТ: КОЛИЧЕСТВО, РЫНОЧНЫЕ ДОЛИ, ОПИСАНИЕ ПРОДУКТОВ И РАЗРАБОТОК.....	53
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА УСПЕШНЫХ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ И ЛУЧШИХ ПРАКТИК	61
4.1 Инвестиции, сделки по слияниям и поглощениям (M&A), кооперация.....	62
4.2 Новые крупные проекты: участники, планы, суммы привлеченных инвестиций.....	63
4.3 Причины закрытия неудавшихся проектов.....	65
ГЛАВА 5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА РЫНКЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	67
ГЛАВА 6. ОБЗОР КЛЮЧЕВЫХ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК В РОССИИ И МИРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БИБЛИОМЕТРИЧЕСКОГО И ПАТЕНТНОГО АНАЛИЗА, А ТАКЖЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПО КОМПАНИЯМ НТИ	68
6.1 Количество компаний НТИ.....	73
6.2 Объемы выручки от продаж продуктов и услуг компаний НТИ. Количество компаний НТИ, имеющих экспортную выручку. Объем экспортной выручки компаний НТИ.....	75
6.3 Количество прав на РИД, зарегистрированных компаниями НТИ в рамках направления «Аддитивные Технологии»	75
6.4 Количество реализуемых проектов по отдельному направлению НТИ (в рамках направления «Аддитивные Технологии»).....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82



БИБЛИОГРАФИЯ.....	83
ПРИЛОЖЕНИЕ	86



СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Основные этапы при традиционном и аддитивном производствах.....	11
Рисунок 2. Индустриальные эффекты аддитивных технологий для предприятия.....	12
Рисунок 3. Основные направления на рынке аддитивных технологий.....	13
Рисунок 4. Основные цели и задачи ГК Росатом (ООО «РусАТ») и АРАТ в части АТ.....	15
Рисунок 5. Основные цели и задачи АРАТ.....	15
Рисунок 6. Основные цели и задачи ГК Росатом (ООО «РусАТ») и АРАТ в части АТ.....	15
Рисунок 7. Основные сегменты мирового рынка АТ.....	21
Рисунок 8. Сегменты рынка аддитивных технологий в РФ.....	21
Рисунок 9. Сегменты рынка аддитивных технологий в РФ согласно данным компании «Инфолайн».....	22
Рисунок 10. Объем мирового рынка АТ в разрезе товаров и услуг, млн долл.	23
Рисунок 11. Текущее распределение сегментов мирового рынка аддитивных технологий.....	24
Рисунок 12. Распределение выпускаемых в РФ 3D-принтеров по технологиям АТ (%).....	25
Рисунок 13. Количество реализованных промышленных систем АТ, шт.....	34
Рисунок 14. Производители промышленного оборудования АТ.....	35
Рисунок 15. Распределение долей рынка крупных производителей.....	36
Рисунок 16. Региональное распределение продаж промышленного оборудования с 1988 по 2021 гг.....	37
Рисунок 17. Региональное распределение продаж промышленного оборудования за 2021 г.....	38
Рисунок 18. Динамика продаж металлических 3D-принтеров в мире.....	38
Рисунок 19. Количество проданных настольных систем 3D-печати.....	39
Рисунок 20. Количество экспортированных настольных 3D-принтеров из Китая.....	40
Рисунок 21. Прогноз мирового рынка АТ.....	40
Рисунок 22. Прогноз мирового рынка АТ от компании Desktop Metal.....	41
Рисунок 23. Прогноз мирового рынка АТ согласно информационному ресурсу Statista.....	41
Рисунок 24. Среднегодовой рост мирового рынка АТ согласно информационному ресурсу Statista.....	42
Рисунок 25. Объем продаж материалов для промышленных и настольных 3D-принтеров.....	43
Рисунок 26. Структура рынка материалов для 3D-печати.....	43
Рисунок 27. Популярность использования 3D-систем по прибыльности.....	44
Рисунок 28. Популярность технологий и производителей при расширении парка оборудования.....	44

Рисунок 29. Распределение пластиковых материалов для компаний-поставщиков услуг	45
Рисунок 30. Распределение металлических материалов для компаний-поставщиков услуг	45
Рисунок 31. Ограничивающие факторы использования 3D-печати согласно опросам Statista.....	48
Рисунок 32. Основной модельный ряд оборудования компании SLM Solutions.....	54
Рисунок 33. Основной модельный ряд оборудования компании 3D Systems по металлу	54
Рисунок 34. Основной модельный ряд оборудования компании EOS по металлу	55
Рисунок 35. Оборудование RenAM 500Q для аддитивного производства от компании Renishaw	56
Рисунок 36. Выручка наиболее известных мировых игроков рынка АТ за 2021 год	57
Рисунок 37. Основные бизнес-модели на рынке АТ	62
Рисунок 38. Финансовые затраты компании 3D Systems на R&D.....	63
Рисунок 39. Финансовые затраты компании Stratasys на R&D.....	64
Рисунок 40. Распределение публикаций в РФ и мире за 2018–2021 гг. (данные АРАТ на основе анализа в базе данных Scopus).....	69
Рисунок 41. Распределение РИД в РФ и мире (данные АРАТ на основе анализа в базе данных Scopus).....	70
Рисунок 42. Распределение направления изобретательства в РФ.....	71
Рисунок 43. Динамика выдачи охранных документов по АТ в РФ за 2017–2021 гг.....	72
Рисунок 44. Количество охранных документов у международных компаний за 2018–2021 гг.....	73

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Основные технологии и под технологии 3D-печати.....	16
Таблица 2. Динамика производства в России 3D-принтеров различных видов в 2017–2021 гг., млн руб.....	25
Таблица 3. Производители 3D-принтеров для термопластиков в РФ.....	26
Таблица 4. Производители 3D-принтеров для фотополимеров	28
Таблица 5. Динамика производства в России различных видов материалов для 3D-печати в 2017–2021 гг., млн руб.....	29
Таблица 6. Динамика импорта в РФ 3D-принтеров и сопутствующей продукции, единиц; тыс. долл.....	30
Таблица 7. Динамика импорта в РФ материалов для 3D-печати в 2017–2021 гг., кг; тыс. долл.....	31
Таблица 8. Рассчитанные показатели объема рынка услуг АТ в РФ, млн руб.....	32
Таблица 9. Сводные данные по рынку АТ в РФ в 2017–2021 гг., млн руб.	32
Таблица 10. Распределение производителей промышленных систем 3D-печати по странам	35
Таблица 11. Наиболее известные производители оборудования АТ в России.....	57
Таблица 12. Наиболее известные производители материалов для АТ в России.....	59
Таблица 13. Показатели мирового рынка АТ.....	67
Таблица 14. Ключевые слова для поиска.....	68
Таблица 15. Результаты болометрического и патентного поиска (данные АРАТ на основе анализа в базе данных Scopus).....	69
Таблица 16. Структура направлений изобретательства в России в области АТ в 2017–2022 гг.....	70
Таблица 17. Динамика выдачи охранных документов по АТ в РФ в 2017–2021 гг., единиц.....	72
Таблица 18. Количество охранных документов у международных компаний за 2018–2021 гг....	73
Таблица 19. Тендеры на выполнение услуг по изготовлению продукции методами АТ (данные АРАТ на основе анализа открытых тендеров)	76
Таблица 20. Тендеры на НИОКР в области аддитивных технологий (данные АРАТ на основе анализа открытых тендеров).....	77
Таблица 21. Основные российские производители 3D-принтеров по металлам.....	86
Таблица 22. Сводные технические характеристики российских 3D-принтеров по металлам.....	89
Таблица 23. Международный опыт создания консорциумов в области аддитивных технологий (данные АРАТ на основе анализа открытых данных в сети Интернет).	90

ОБ АВТОРАХ

А.А. Барданов – операционный директор АРАТ

Д.В. Масайло – главный эксперт по формированию дорожной карты РФ АРАТ

Д.В. Никитин – главный эксперт по реализации государственной поддержки АРАТ

А.В. Саженов – главный маркетолог-аналитик АРАТ

А.Н. Шершнева – главный эксперт по кооперации АРАТ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АТ – аддитивные технологии.

МEX – технология экструзии материала.

VPP – технология фотополимеризации в ванне.

MJT – технология струйного нанесения материала.

BJ – технология струйного нанесения связующего.

PBF – технология синтеза на подложке.

DED – технология прямого подвода энергии и материала.

FDM/FFF – моделирование методом послойного наплавления,

ЦАТ – центр аддитивных технологий.

M&A – сделки по слияниям и поглощениям компаний на рынке.

АРАТ – Ассоциация Развития Аддитивных Технологий.

ОДК – Объединённая двигателестроительная корпорация.

ДК «ТНМиВ» – Дорожная карта «технологии новых материалов и веществ».

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивное производство – направление деятельности, включающее в себя разработку и производство аддитивного оборудования, комплектующих, материалов для 3D-печати и специализированного программного обеспечения, а также оказания инжиниринговых услуг и НИОКР в сфере аддитивных технологий [1].

Актуальность применения аддитивных технологий (АТ) обусловлена возможностью с их помощью существенно сокращать время от разработки изделия до выпуска готовой продукции, снизить материалоемкость продукции, потребление энергоресурсов, а также возможностью изготовления изделий с улучшенными свойствами и сложных конструкций, которые ранее не представлялось возможным производить из-за технологических ограничений [1].

Целью данной работы является актуализация и обобщение информации по мировому и российскому рынку аддитивных технологий, выявление трендов, проведение оценок объема рынка и его прогнозных значений. В работе приводится описание основных производителей оборудования 3D-печати и материалов, а также предоставляются оценки финансовых показателей игроков рынка. Рассматриваются известные сделки M&A, приводится описание нормативно-правового регулирования и мер поддержки отрасли АТ.

Материалы данной работы могут быть использованы широким кругом организаций как дополнительный источник информации при анализе рыночной конъюнктуры, а также в рамках процессов стратегического планирования и формирования инициатив развития отрасли аддитивных технологий в Российской Федерации.

В перспективе планируется дальнейшее развитие данной работы, проведение актуализации рыночных показателей по итогам 2022 года, а также формирование реестра игроков российского рынка АТ.

В работе использовались данные из открытых источников, материалы консалтинговых компаний, государственных ведомств, различные базы данных, а также готовые исследования аналитических агентств по направлению «аддитивные технологии».

Ссылки на конкретные источники информации делаются в тексте по мере изложения материала, а их полный перечень содержится в завершающем разделе отчета.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3D-печать или «аддитивное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели [2]. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели. Фактически, 3D-печать является полной противоположностью таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка или резка (Рисунок 1), где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала («субтрактивное производство»).

Рисунок 1. Основные этапы при традиционном и аддитивном производствах

Традиционное производство



Аддитивное производство



3D-принтерами называют специальные станки с программным управлением, выполняющие построение детали аддитивным способом. Данное оборудование развивается очень быстрыми темпами, многие компании-производители инвестируют в данное направление десятки миллионов долларов, повышается производительность и сложность систем 3D-печати и т. д.

В настоящее время в 3D-печати используется широкий спектр промышленных материалов, от полимеров и металлов до керамики, и их число постоянно и быстро растет. Изначально аддитивное производство использовалось в основном для прототипирования, но теперь оно все больше применяется для производства конечных продуктов. В некоторых случаях аддитивное производство можно рассматривать как дополнение к традиционным технологиям.

Аддитивные технологии, как одно из направлений цифрового производства («Индустрия 4.0»), являются мощным инструментом для ускорения НИОКР и вывода новой продукции на рынок. Основными преимуществами внедрения аддитивных технологий в производство являются:

- гибкость в проектировании деталей, при необходимости внесения изменений в их конструкцию;
- оперативность изготовления прототипов по 3D-модели. Срок изготовления опытного прототипа как правило не превышает 14 дней;
- снижение затрат на «единовременные» инструменты и оснастку;

- относительно низкий уровень отходов (снижение вероятности появления неликвидного продукта);
- сокращение времени производственного цикла;
- сокращение количества узлов, комплектующих, требующихся при сборке конечного изделия;
- снижение стоимости жизненного цикла изделия;
- создание эксклюзивного продукта, а именно деталей со сложной конфигурацией и внутренней структурой, производство которых практически невозможно выполнить фрезерованием или методом литья. Аддитивные технологии позволяют сделать каждое изделие уникальным и адаптированным под конкретного потребителя.

Индустриальные эффекты аддитивных технологий приведены на рисунке «Индустриальные эффекты аддитивных технологий для предприятия».

Рисунок 2. Индустриальные эффекты аддитивных технологий для предприятия



Отрасль аддитивных технологий можно упрощённо разделить на следующие основные направления (Рисунок 3):

1. Разработка и производство оборудования, комплектующих: персональные и сложные промышленные 3D-принтеры, оборудование для производства материалов, вспомогательное оборудование для 3D-печати, лазеры, сканаторы и т. д.
2. Материалы для 3D-печати: специальные металлические порошки различных сплавов, проволока, пластики, полимеры, композиты и т. д.
3. Инжиниринг: проектирование деталей и их топологическая оптимизация, услуги 3D-печати, а также прочие сервисные направления деятельности.
4. Специальное программное обеспечение: ПО для моделирования, проектирования и оптимизации деталей, ПО для обеспечения процесса 3D-печати, вспомогательное ПО (сервисное обслуживание, дистанционное управление оборудованием и т. д.).

5. НИОКР: многие компании, научно-исследовательские и научно-производственные организации проводят исследования по направлению «аддитивные технологии», а также занимаются разработкой оборудования 3D-печати, материалов и т. д.

Рисунок 3. Основные направления на рынке аддитивных технологий



В настоящее время аддитивные технологии получают всё более и более широкое применение в различных сегментах рынка. По оценкам многих экспертов самыми крупными областями применения аддитивных технологий будут аэрокосмическая и оборонная промышленность, энергетика, машиностроение, автомобильная промышленность, а также медицина и строительство.

Аддитивные технологии за четыре десятилетия с момента первого о них упоминания прошли заметный путь эволюции и имеют устойчивую тенденцию к выходу на этап массовой продуктивности. Вместе с тем доля производства с использованием аддитивных технологий пока остаётся малой величиной от общего объёма промышленного производства. Так, по данным data.worldbank [3] на фоне 16,35 трлн долл., составляющих стоимостной объём мирового промышленного производства в 2021 году, весь рынок аддитивного производства в мире не превышает 15,2 млрд долл. [4]. Таким образом, доля (проникновение) аддитивных технологий в промышленности в мире составляет около 0,09%. По оценке ряда экспертов, это не может квалифицироваться как реально массовое производство, однако данный показатель (доля АТ в промышленности) по прогнозам будет увеличиваться [1; 4; 5]. Для Российской Федерации доля проникновения АТ в обрабатывающую промышленность ещё ниже и по оценкам Ассоциации Развития Аддитивных Технологий (АРАТ) составляет менее 0,01%. Это ещё раз доказывает тот факт, что аддитивные технологии в РФ развиты пока не так, как в странах-лидерах.

Следует отметить, в июле 2021 г. Правительство РФ утвердило «Стратегию развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года» [1]. При этом, по данным Минпромторга РФ, объём российского рынка аддитивных технологий (аддитивного оборудования и комплектующих, материалов для аддитивной печати, услуг и программного обеспечения) в 2020 г. составил 3,56 млрд руб.

Стратегия направлена на создание конкурентоспособной отрасли аддитивных технологий на основе развития научно-технического и кадрового потенциала, оптимизации производственных мощностей, их модернизации и технического перевооружения, создания новых технологических направлений и технологий, освоения приоритетных промышленных аддитивных технологий, а также совершенствования нормативно-правовой базы для удовлетворения потребностей

государства и иных заказчиков в современной продукции аддитивного производства.

Для реализации Стратегии необходима консолидация усилий органов государственной власти Российской Федерации, научного, научно-образовательного и предпринимательского сообществ (включая малый и средний бизнес) по формированию благоприятного правового, инвестиционного и делового климата, обеспечению необходимого технологического и кадрового потенциала [1].

Стратегия является основой для формирования и реализации государственной политики в области развития аддитивных технологий, а также для разработки и дополнения государственных программ Российской Федерации [1].

Ещё одной важнейшей инициативой Правительства РФ с точки зрения развития отрасли аддитивных технологий является дорожная карта (ДК) развития высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ» (ТНМиВ), имеющая в своём составе продуктовое направление «Аддитивные технологии».

Особую роль в развитии отрасли аддитивных технологий в РФ, способствованию реализации «Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года», способствованию реализации ДК «ТНМиВ» играет Госкорпорация «Росатом» и Ассоциация Развития Аддитивных Технологий (АРАТ).

10.07.2019 между Правительством РФ и ГК «Росатом» заключено соглашение о намерениях в целях развития в РФ высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ». Таким образом, именно на ГК «Росатом» и АРАТ возлагаются основные задачи и требования по развитию в РФ высокотехнологичной отрасли АТ.

Ассоциация развития аддитивных технологий создана как центр компетенций в области АТ и как оператор по формированию и реализации Дорожной карты. В настоящее время в Ассоциацию развития аддитивных технологий входят как ключевые игроки рынка – учредители в лице представителей Госкорпорации «Росатом», ГК «Ростех», ВИАМ, Алмаз-Антей, Газпромнефть, так и ведущие предприятия отрасли аддитивных технологий, а также ВУЗы.

Со стороны Госкорпорации «Росатом» в России создан специальный, единый отраслевой интегратор ООО «Русатом – Аддитивные технологии» (ООО «РусАТ») по направлению «Аддитивные технологии», консолидирующий усилия предприятий в области АТ. Эта компания создана в структуре Топливной компании Росатома «ТВЭЛ». «Русатом – Аддитивные технологии» объединяет компетенции научных и производственных предприятий Росатома в рамках проекта по развитию аддитивного производства в России. Оно курирует проектирование и организацию производства 3D-принтеров, аддитивных порошков, комплектующих, программного обеспечения, а также предоставлением услуг 3D-печати. ООО «РусАТ» координирует работу пула предприятий, среди которых ООО «НПО «Центротех» (предприятие Топливной компании Росатома «ТВЭЛ» в Новороссийске Свердловской области), АО «ЧМЗ» (предприятие Топливной компании в Глазове, Удмуртия), ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е.И. Забабахина», ФГУП «НИИ НПО «Луч», ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ» и другие.

Основные цели и задачи ГК Росатом (ООО «РусАТ») и АРАТ по направлению «аддитивные технологии» приведены на рисунках 4, 5 и 6.

Рисунок 4. Основные цели и задачи ГК Росатом (ООО «РусАТ») и АРАТ в части АТ



Рисунок 5. Основные цели и задачи АРАТ

ЗАДАЧИ АССОЦИАЦИИ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (АТ)

Ключевая задача - создание благоприятных условий для развития и расширения деятельности участников Ассоциации за счет объединения потенциала российских промышленных предприятий, выстраивания эффективных моделей кооперации, а также разработки новых решений и продуктов

- РЕАЛИЗАЦИЯ ДК «ТНМиВ» В ЧАСТИ АТ**
 - Предоставление экспертизы по мероприятиям
 - Рассмотрение новых инициатив
 - Формирование предложений по мероприятиям
 - Участие в мониторинге реализации мероприятий
- ВЫПОЛНЕНИЕ ФУНКЦИЙ ЦЕНТРА КОМПЕТЕНЦИЙ**
 - Организация экспертного сообщества
 - Разработка стандартов по АТ
 - Формирование базы знаний по направлению АТ
 - Продвижение участников Ассоциации на рынке
 - Разработка отраслевых мер господдержки
- ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОСРЕДЫ ДЛЯ СООБЩЕСТВА АТ**
 - Обучение и повышение квалификации
 - Выстраивание цепочек кооперации
 - Информационно-аналитическая деятельность



Рисунок 6. Основные цели и задачи ГК Росатом (ООО «РусАТ») и АРАТ в части АТ



ГЛАВА 1. РЫНОК АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Изначально следует отметить, что в настоящее время существует несколько классификаций и обозначений технологий аддитивного производства, каждая из которых может несколько отличаться друг от друга. Близкие и очень похожие технологии зачастую имеют разные названия, так как созданы и запатентованы определённым производителем оборудования. Так, например, компания SLM Solutions использует обозначение SLM при печати металлическими порошками (англ. Selective Laser Melting), компания EOS Gmbh схожий процесс печати характеризует как DMLS (англ. Direct Metal Laser Sintering), а компания 3D Systems при печати металлом на подложке называет технологию как DMP (англ. Direct Metal Printing).

1.1 Основные сегменты рынка аддитивных технологий

Согласно данным Wohler основными технологиями и под технологиями 3D-печати являются представленные в таблице «Основные технологии и под технологии 3D-печати» [4].

Таблица 1. Основные технологии и под технологии 3D-печати

Технологии	Под технологии		Материал
Экструзия материала (Material Extrusion – MEX)	FDM	Моделирование методом наплавления (Fused Deposition Modeling)	пластик
	FGF	Построение расплавлением гранул (Fused Granular Fabrication)	пластик
	FFF	Наплавление нитей (Fused Filament Fabrication)	пластик
	CFF	Непрерывное наплавление нитей (Continuous Fiber Fabrication)	пластик
	CFC	Козкструзия композитного волокна (Carbon Fibre Composite)	композиты
	DIW	Прямое нанесение/робокастинг (Direct Ink Writing/Robocasting)	керамика
	LDM	Жидкостное моделирование (Liquid Deposition Modeling)	керамика (глина)

Технологии	Под технологии		Материал
	3DCP	Строительная печать (Construction Printing)	бетон
Фотополимеризация в ванне (Vat Photopolymerization - VPP)	SLA	Стереолитография (Stereolithography)	фотополимер, керамика
	DLP	Цифровое отверждение светом (Digital Light Processing)	фотополимер, керамика
	LCD	Полимеризации фотополимерных смол при ультрафиолетовом облучении (Liquid Crystal Display)	фотополимер
	GDP	Печать за счет дисперсии геля (Gel Dispensing Printing)	фотополимер
	TPP	Двухфотонная фотополимеризация	фотополимер, керамика
	DPP	Полимерная печать дневным светом (Daylight Polymer Printing)	фотополимер
	LSPc	Смазочное подслоное затвердевание (Lubricant Sublayer Photo-curing)	фотополимер
Струйное нанесение материала (Material Jetting - MJT)	MJP	Струйное нанесение материала (Material Jetting)	фотополимер, воск
	PolyJet	Струйное нанесение нескольких материалов (PolyJet)	фотополимер
	MJM	Многоструйное моделирование (Multi Jet Modeling)	фотополимер, воск
	NPJ	Струйное нанесение наночастиц (Nanoparticle Jetting)	керамика
Струйное нанесение связующего (Binder Jetting - BJ)	3DP	Струйная трехмерная печать (Three Dimensional Printing)	гипс, пластик, керамика, песок,

Технологии	Под технологии		Материал
			композиты, био-материалы
	CJP	Цветная струйная печать (Color Jet Printing)	гипс, пластик
	SPJ	Струйное нанесение связующего на металл (Single Pass Jetting или Metal Binder Jetting)	металл
Синтез на подложке (Powder Bed Fusion - PBF)	SLM	Выборочное лазерное сплавление (Selective Laser Melting)	металл, керамика
	EBM	Электронно-лучевая плавка (Electron Beam Melting)	металл, пластик
	DMP	Прямая металлургическая печать (Direct Metal Printing)	металл
	SHS	Селективное тепловое спекание (Selective Heat Sintering)	металл, пластик
	DMLS	Прямое лазерное спекание металла (Direct Metal Laser Sintering)	металл
	SLS	Селективное лазерное спекание (Selective Laser Sintering)	пластик
	LMF	Металлическое лазерное спекание (Laser Metal Fusion)	металл
Прямой подвод энергии и материала (Directed energy deposition - DED)	EBAM	Спекание электронным пучком (Electron Beam Additive Manufacturing)	металл
	DLD	Прямое лазерное выращивание (Direct Laser Deposition)	металл
	LENS	Лазерное формование порошка (Laser Engineered Net	металл

Технологии	Под технологии		Материал
		Shaping)	
	EBF	Электронно-лучевое сплавление проволоки (Electron-Beam Freeform Fabrication)	металл
	DMD	Прямое нанесение металла (Direct Metal Deposition)	металл
	DMT	Прямая обработка металла (Direct Metal Tooling)	металл
	WAAM	Электродуговое аддитивное производство (Wire Arc Additive Manufacturing)	металл
	LMD	Лазерное нанесение металла (Laser Metal Deposition)	металл
Листовая ламинация (Sheet Lamination - SHL)	LOM	Печать путем ламинирования (Laminated Object Manufacturing)	пластик, композиты, фольга, бумага, керамика
	SDL	Ламинирование методом селективного нанесения (Selective Deposition Lamination)	бумага

Технологии 3D-печати постоянно совершенствуются и развиваются, поэтому с появлением нового оборудования и материалов могут появляться новые под технологии. приведена ещё одна классификация технологий 3D-печати согласно 3DHubs [6] с указанием ведущих компаний для каждой применяемой технологии.

Краткое описание основных наиболее популярных технологий 3D-печати:

- **FDM (Fused deposition modeling)** – послойное построение изделия из расплавленной пластиковой нити. Это самый распространенный способ 3D-печати в мире, на основе которого работают миллионы 3D-принтеров – от самых дешевых до промышленных систем трехмерной печати. FDM-принтеры работают с различными типами пластиков, самым популярным и доступным из которых является ABS. Изделия из пластика отличаются высокой прочностью, гибкостью, прекрасно подходят для тестирования продукции, прототипирования, а также для изготовления готовых к эксплуатации объектов. Крупнейшим в мире производителем пластиковых 3D-

принтеров является компания Stratasys.

- **SLM (Selective laser melting)** – селективное лазерное сплавление металлических порошков. Самый распространенный метод 3D-печати металлом. С помощью этой технологии можно быстро изготавливать сложные по геометрии металлические изделия, которые по своим качествам превосходят литейное и прокатное производство. Основные производители систем SLM-печати – как правило, немецкие компании.
- **SLS (Selective laser sintering)** – селективное лазерное спекание полимерных порошков. С помощью этой технологии можно получать большие изделия с различными физическими свойствами (повышенная прочность, гибкость, термостойкость и др.). Крупнейшим производителем SLS-принтеров является американский концерн 3D Systems.
- **SLA (сокращенно от Stereolithography)** – лазерная стереолитография, отверждение жидкого фотополимерного материала под действием лазера. Эта технология аддитивного цифрового производства ориентирована на изготовление высокоточных изделий с различными свойствами. Крупнейшим производителем SLA-принтеров является американский концерн 3D Systems. В отдельную категорию стоит вынести технологии быстрого прототипирования. Это способы 3D-печати, предназначенные для получения образцов для визуальной оценки, тестирования или мастер-моделей для создания литейных форм.
- **MJM (Multi-jet Modeling)** – многоструйное моделирование с помощью фотополимерного или воскового материала. Эта технология позволяет изготавливать выжигаемые или выплавляемые мастер-модели для литья, а также – прототипы различной продукции. Используется в 3D-принтерах серии ProJet компании 3D Systems.
- **PolyJet** – отверждение жидкого фотополимера под воздействием ультрафиолетового излучения. Используется в линейке 3D-принтеров Objet компании Stratasys. Технология используется для получения прототипов и мастер-моделей с гладкими поверхностями.
- **DED (Direct Energy Deposition)** – прямое или непосредственное осаждение (материала), т. е. непосредственно в точку, куда подводится энергия, и где происходит в данный момент построение фрагмента детали. С помощью этой технологии возможно создание крупных изделий сразу из нескольких видов сплавов, а также производство ремонта таких дорогостоящих компонентов как лопатки турбин авиадвигателей.

Согласно данным Wohler, наиболее крупные опрошенные игроки рынка называют аэрокосмическую отрасль, медицину, автомобильную промышленность как самые передовые сектора, в которых в настоящее время внедряются аддитивные технологии. На рисунке 7 показаны основные сегменты рынка АТ согласно Wohlers Associates [4].

Рисунок 7. Основные сегменты мирового рынка АТ



Сегментация рынка аддитивных технологий в России происходит в соответствии с мировыми трендами. В наибольшей степени АТ внедряются в аэрокосмическую отрасль, при этом главным образом аддитивное производство связано с печатью деталей металлическими порошками. По данным Минпромторга РФ, на аэрокосмическую отрасль приходится порядка 30% всего производства с применением аддитивных технологий (Рисунок 8) [7].

Рисунок 8. Сегменты рынка аддитивных технологий в РФ



Расчетную оценку сегментов рынка АТ эксперты «Инфолайн» проводили на основе структуры открытых тендеров оборудования и материалов с учетом импортных поставок, осуществлявшихся «напрямую», и отраслевой структуры тендеров на проведение услуг АТ (в стоимостном выражении). Выявленная структура АТ представлена на рисунке 9, в целом она близка структуре Минпромторга РФ [8].

Рисунок 9. Сегменты рынка аддитивных технологий в РФ согласно данным компании «Инфомайн»



Наиболее крупным сегментом рынка АТ является Авиа- и двигателестроение. В структуре потребления на долю этой отрасли оценочно приходится 30%. Аддитивные технологии освоили многие предприятия авиа- и двигателестроения – АО «ОДК» и его структуры (ПАО «ОДК-Сатурн», АО «ОДК-Авиадвигатель», АО «ОДК-Климов», ПАО «ОДК-УМПО», ПАО «ОДК-Кузнецов»), АО «Компания «Сухой» (ПАО «ОАК»), ПАО «Корпорация Иркут» и др. По данным «Инфомайн», на предприятиях отрасли установлено в настоящее время 16 систем аддитивной печати металлическими порошками, 17 – для печати термопластиками и 1 – для печати фотополимерами.

Данные по услугам 3D-печати предприятиями авиа- и двигателестроения носят во многом закрытый характер.

1.2 Емкость рынка аддитивных технологий

Наиболее авторитетной и известной консалтинговой компанией, осуществляющей мониторинг и ежегодные исследования мирового рынка аддитивных технологий, является Wohlers Associates [4].

Так, согласно Wohlers Associates многие показатели говорят о том, что пандемия вызвала значительное замедление роста производственной индустрии АТ. Несмотря на это, общий объем продуктов и услуг АТ во всем мире вырос в 2021 году на 19,5% до 15,244 млрд долл. (Рисунок 10) [4].

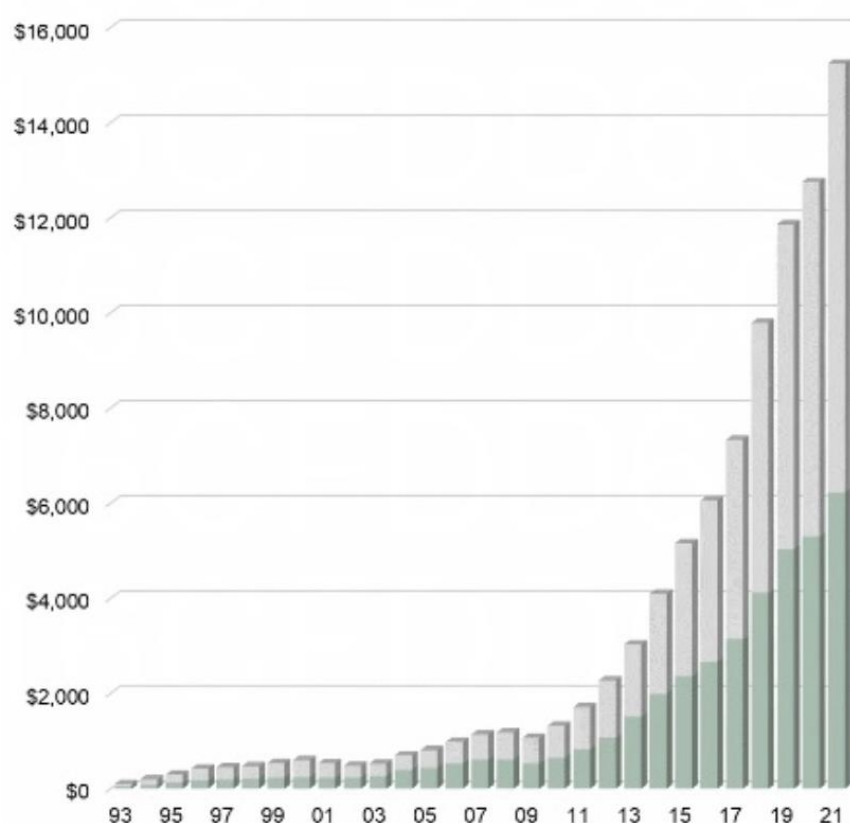
Это в сравнении с ростом на 7,5% до 12,758 млрд долл. в 2020 году. Рост в 19,5% основан на информации, полученной от 241 компании в области оказания услуг, производителей оборудования и материалов по всему миру.

Показатели крупнейших компаний в области АТ 3D Systems и Stratasys были относительно низкими с 2016 по 2020 год, но в 2021 году оба производителя сообщили о росте выручки на 10,5% и 16,6% соответственно (в 2020 году у данных производителей было снижение выручки в 12,4% и 18,1%).

На восемь крупнейших производителей систем приходится около 2,269 млрд долл., что составляет

14,9% всей отрасли АТ в 2021 году. Общеотраслевая оценка в 15,244 млрд долл. включает в себя выручку от первоначального (первичного) рынка АТ. Этот сегмент состоит из всех продуктов и услуг, непосредственно связанных с АТ. Продукты включают в себя системы аддитивного производства, материалы, продукты послепродажного обслуживания (программное обеспечение, лазеры и др.). Услуги включают в себя доход, полученный от изделий, произведенных в системах АП независимыми поставщиками услуг, а также контракты на техническое обслуживание систем, обучение, семинары, конференции, выставки, рекламу, публикации, исследования и консультации [4].

Рисунок 10. Объем мирового рынка АТ в разрезе товаров и услуг, млн долл.



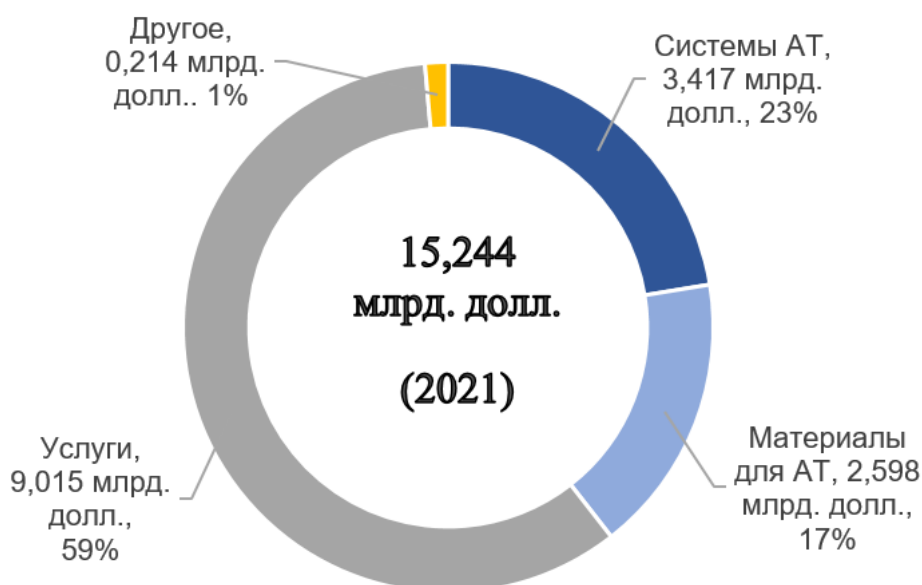
Однако данная оценка в 15,244 млрд долл. не включает в себя деньги, потраченные на АП внутри таких компаний как Boeing, Ford, Adidas, Stryker и тысяч других, как крупных, так и мелких. Так же не включает в себя стоимость исследований, разработок, прототипирования, производства изделий с использованием АТ в этих компаниях, университетах и национальных лабораториях. Данная оценка не включает в себя стоимость деталей, изготовленных методом АП, производителей оригинального оборудования автомобилей, самолетов, медицинских, стоматологических, потребительских товаров и т. д. Объем, который они производят с помощью АТ большой, но его невозможно определить количественно. Данная оценка также не включает в себя венчурный капитал, прямые и прочие инвестиции в компании, связанные с АТ в 2021 году. На рисунке 10 представлены доходы (в млн долл.) от продуктов и услуг АТ по всему миру. Нижний (зеленый) сегмент представляет устройства (оборудование), а верхний (серый) сегмент представляет услуги.

Мировая выручка от продуктов АТ оценивается в 6,229 млрд долл. в 2021 году, что на 17,5% больше, чем 5,303 млрд долл., произведенных в 2020 году. Данный сегмент рос на 5,1% в 2020

году и на 22,3% в 2019 году. Общий объем продаж систем АТ оценивается в 3,417 млрд долл. в 2021 году (это относится только к самим системам и не включает соглашения об обслуживании, запасные части для этих систем, обновления программного обеспечения и т. д.). Это представляет собой увеличение на 13,4% по сравнению с 3,014 млрд долл. в 2020 году. Ранее продажи систем росли на 1,0% в 2020 году и 14,7% в 2019 году. Услуги АТ выросли до 9,015 млрд долл. в 2021 году, увеличившись на 20,9% по сравнению с 7,454 млрд долл. в 2020 году. Этот сегмент рынка рос на 9,2% в 2020 году и на 20,3% в 2019 году. В 2021 году выручка от поставщиков услуг составила 6,235 млрд долл., что составляет 69,2% от общего дохода от услуг АТ в размере 9,015 млрд долл.

За последние 10 лет отрасль пережила значительный рост, увеличившись за этот период более чем в 8,8 раза. На рисунке 11 показано текущее распределение сегментов мирового рынка аддитивных технологий [4].

Рисунок 11. Текущее распределение сегментов мирового рынка аддитивных технологий



Наибольший рост в 2021 году показал сегмент материалов для АТ, а также услуг в сфере аддитивных технологий, а рост сегмента систем АТ постепенно возвращается к докризисным показателям.

Это говорит в первую очередь о том, что:

- основной пик кризиса, связанного с влиянием COVID-19 пройден, и потребители вновь наращивают темпы производства и выпуска своей продукции;
- отложенный спрос 2020 года на продукцию АТ положительно повлиял на рынок в 2021 году;
- интерес к АТ постепенно увеличивается, растет потребление материалов и обращение к услугам частных компаний в сфере 3D-печати.

Согласно данным консалтинговой компании «Инфомайн» динамика производства 3D-принтеров в России в стоимостном выражении представлена в таблице 2. По их же оценке, в 2021 г. суммарное

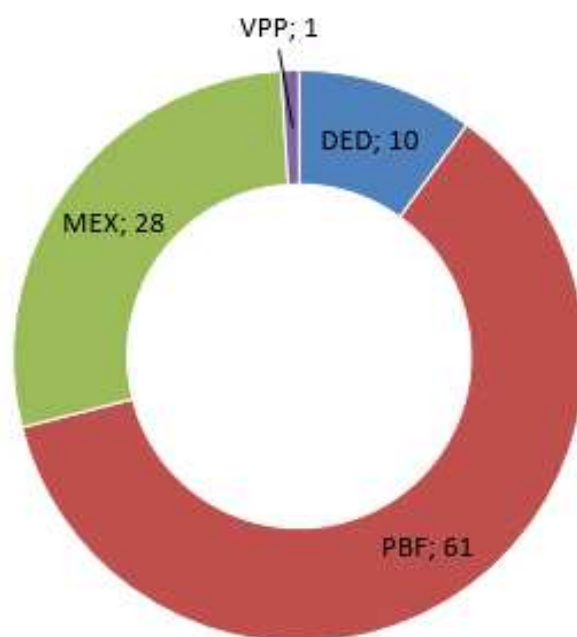
производство составило свыше 1 млрд руб., при этом доля 3D-принтеров для металлов составила около 60% [8].

Таблица 2. Динамика производства в России 3D-принтеров различных видов в 2017–2021 гг., млн руб.

Вид оборудования	2017	2018	2019	2020	2021
металлические	73	394	299	475	666
пластиковые	69	175	282	323	395
фотополимерные	10	3	10	2	21
строительные	4	13	7	6	9
Итого	156	585	598	806	1091

Распределение выпускаемых 3D-принтеров по технологиям АТ представлено на рисунке 12. Как видно, основной объем приходится на технологию PBF – около 61% [8].

Рисунок 12. Распределение выпускаемых в РФ 3D-принтеров по технологиям АТ (%)



В России в последние годы начато производство 3D-принтеров, которые используют в качестве материала металлические порошки и проволоку. По оценкам «Инфомайна», за период с 2017 по 2021 г. всего произведено свыше 20 единиц этого оборудования [8].

Целый ряд организаций (свыше 15) занимается разработкой и созданием образцов подобного рода систем. Предприятия имеют мощности по выпуску нескольких единиц этого оборудования в год. Основными из них являются ООО «НПО Центротех», АО «НПО «ЦНИИТМАШ», ООО «ИЛ и

СТ».

Научно-производственное объединение «Центротех» (ООО «НПО «Центротех») входит в состав компании «ТВЭЛ» Госкорпорации «Росатом». Предприятие занимается как изготовлением серийной продукции, так и разработкой новых изделий. В последние годы ООО «НПО «Центротех» осуществляет изготовление образцов систем селективного лазерного плавления – RusMelt-300 и RusMelt-600, которые могут производить 3D-печать порошками из нержавеющей стали и никелевых жаропрочных сплавов. Заказчиком оборудования выступил отраслевой интегратор «Русатом – Аддитивные технологии» (ООО «РусАТ»).

АО «НПО «ЦНИИТМАШ» разработало и изготовило образцы 3D-принтеров – Melt-Master3D-160, Melt-Master3D-250M и MeltMaster3D-550. Все они работают по технологии SLM с использованием порошков коррозионностойкой стали и титана. В частности, последняя марка предназначена для изготовления сложнопрофильных изделий.

ООО «Институт лазерных и сварочных технологий» (ИЛ и СТ) при Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете (СПбГМТУ) еще в 2016 г. изготовило две лабораторных установки лазерного выращивания. В 2019 г. были смонтированы промышленные установки прямого лазерного выращивания крупногабаритных заготовок на двух предприятия ОДК. Они позволяют выращивать заготовки для деталей авиационных двигателей диаметром более 2 м и массой до 80 кг.

Основные российские производители 3D-принтеров по металлам с оценкой выручки приведены в таблице 22 (Приложение 2). В таблице 23 (Приложение 3) указаны сводные технические характеристики российских 3D-принтеров по металлам.

В России серийная сборка 3D-принтеров началась в 2010 г. В 2010–2016 гг. производство носило взрывной характер (с нескольких десятков до 2,8 тыс. ед. в год), очевидно, из-за бурно растущего спроса. В 2017–2021 гг. рост стал эволюционным, при этом в 2020 г. из-за пандемии коронавируса отмечено некоторое падение.

По оценкам «Инфолайн», в 2021 г. было выпущено около 760 единиц принтеров для термопластиков на сумму около 400 млн руб. Основными производителями являются ООО «Пикасо 3D» и ООО «Тоталзед» (Таблица 3) [8].

Таблица 3. Производители 3D-принтеров для термопластиков в РФ

Наименование	Номенклатура оборудования для АТ	Технологии АТ	Оценка пр-ва 3D-принтеров в 2021 г., млн руб.
ООО «Пикасо 3D»	Designer, Designer Pro 250, Designer X Pro, Designer XL Pro, Designer Classic, Designer X, Designer XL	FDM/FFF	200
ООО ПК «Робоки-нетика»	Element 3D Box, Element 3D Study, Element 3D ver.2.1,	FDM/FFF	7

Наименование	Номенклатура оборудования для АТ	Технологии АТ	Оценка пр-ва 3D-принтеров в 2021 г., млн руб.
	Element 3D Box 600		
ООО «Тоталзед»	1000-PRO-LL, 450-PRO, G5, 250-G3, SLS-250, AnyForm FGF, AnyForm Pro и AnyForm 250-G3	FDM/FFF	100
АО «ЦТКАТ»	Альфа 1 и Альфа 2	FFF	23
ООО «Импринта»	Hercules Strong, Hercules Strong Duo, Hercules G2, Hercules G3, Hercules G4, Hercules G6, Hercules G4 DUO, Hercules G6 DUO, Hercules Original	FDM/FFF	7
ООО «Тридекью»	3DQ Mini Dual V2, 3DQ One Dual, 3DQ Edu Dual, 3DQ Uni, Sparky, Prism Special Dual, Prism Pro Dual	FDM/FFF	14
ООО «НПО «Интеллектуальные информационные системы»	Designer, Designer Pro 250, Designer X Pro, Designer XL Pro, Designer Classic, Designer X, Designer XL	FDM/FFF	12
АО «МЗТО»	mz3d-360	FFF	5
ООО «Зенит»	Zenit 3D и Zenit Duo Switch	FDM/FFF	12
ООО «Ф2 Инновации»	F2 Lite, F2 Pro Pellet	FDM/FFF, SLS	7
ООО «Царь»/ ООО «Копипласт»	TS600, TS600-ABS, TS500-HT, TS500-PEEK	FDM/FFF	1
ООО «Шоу-Дизайн»	Maestro Piccolo, Maestro Solo, Maestro Grand, Maestro Duet и Maestro Grand II	FDM/FFF	2

Наименование	Номенклатура оборудования для АТ	Технологии АТ	Оценка пр-ва 3D-принтеров в 2021 г., млн руб.
ООО «Стереотек»	5Dtech, 6xx и 8xx	FDM/FFF	5
ООО «Техно Интеллект»	Vortex DUAL Vortex GIANT	FDM/FFF	0
ИП Синёв Андрей Юрьевич	P3 Steel 200 Pro	FDM/FFF	-

По оценкам консалтинговой компании «Инфомайн» в России имеются три производителя 3D-принтеров для фотополимеров (Таблица 4), основным является ООО «Эксклюзивные решения» (СПб). Предприятие было основано в 2012 г. Денисом Власовым (бренд – 3DSLA.RU). В настоящее время компания выпускает две модели стерео-литографических 3D-принтеров: RussianDLP и StarLight 3D, которые строятся на базе мощных FullHD проекторов и различаются своим назначением. RussianDLP – это принтер для образования, хобби и малого производства. StarLight 3D – это стереолитографический принтер профессионального назначения [8].

По оценке «Инфомайн», всего компания выпустила около 100 единиц 3D-принтеров, в основном марки RussianDLP [8].

Таблица 4. Производители 3D-принтеров для фотополимеров

Наименование	Номенклатура оборудования для АТ	Технологии АТ	Марка/бренд	Оценка пр-ва 3D-принтеров в 2021 г., млн руб.
ООО «Эксклюзивные решения»	RussianDLP и StarLight 3D	LCD/DLP/SLA	3DSLA.RU	19
ООО «Хардлайт»	SIRIUS	LCD	HARDLight	2
ООО НПП «3Д аддитивные технологии»	Kulibin Print	LCD/DLP	-	0

Серийного производства прочих 3D-принтеров в РФ пока нет. На ряде предприятий собраны экспериментальные образцы и/или штучные машины на заказ для производства изделий из кварцевого литейного песка. В частности, ООО «ЗИАС Машинери» (Новоалтайск) имеет небольшие мощности по выпуску аддитивных установок серии ZIAS BPrint для производства литейных форм и стержней из кварцевого литейного песка.

Динамика производства материалов для 3D-печати в России в стоимостном выражении с распределением по видам представлена в таблице 5. По оценке компании «Инфолайн», в 2021 г. суммарное производство составило свыше 1 млрд руб., как видно, за 5 лет оно выросло более чем в 8 раз. Главным образом этот рост связан с выпуском металлических порошков для аддитивных технологий, доля которых в общем объеме производства материалов в 2021 г. составила свыше 76% [8].

Таблица 5. Динамика производства в России различных видов материалов для 3D-печати в 2017–2021 гг., млн руб.

Вид оборудования	2017	2018	2019	2020	2021
металлические	91	102	221	348	836
пластиковые	42	58	70	100	115
фотополимерные	0	0	44	72	144
Итого	133	160	335	520	1095

В настоящее время мощности по производству аддитивных порошков созданы на 15 предприятиях в РФ, однако большая часть выпускает незначительный объем. Из списка производителей выделяются три – РУСАЛ, ВИАМ, «Полема».

РУСАЛом созданы мощности по производству алюминиевых порошков для 3D-печати (СУАП-ПМ, Валком-ПМ, ИЛМиТ). Мощности по их выпуску оцениваются в объеме 162 т в год.

В 2021 г. компанией было выпущено около 60 т алюминиевых аддитивных порошков, из них 56,4 т поставлено на экспорт (импортером выступала компания M4P Material Solutions GmbH, Австрия). В основном экспортировались порошки марок АСП-35 (AlSi10Mg) и АСП-45 (AlSi7Mg).

В ВИАМе (Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, Москва) с 2010 г. начались работы по созданию производства мелкодисперсных металлических порошков распылением расплава инертным газом на установке HERMIGA10/100VI. В дальнейшем компания приобрела 2 промышленных атомайзера EIGA 50/500.

По словам генерального директора ВИАМ Е.Н. Каблова, в институте создан в настоящее время замкнутый цикл аддитивного производства деталей сложных технических систем.

Мощность по производству порошков находится на уровне 190 т в год, выпуск порошков составляет 20–25 т в год. В настоящее время ВИАМ поставляет порошки для аддитивных технологий (главным образом никелевых сплавов) в основном для предприятий корпорации ОДК.

Кроме того, ВИАМ владеет одним из самых крупных парков аддитивных установок, работающих на металлических материалах (около 10 единиц).

АО «Полема» (Тульская область) производит порошки для аддитивных технологий с 2014 г. В номенклатуре продукции предприятия присутствуют в основном порошки коррозионностойких

сплавов со сферической формой частиц, полученные распылением расплава металла газом.

Заявленная мощность порошков для 3D-печати и MIM составляет 100 т, объем производства аддитивных порошков, по оценке, находится на уровне 13–15 т в год.

Среди потребителей продукции – промышленные компании (ОДК, Роскосмос и др.), ЦАТы (Центры Аддитивных Технологий), НИИ и учебные заведения, имеющие работающие 3D-принтеры.

Анализ импортных поставок 3D-принтеров разных видов свидетельствует о том, что максимальный объем в стоимостном выражении в рассматриваемый период был достигнут в 2018 г. – 25 млн долл., а в натуральном выражении – в 2021 г. на уровне 7,8 тыс. единиц (Таблица 6) [8].

Таблица 6. Динамика импорта в РФ 3D-принтеров и сопутствующей продукции, единиц; тыс. долл.

Материал	Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
Металлы	Количество, ед.	12	27	24	17	22
	Стоимость, тыс. долл.	5170	15056	10881	7014	12485
Термопласты	Количество, ед.	4610	6291	4343	3135	5519
	Стоимость, тыс. долл.	4556	8397	6781	4626	3364
Фотополимеры	Количество, ед.	140	250	1886	1230	2275
	Стоимость, тыс. долл.	471	1038	3149	1487	3392
Прочие	Количество, ед.	1	4	5	4	4
	Стоимость, тыс. долл.	377	691	342	1077	1056
Запасные части к принтерам	Стоимость, тыс. долл.	76	224	426	679	487
Сопутствующая продукция	Стоимость, тыс. долл.	0	17	942	96	451
Количество, единиц		4763	6572	6258	4386	7820
Стоимость, млн долл.		10,7	25,4	22,5	15,0	21,2

Анализ импортных поставок материалов разных видов свидетельствует о том, что максимальный объем в стоимостном выражении в рассматриваемый период был достигнут в 2019 г. – 5,4 млн долл. В натуральном выражении «пик» поставок пришелся на 2020 г. в объеме свыше 266 кг (Таблица 7) [8].

Таблица 7. Динамика импорта в РФ материалов для 3D-печати в 2017–2021 гг., кг; тыс. долл.

Материал	Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
Металлы	Количество, кг	5300	8027	9458	5682	4098
	Стоимость, тыс. долл.	774	1043	1109	533	460
Термопластики	Количество, кг	35676	89627	205417	238846	95517
	Стоимость, тыс. долл.	1069	1915	2802	1860	934
Фотополимеры	Количество, кг	5341	15949	16987	12207	14777
	Стоимость, тыс. долл.	483	1570	1459	1025	1191
Прочие	Количество, кг	20	0	2311	5656	3132
	Стоимость, тыс. долл.	9	0	30	55	98
Количество, т		46	114	234	266	118
Стоимость, млн долл.		2,3	4,5	5,4	3,5	2,7

Целый ряд компаний на рынке РФ оказывает услуги 3D-печати. К ним прежде всего относятся центры аддитивных технологий (ЦАТ) и мелкие компании, которые с некоторой условностью можно отнести к ЦАТам. Общий объем выручки этих компаний в 2021 г., по данным «Инфолайн», составил около 1 млрд руб. Из этого круга по объему выручки и количеству принтеров выделяется четыре компании – ООО «РусАТ» (Москва), АО «ЦАТ» (Москва), АО «ЦТКАТ» (Воронеж), ООО «ЗД Вижн».

При оценке объема рынка услуг 3D-печати недостаточно учитывать только выручку компаний, которые занимаются данным направлением (ЦАТы и прочие игроки рынка). При таком подходе показатель будет заниженным, так как не учитывается объем «внутренних услуг» промышленных предприятий (изготовление изделий для собственных нужд, т.е. центры 3D-печати на территории конечного заказчика).

Поэтому в данном случае для оценки объема услуг АТ в РФ применяется экспертный метод расчета [8]. Он основан на умножении объема материала (российского и импортного) на так называемый коэффициент «удорожания изделия», выпущенного на 3D-принтере (то есть – во сколько раз изделие дороже исходных материалов).

Рассчитанные показатели услуг АТ в 2017–2021 гг. представлены в таблице 8 [8].

Таблица 8. Рассчитанные показатели объема рынка услуг АТ в РФ, млн руб.

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
Общий объем потребления (услуг) АТ:	904	1652	2407	2527	3663
в т. ч. металлы	306	375	644	799	1761
пластики	469	834	1131	1054	827
фотополимеры	127	443	623	657	1043
<i>Прочие</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>9</i>	<i>17</i>	<i>32</i>
Объем потребления (услуг) АТ за вычетом материалов	635	1200	1715	1725	2284
<i>из них ЦАТы</i>	<i>135</i>	<i>231</i>	<i>524</i>	<i>697</i>	<i>1103</i>
<i>остальные</i>	<i>500</i>	<i>969</i>	<i>1191</i>	<i>1028</i>	<i>1181</i>

Сводные данные по рынку АТ в РФ за 2017–2021 гг. представлены в таблице 9. Расчет включал в себя сумму российского производства и импорта оборудования и материалов (за исключением экспорта) и объема услуг АТ. По расчетам компании «Инфолайн», объем потребления в РФ в 2021 г. составил 6,1 млрд руб. (без учета объемов НИОКР) [8].

Таблица 9. Сводные данные по рынку АТ в РФ в 2017–2021 гг., млн руб.

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
1. пр-во российских 3D-принтеров	156	585	598	806	1091
металлические	73	394	299	475	666
пластиковые	69	175	282	323	395
фотополимерные	10	3	10	2	21

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
строительные*	4	13	7	6	9
2. импорт 3D-принтеров	621	1594	1461	1080	1563
металлические	301	944	704	506	920
пластиковые	266	526	439	334	248
фотополимерные	27	65	204	107	250
<i>Прочие</i>	<i>27</i>	<i>59</i>	<i>114</i>	<i>133</i>	<i>145</i>
3. пр-во российских материалов	133	160	335	520	1095
металлы	91	102	221	348	836
пластики	42	58	70	100	115
фотополимеры	0	0	44	72	144
4. экспорт материалов	0	1	7	32	87
5. импорт материалов	136	284	350	251	198
металлы	45	65	72	38	34
пластики	62	120	181	134	69
фотополимеры	28	98	94	74	88
<i>Прочие</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>7</i>
6. объем потребления (услуг) за вычетом материалов	635	1175	1715	1725	2284
<i>из них ЦАТы</i>	<i>135</i>	<i>231</i>	<i>524</i>	<i>697</i>	<i>1103</i>
<i>остальные</i>	<i>500</i>	<i>944</i>	<i>1191</i>	<i>1028</i>	<i>1181</i>
ВСЕГО (1+2+3+5+6-4)	1681	3797	4452	4350	6143

Следует отметить, что оценки консалтинговой компании «Инфолайн» [8] по объёму российского

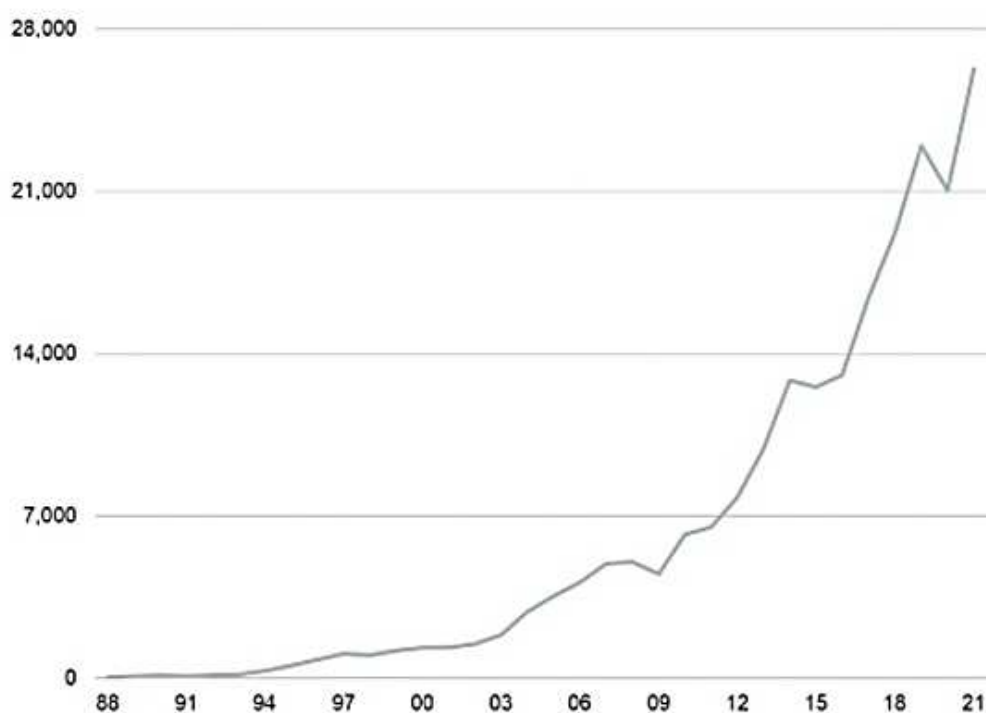
рынка АТ несколько выше, чем данные Минпромторг. Это обусловлено следующим:

- В 2021 году наблюдался заметный рост производства российского оборудования АТ
- Сильно увеличился импорт оборудования 3D-печати (примерно в полтора раза);
- Производство российских материалов увеличилось примерно в два раза;
- Оценки по объёму рынка услуг 3D-печати сделаны с учётом «внутренней печати» на предприятиях и рассчитаны на основе потребления материалов.

1.3 Темпы роста рынка аддитивных технологий

Согласно Wohlers Associates в 2021 году было продано 26 272 промышленных систем 3D-печати (Рисунок 12), что на 24,9% выше по сравнению с 2020 годом, когда было продано примерно 21 029 промышленных систем АТ. Для сравнения, 2020 год показывал спад количества проданных систем на 8,4% относительно 2019 года, а в 2019 году рынок рос на 19,4%. Такой рост рынка отражает неудовлетворенный спрос с 2020 года в сочетании с ростом продаж относительно недорогих (от 10 000 до 50 000 долл.) систем. Этот рост также приходится на 38 новых производителей, которых Wohlers Associates начала отслеживать в 2021 году и впервые включила в отчет. На рисунке 13 показаны продажи промышленных систем 3D-печати с 1988 по 2021 год [4].

Рисунок 13. Количество реализованных промышленных систем АТ, шт.

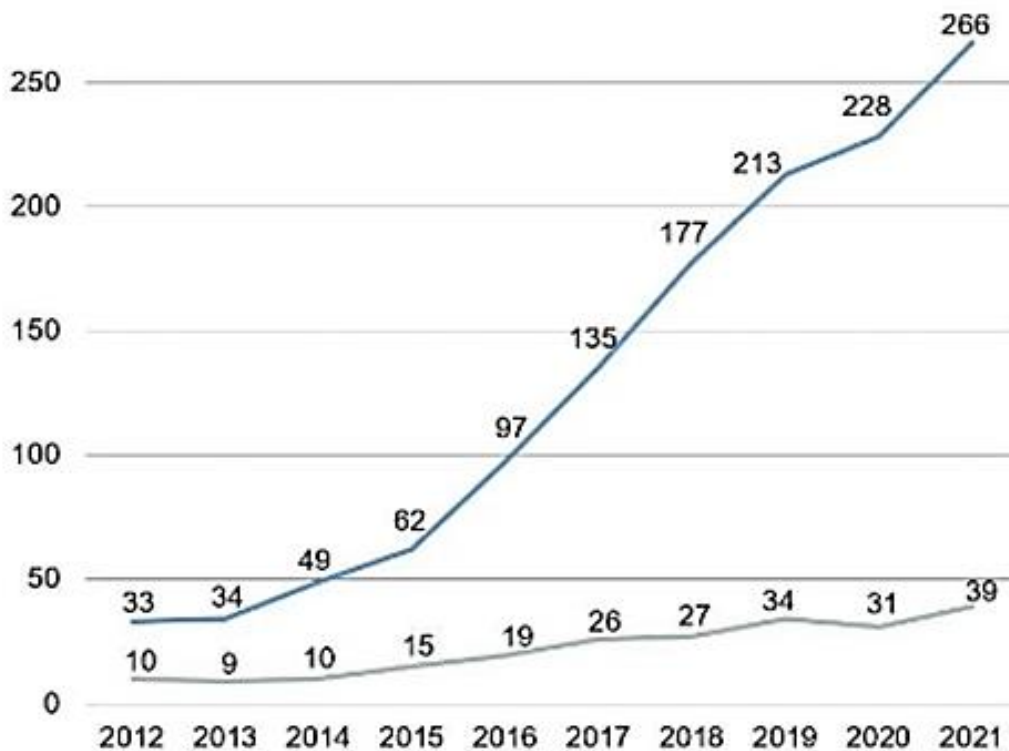


В 2021 году на рынок вышло по меньшей мере 38 новых игроков промышленных 3D-принтеров, что на 16,7% больше, чем в 2020 году.

На рисунке 14 (синяя кривая сверху) показано общее количество производителей в сегменте 3D-принтеров стоимостью более 5000 долл. Нижняя (зеленая кривая) показывает какое количество из

них продают более 100 машин в год. В 2021 году 39 компаний продали более 100 промышленных решений 3D-печати, а в 2020 году только 31 компания преодолела этот рубеж [4].

Рисунок 14. Производители промышленного оборудования АТ



Производители промышленных систем 3D-печати распределены по шести континентам. В таблице 10 показано страновое распределение количества производителей в 2021 году. Отмечается, что количество производителей в Китае возросло с 26 в 2020 до 37 в 2021 году. В Японии количество производителей сократилось с 12 в 2020 году до 9 в 2021 году. США занимает лидирующее место по количеству производителей промышленных систем с 59 компаниями в 2021 году (в 2020 году их количество оценивалось в 47 компаний) [4].

Таблица 10. Распределение производителей промышленных систем 3D-печати по странам

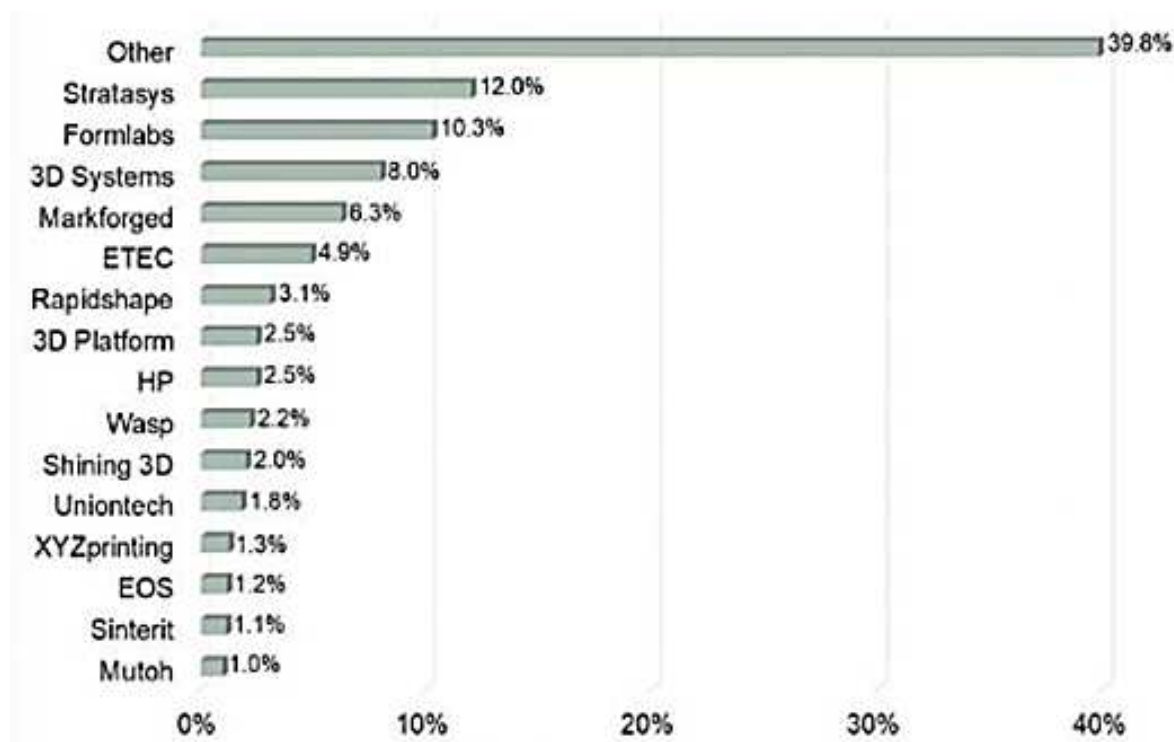
Страна	Количество производителей	Страна	Количество производителей
США	59	Тайвань	5
Германия	38	Швеция	4
Китай	37	Бразилия	3
Нидерланды	12	Канада	3
Австрия	11	Швейцария	3
Италия	10	Турция	3
Япония	9	Дания	2
Франция	8	Южная Африка	2

Страна	Количество производителей	Страна	Количество производителей
Польша	8	Украина	2
Южная Корея	8	Аргентина	1
Австралия	7	Финляндия	1
Израиль	7	Иран	1
Испания	7	Ирландия	1
Россия	6	Португалия	1
Англия	6	Сингапур	1

Семьдесят семь компаний из данного списка сообщили о своих затратах на R&D. В 2021 году компании тратят в среднем 36,8% их годовой выручки на R&D. В 2020 году этот показатель составлял 36,3%, а в 2019 году 38,6%. Это относительно высокие показатели и, вероятно, связаны со многими молодыми производителями, принявшими участие в опросе. Они все еще находятся на ранней стадии разработки и тратят на НИОКР больше, чем более развитые компании.

На рисунке 15 показано распределение долей рынка между основными производителями промышленных систем в 2021 году. Данная диаграмма показывает только компании, которые продали свыше 250 ед. оборудования [4].

Рисунок 15. Распределение долей рынка крупных производителей



Доля компании Stratasys снизилась примерно до 12,0% по сравнению с 13,5% в 2020 году и 16,6% в 2019 году. Сегмент «Другое» увеличился с 34,3% в 2019 году до 35,9% в 2020 году, а затем до

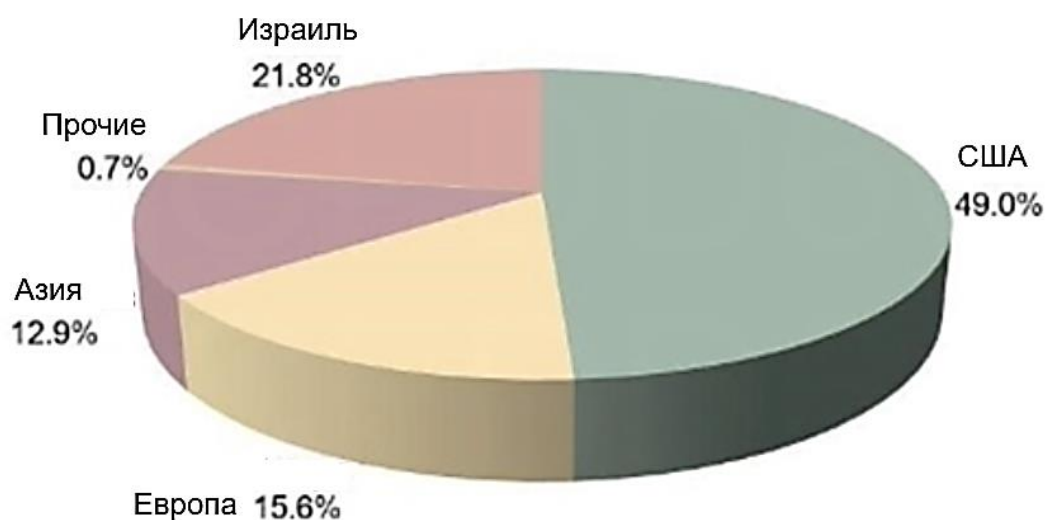
39,8% в 2021 году. Сюда входят новые, вышедшие на рынок компании, и которые продали менее 250 единиц оборудования. Некоторые компании могут продавать много единиц по более низкой цене, чем те, которые продают меньше единиц по более высокой цене.

В 2003 году установленная база промышленных систем АТ от компании Stratasys стала крупнейшей в мире. С тех пор компания сохраняет эту позицию. К концу 2021 года Stratasys продала в общей сложности 69 155 единиц промышленных систем 3D-печати. В этот показатель входят промышленные системы АТ, проданные Objet и Solidscapе до того, как они были приобретены компанией (Prodways приобрела Solidscapе у Stratasys в 2018 году.)

3D Systems имеет вторую по размеру базу промышленных установок АТ, насчитывающую около 32 150 установленных промышленных систем. Эта оценка включает машины, проданные DTM, Phenix Systems и Z Corp. до того, как эти три компании были приобретены 3D Systems. Третья по величине база установок принадлежит ETEC (ранее Envisiontec) с примерно 13 177 единицами промышленного оборудования АТ.

На следующей диаграмме (Рисунок 16) представлено суммарное общее количество промышленных систем АТ, проданных из каждого географического региона, начиная с 1988 по 2021 гг. Производители систем США продали всего 49% всех промышленных машин АТ (рост с 42,4% в 2020 году). Доля Израиля сократилась с 23,2% до 21,8%. Доля Европы сократилась с 21,7% до 15,6%, а доля Азии показала увеличение с 12,3% до 12,9% [4].

Рисунок 16. Региональное распределение продаж промышленного оборудования с 1988 по 2021 гг.



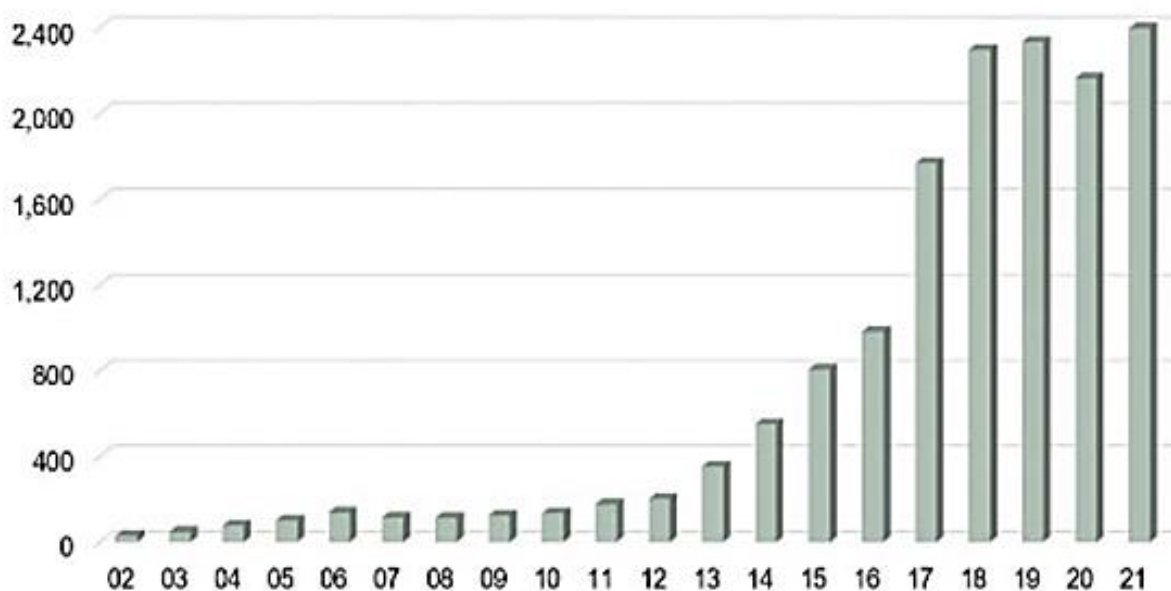
На рисунке 17 показано общее количество промышленных систем АТ, проданных в 2021 году компаниями со штаб-квартирами в каждом географическом регионе. Это системы 3D-печати, которые продаются в этих регионах мира, но не обязательно устанавливаются в них. В 2021 г. на долю США приходилось 45,5% продаж в натуральном выражении промышленного АТ оборудования, что значительно больше, чем годом ранее (37,8%, в 2020 г.) [4].

Рисунок 17. Региональное распределение продаж промышленного оборудования за 2021 г.



Продажи промышленных систем 3D-печати металлом в 2021 году возросли на 10,7%. Ассоциация Wohlers отслеживает мировой рынок металлической 3D-печати уже 20 лет. На рисунке 18 показано, что продажи металлических 3D-принтеров в 2021 году выросли до с 2 397 шт. с 2 165 шт., проданных в 2020 году [4].

Рисунок 18. Динамика продаж металлических 3D-принтеров в мире

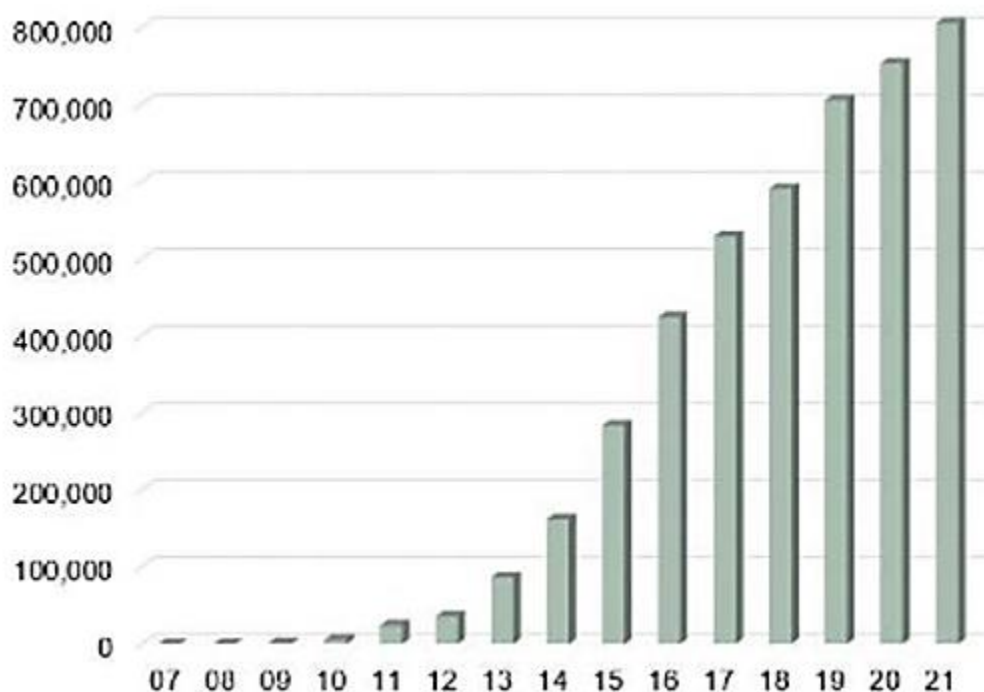


Продажи в натуральном выражении для Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона снизились до 23,0% и 17,2% в 2021 году с 27,1% и 19,1% в 2020 году соответственно. Доля Израиля упала с 14,0% в 2020 году до 12,3% в 2021 году. Stratasys стала израильской компанией в конце 2012 года, поэтому страна занимает значительную долю мирового рынка. Эти проценты представляют собой объем продаж оборудования в натуральном выражении, а не выручку.

Так, согласно Wohlers Associates примерная выручка от продажи металлических 3D-принтеров составила 1,234 млрд долл. в 2021 году, а средняя цена за 1 единицу металлического 3D-принтера – 514 823 долл., в сравнении с 501 844 долл. в 2020 году и 467 634 долл. в 2019 году [4].

Настольные системы 3D-печати претерпели заметные изменения с 2012 года, как показано на рисунке 15. В 2021 году рост продаж составил 7,0%, а общий доход оценивается в 963,4 млн долл. Эта цифра была рассчитана с использованием данных о продажах 28 производителей систем. В 2020 году рост составлял 6,7% и 19,4% в 2019 году. Рисунок 19 показывает динамику продаж настольного оборудования с 2007 года. Количество проданных настольных 3D-принтеров в 2021 году составило около 800 тыс. шт. Средняя цена настольного 3D-принтера составляет около 1 305 долл. [4].

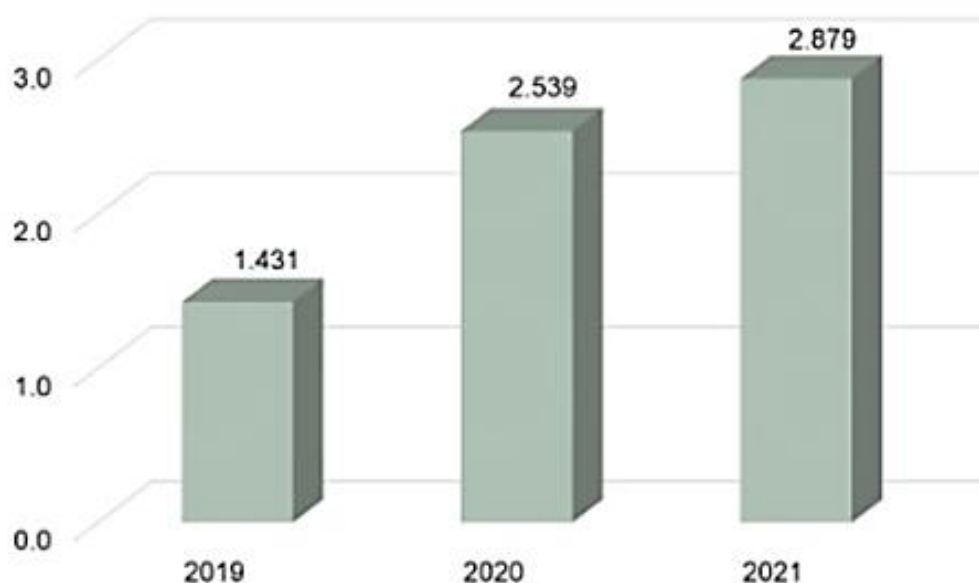
Рисунок 19. Количество проданных настольных систем 3D-печати



Настольные 3D-принтеры китайских компаний прочно закрепились на западных рынках. Говорят, что этому способствовали эффективные цепочки поставок, быстрые исследования и разработки, качество продукции и более низкая цена. Во время пандемии потребители и другие лица в США и Европе импортировали настольные 3D-принтеры из Китая для производства средств индивидуальной защиты.

По данным Альянса аддитивного производства Китая, в 2021 году в Китае работало более 120 производителей настольных 3D-принтеров. Общий объем продаж в 2021 году составил около 3,2 млн шт., из которых 90% приходится на экспорт. Общая стоимость этого экспорта составила 580 млн долл., что вдвое больше, чем в 2019 году, а в 2020 году продажи настольных 3D-принтеров в Китае составили около 2,8 млн шт. На рисунке 20 показано примерное количество экспортированных настольных 3D-принтеров из Китая за последние три года (млн шт.) [4]. На Anycubic и Creality приходится почти половина продаж настольных принтеров в Китае, при этом совокупный годовой объем продаж в 2021 году составил более 1,5 млн шт. [4]

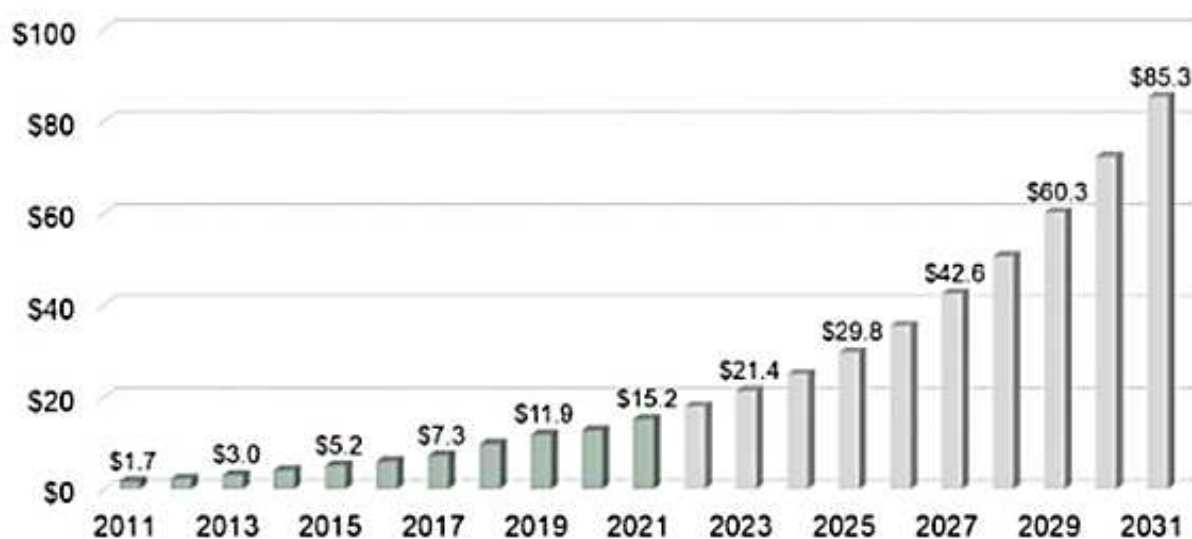
Рисунок 20. Количество экспортированных настольных 3D-принтеров из Китая



Индустрия АТ восстанавливается после последствий пандемии COVID-19. Некоторый рост в 2021 году можно объяснить отложенным спросом с 2020 года. После снятия ограничений компании возобновили инвестиции в исследования и разработки и расширение своих возможностей и направлений. С 2010 по 2019 год рост отрасли АТ в среднем составлял 27,4% в год. В 2020 году индустрия АТ выросла на 7,5%, что было лучше, чем многие ожидали, поскольку ограничения, связанные с пандемией, действовали в полной мере. В 2021 году индустрия АТ выросла на 19,5% из-за спроса на продукты и услуги после года неопределенности и сокращения инвестиций.

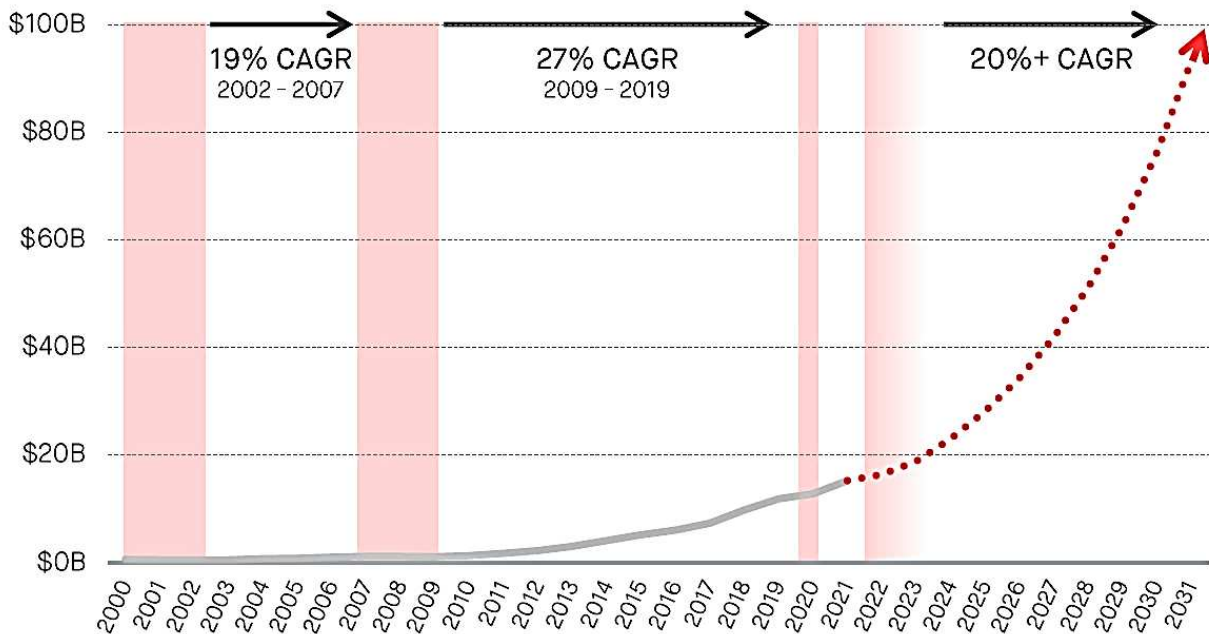
Ассоциация Wohlers прогнозирует, что промышленный рост продолжится относительно высокими темпами. На рисунке 21 представлен прогноз мирового рынка АТ в млрд долл. [4].

Рисунок 21. Прогноз мирового рынка АТ



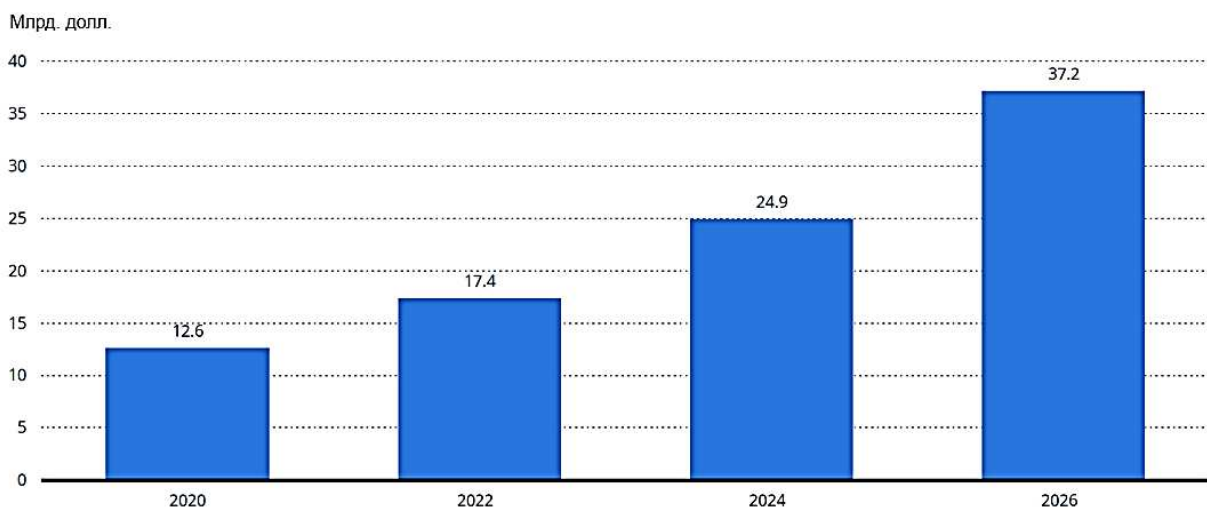
Оценки компании Desktop Metal (Рисунок 22) по объёму мирового рынка АТ являются ещё более амбициозными. Так, к 2031 году производитель предполагает рост рынка до 100 млрд долл., а среднегодовой рост (англ. CAGR) составит около 20% [9].

Рисунок 22. Прогноз мирового рынка АТ от компании Desktop Metal



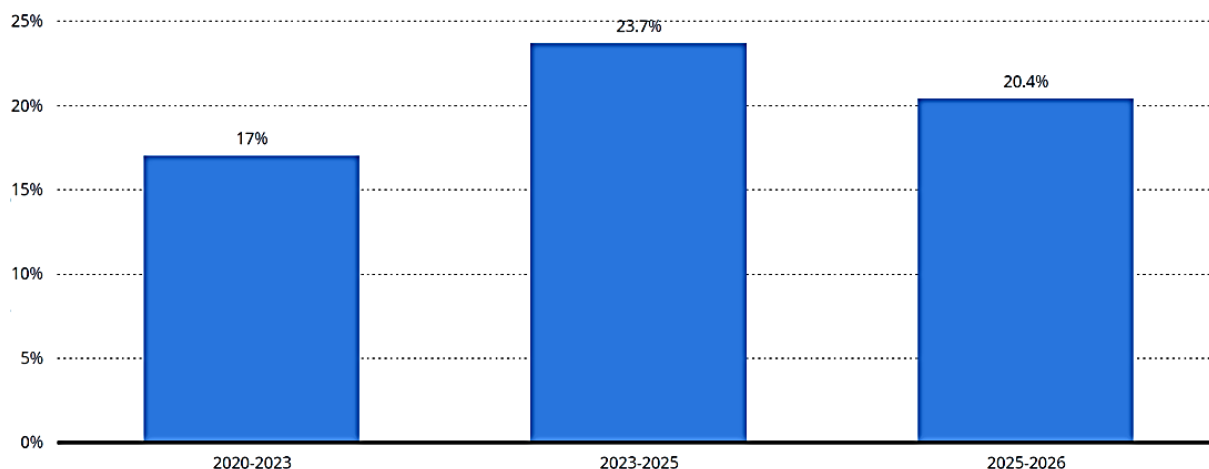
Оценки по объёму мирового рынка АТ согласно Statista показывают, что рынок вырастет почти до 25 млрд долл. к 2024 году, а к 2026 году достигнет 37,2 млрд долл. (Рисунок 23) [10].

Рисунок 23. Прогноз мирового рынка АТ согласно информационному ресурсу Statista



Согласно данным Statista мировой рынок аддитивных технологий будет расти заметными темпами. В период с 2023 года по 2025 год ожидается рост в размере 23,7%, а в период 2025–2026 гг. ежегодный рост составит 20,4% (Рисунок 24) [10].

Рисунок 24. Среднегодовой рост мирового рынка АТ согласно информационному ресурсу Statista

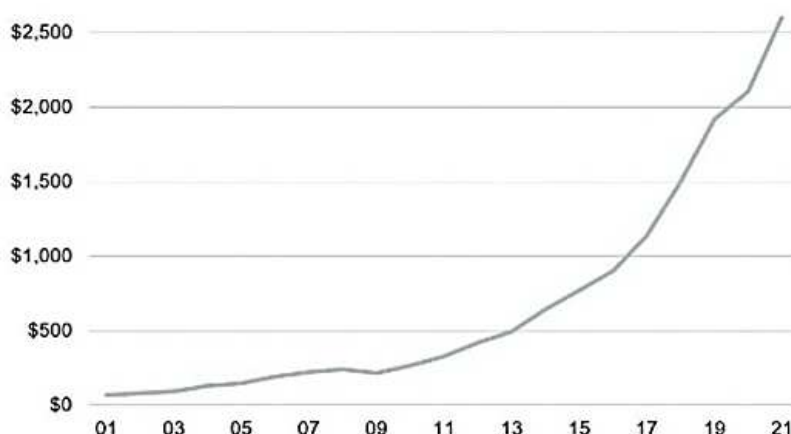
*Резюме:*

- увеличение количества проданных единиц оборудования идет в первую очередь за счет появления новых сильных производителей на рынке АТ, а также за счет наращивания объемов продаж среди существующих, но менее известных и авторитетных компаний;
- как и предполагалось, прогнозируемый ранее отложенный спрос в 2020 году поспособствовал активному росту количества продаж в 2021 году;
- среднегодовой темп роста мирового рынка АТ с 1990 по 2021 год составляет 21,2%, при этом за последние 4 года (2018–2021 гг.) этот показатель составляет 13,4%.
- 3D-печать металлом является наиболее востребованным сегментом в мире, как и в прежние годы;
- Полимерные решения промышленной 3D-печати сравнительно дешевле, чем металлические. В 2021 году средняя цена на промышленную полимерную систему 3D-печати составляла 51 094 долл. В 2021 году полимерных промышленных систем 3D-печати было продано в 10 раз больше, чем металлических.
- кризисный период с пандемией COVID-19 не повлиял на продажи персональных 3D-принтеров, данный сегмент показывал стабильный рост;
- рост продаж среди частных клиентов и физических лиц обусловлен интересом потребителей к 3D-технологиям в формате «сделай сам», когда большое количество компаний не работало и население большинства стран оставалось дома, а также большим предложением со стороны производителей как по возможностям оборудования, так и по материалам;
- развитие 3D-технологий в профессиональной и научной сфере для обучения студентов и школьников во многих странах способствует увеличению количества продаж персонального 3D-оборудования;
- Китай является мировым лидером по количеству продаваемых решений настольной 3D-печати.

1.4 Жизненный цикл отрасли / рынка аддитивных технологий, стадия зрелости

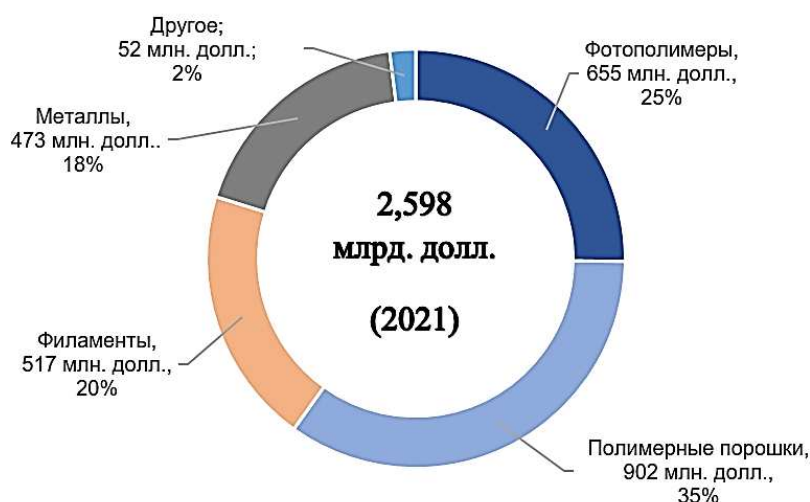
В 2021 году объем продаж материалов для всех установок 3D-печати (промышленных и настольных) составил 2,598 млрд долл. На рисунке 25 показан объем продаж расходных материалов по всему миру, включая как промышленные системы, так и настольные 3D-принтеры. Это на 23,4% больше, чем 2,105 млрд в 2020 году. Рентабельность производства материалов значительно превосходит рентабельность оборудования, поэтому в выручке производителей часто доля материалов составляет до 50% [4].

Рисунок 25. Объем продаж материалов для промышленных и настольных 3D-принтеров



Если говорить о структуре рынка материалов, то на металлы приходится не более 18%, а самым крупным сегментом рынка является направление “полимерные порошки” с долей рынка 35%. Фотополимеры занимают около 25% (Рисунок 26) [4].

Рисунок 26. Структура рынка материалов для 3D-печати

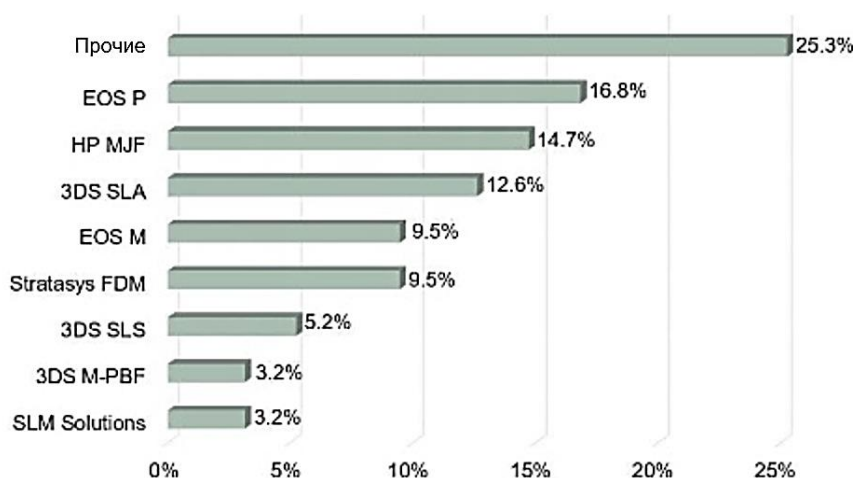


Таким образом, рынок аддитивных технологий находится на стадии активного роста: быстро возрастающий спрос, повышение рентабельности, падение цен как на сами машины, так и на исходные компоненты.

1.5 Тренды рынка аддитивных технологий

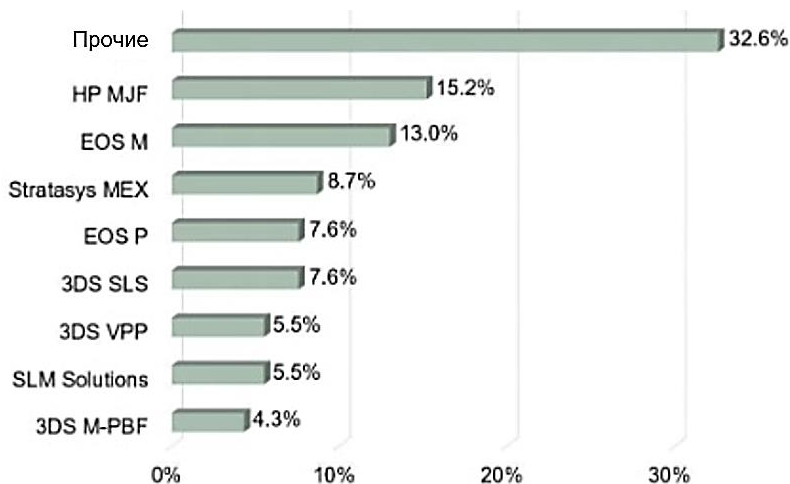
Поставщики услуг также были опрошены компанией Wohlers на предмет, какие аддитивные технологии и оборудование наиболее выгодны для них в 2021 году (Рисунок 27). Видно, что полимерное оборудование от компании EOS с технологией 3D-печати PBF стало лидером с показателем 16,8%. Технология MJF от компании HP стало вторым по популярности с показателем 14,7%, за ним следует SLA от 3D Systems с 12,6%. Среди металлических технологий PBF от EOS занял первое место. Категория «Прочие» показывает, что 25,3% респондентов заявили, что их самый прибыльный процесс АТ – от менее известных производителей систем 3D-печати. Как правило, это молодые компании, не занявшие значительной доли рынка [4].

Рисунок 27. Популярность использования 3D-систем по прибыльности



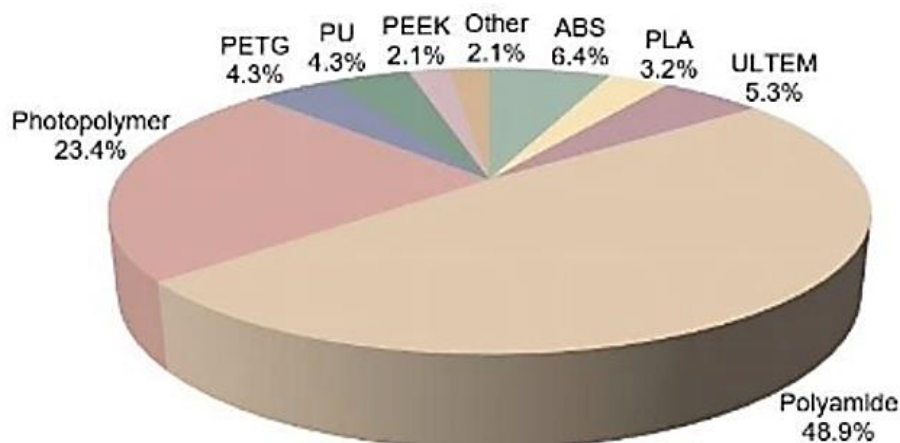
Поставщиков услуг также опросили, какую технологию они, скорее всего, приобретут, если собираются расширить свои мощности аддитивного производства. Наиболее популярным ответом стала технология MJF от HP. На втором и третьем месте по популярности оказались металлический PBF от EOS и полимерный MEX от Stratasys (Рисунок 28). Ответы на этот вопрос показывают растущий интерес к системам с технологией PBF [4].

Рисунок 28. Популярность технологий и производителей при расширении парка оборудования



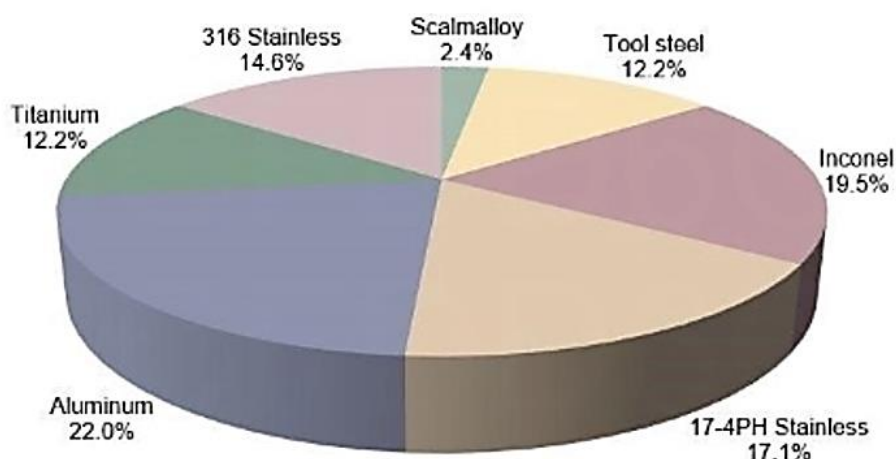
Компании, оказывающие услуги 3D-печати, также опросили по наиболее востребованным материалам, которые приносят им более высокую выручку. На рисунке 29 и 30 показаны данные распределения по материалам, отдельно по пластикам и 2отдельно по металлам (англ.) [4].

Рисунок 29. Распределение пластиковых материалов для компаний-поставщиков услуг



Полиамиды занимают доминирующую позицию с долей в 48,9% как самый популярный и выгодный материал для поставщиков услуг. Популярность данного материала в 2021 году упала с 62,2% по сравнению с 2020 годом, но все равно составляет наибольшую долю среди пластиков [4].

Рисунок 30. Распределение металлических материалов для компаний-поставщиков услуг



В металлических материалах и сплавах распределение долей более равномерное, но лидирующие позиции занимают алюминиевые сплавы с долей в 22%, инконель 19,5% и сталь (17-4PH) 17,1%. Интересно, что в 2020 году алюминиевые сплавы занимали первое место с долей в 32,7%, а инконель и сталь (17-4PH) всего 8,2% и 6,1%.

Резюме:

- наиболее известные и крупные компании, зарекомендовавшие себя на рынке

аддитивных технологий, до сих пор остаются наиболее востребованными среди потребителей;

- вопрос качества, стабильности печати и надежности оборудования для потребителей является основным, вопрос цены остается зачастую второстепенным;
- промышленные решения по пластику занимают лидирующие позиции на рынке и обгоняют металлические решения по прибыльности среди компаний, оказывающих услуги.

1.6 Барьеры рынка аддитивных технологий

Сегодня существуют определенные ограничения для массового использования аддитивных технологий в мире и в России:

- Ограниченность спектра материалов для аддитивного производства, сложность их получения и, соответственно, дороговизна;
- Отсутствие знаний и навыков применения аддитивных технологий у конструкторов предприятий и технологов;
- Ограниченная на данный момент производительность аддитивных машин.
- Применительно к России на распространение аддитивных методов производства наибольшее влияние оказывают отсутствие национальных и отраслевых стандартов, а также методологической и нормативной базы испытаний, систем сертификации.

Низкий интерес со стороны российских промышленных предприятий обуславливается неразвитым спросом и общим консерватизмом в отношении новых технологий, высокой стоимостью оборудования и материалов, а также отсутствием системы сертификации изделий, получаемых аддитивными методами. Поскольку большое количество машин закупается различными научными организациями для проведения различных исследований либо для выполнения мелкосерийных заказов, их уровень загрузки остается чрезвычайно низким – всего 15%.

Существенным ограничением для разработки отечественного оборудования для аддитивного производства может стать его стоимость – если она не окажется значительно ниже стоимости оборудования существующих поставщиков или же новое оборудование не будет обладать принципиально новыми возможностями, делающими его привлекательным для российского рынка, разработка такого оборудования окажется нецелесообразной.

Проблемой также является малое количество перспективных разработок, которое сейчас ведется в России, где бы могли бы найти применение аддитивные технологии, либо данные разработки не афишируются, поскольку производятся в рамках ОПК – в любом случае, институты и организации, специализирующиеся на исследованиях в области аддитивных технологий, не имеют возможности их успешно коммерциализировать.

1.7 Риски рынка аддитивных технологий

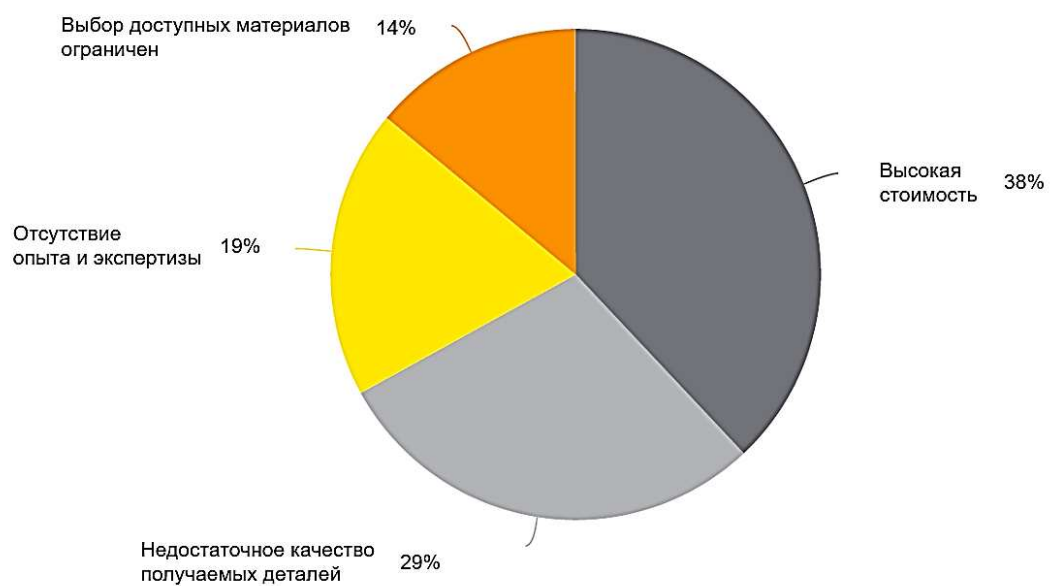
Согласно данным консалтинговой компании «Инфомайн» и журналу Forbes [6, 9], а также опросам АРАТ, основными проблемами развития аддитивных технологий в РФ являются:

- Высокие начальные вложения, требуемые для организации промышленного производства. Современное промышленное оборудование 3D-печати, обеспечивающее достаточный уровень качества, требует значительных финансовых вложений. Именно поэтому, начальные инвестиции и расходы рассматриваются как основное ограничение при внедрении аддитивных технологий в промышленности. Зачастую игроки рынка отмечают, что аддитивные технологии – это всегда долгосрочные инвестиции, которые не всегда окупаются за относительно короткий срок и фактически являются полной трансформацией производства. Ряд заказчиков предпочитает в таких случаях передавать производство деталей сторонней организации, например, независимому центру аддитивных технологий, но не всегда это является возможным, если речь идёт о деталях ОПК, авиационной промышленности и т.д.
- Отсутствие широкого положительного опыта 3D-проектирования изделий и внедрения их в промышленности. Это тесно связано с нехваткой квалифицированных кадров, например проектировщиков и конструкторов, работающих в современных программных продуктах для 3D-проектирования. В целом можно отметить, что специалистов в области АТ пока недостаточно, поэтому количество российских образовательных организаций высшего образования, осуществляющих подготовку специалистов в области аддитивных технологий постоянно увеличивается, и по состоянию на сентябрь 2022 года количество таких ВУЗов в России насчитывает уже 26 организаций.
- Отсутствие разработанных и годных к промышленному применению отечественных материалов. Ряд компаний отмечает, что не только стоимость и доступность материала, но и его рабочие характеристики зачастую не до конца соответствуют требованиям, что сказывается на точности формы и качестве поверхности получаемых деталей.
- Малое количество разработок отечественного оборудования и программного обеспечения;
- Нормативная база. Для внедрения аддитивных технологий в производство необходимо сформировать отраслевую нормативную базу на основе комплексных испытаний материалов, изделий и применяемых технологий.

Следует также отметить, что санкционные ограничения по отношению к РФ накладывают дополнительные риски поставок высокотехнологичной продукции, а также её сервисного обслуживания: поставка запчастей и выезд иностранных сервисных инженеров на объект производства. Внутреннее программное обеспечение современных 3D-принтеров также взаимодействует с корпоративным облачным сервером производителя. Это может потенциально накладывать ограничения и создавать риски при работе установки на территории РФ.

Согласно информационному ресурсу Statista опрошенные игроки рынка АТ отмечают следующие факторы, которые мешают больше использовать 3D-печать (Рисунок 31). Так, 14% опрошенных компаний считают, что выбор материалов на сегодня остаётся недостаточным, 38% считают 3D-печать дорогим и зачастую невыгодным процессом производства, 19% опрошенных ссылаются на отсутствие необходимого опыта и экспертизы, 29% компаний считают, что качество выпускаемых деталей методами АТ является низким и не соответствует требованиям в ряде отраслей [10].

Рисунок 31. Ограничивающие факторы использования 3D-печати согласно опросам Statista



ГЛАВА 2. НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ, В ТОМ ЧИСЛЕ АНАЛИЗ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДДЕРЖКИ ПО НИРАМ И НИОКРАМ ПО ИССЛЕДУЕМОЙ ОБЛАСТИ

Главным документом в рассматриваемый период стало Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 июля 2021 г. № 1913-р «Утвердить прилагаемую Стратегию развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года» [1]. В настоящий момент Минпромторг заканчивает подготовку плана мероприятий по реализации данной стратегии.

В рамках государственной политики поддержки передовых технологий выпущено постановление правительства Российской Федерации от 18.02.2022 г. № 208 «О предоставлении субсидии из федерального бюджета автономной некоммерческой организации «Агентство по технологическому развитию» на поддержку проектов, предусматривающих разработку конструкторской документации на комплектующие изделия, необходимые для отраслей промышленности» [12].

Позднее было выпущено постановление правительства Российской Федерации от 18.05.2022 г. № 895 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета кредитным организациям на возмещение недополученных доходов по кредитам, выданным на приобретение приоритетной для импорта продукции» [13].

Принятие данных постановлений позволит российским участникам рынка АТ продолжить работу и реализовать достижение целей импортозамещения.

Дополнительно Московский фонд поддержки промышленности и предпринимательства установил льготные займы и продемонстрировал готовность выступить в качестве финансового партнера по реализации проектов в сфере аддитивных технологий, реализуемых московскими предприятиями.

Фонд является подведомственной организацией Департамента инвестиционной и промышленной политики города Москвы, а также реализует свою деятельность в рамках двух основных программ: «Льготные целевые займы», когда кредитором выступает сам фонд, и «Компенсации части процентных платежей по кредитам». Займы предоставляются на срок до 5 лет, размером до 300 млн рублей. Доля займа в финансировании проекта не более 70%. Ставка займа устанавливается как ключевая ставка банка России «минус» 3% (1,5%) – зависит от вида обеспечения. Чтобы получить кредит, компания-заявитель должна соответствовать критериям фонда. Предприятие должно быть локализовано в Москве, иметь на территории города производственную базу. Полученные финансовые средства организация может потратить на приобретение оборудования, закупку материалов, приобретение программного обеспечения. Вторая программа, «Компенсации платежей по кредитам», заработала в 2022 г., с ее помощью предприятие может сократить до 3% выплат банку-кредитору. Для высокотехнологичных компаний, в том числе занимающихся аддитивными технологиями, требования значительно мягче, в том числе по количеству занятых сотрудников, при этом экономия на процентах позволит предприятию привлекать дополнительные кадры и развивать производство.

Единственным зримым элементом государственной поддержки является финансирование НИОКР в области аддитивных технологий. В числе наиболее значимых работ:

- «Разработка технологии получения гранул жаростойких сталей для аддитивного

производства элементов перспективных изделий ракетно-космической техники, Шифр «Сакура» (2020–2023 гг. – 226 млн руб.) [14];

- «Разработка новых технологий, включая цифровые аддитивные, изготовления полупабрикатов из высокотемпературных металлических, металлокерамических и полимерных композиционных материалов нового поколения для перспективных авиационных газотурбинных двигателей», Шифр «Высота» (2021–2023 гг. – на сумму 728 млн руб.) [15];
- «Разработка технологии изготовления сложнопрофильных заготовок и деталей изделий ракетно-космической техники из многокомпонентных сплавов на основе титана и его алюминидов методом послойного электроннолучевого сплавления», шифр «Береста» (2021–2025 гг., всего – 567 млн руб.) [15].

Другие меры и суммы, выделенные из государственного бюджета на поддержку аддитивной отрасли, а также ключевые инициативы по состоянию на октябрь 2022 г. не найдены.

В качестве мер поддержки отрасли АТ в ряде стран правительством приняты стратегические программы развития. Они нацелены на продвижение аддитивных технологий у заказчиков, также создаются программы обучения и подготовки специалистов в крупных ВУЗах. Например, такие стратегии приняты в Индии [16], Турции [17], Китае [18]. Так, для Индии, согласно Национальной стратегии развития аддитивных технологий предполагается увеличить долю Индии на мировом рынке АТ до 5% в течение ближайших трёх лет, при этом дополнительный вклад аддитивных технологий в ВВП страны может составить 1 млрд долл. Для развивающихся компаний правительство помогает с выделением льготного финансирования (льготные кредиты), а также гранты на НИОКР. Дополнительная поддержка осуществляется в виде организации форумов, семинаров, выставок.

2.1 Национальный и международный нормативно-технологический ландшафт

В таблице 23 (Приложение 3) проанализирован международный опыт организации консорциумов и иных форм взаимодействия в области аддитивных технологий.

Целями подобных объединений могут быть:

- организация финансирования научных исследований;
- просвещение, информирование общества о возможностях аддитивных технологий;
- разработка отраслевых стандартов для производимой аддитивным способом продукции;
- координация и стимулирование сотрудничества;
- проведение научных исследований.

Среди участников консорциумов или их аналогов могут быть представлены:

- производственные и сервисные компании;
- некоммерческие организации – отраслевые ассоциации и союзы, инжиниринговые центры;
- государственные органы и подведомственные структуры;
- академические организации.

Финансирование подобных объединений различается в зависимости от выполняемых целей и

состава участников. Возможны различные варианты:

- прямое государственное финансирование;
- реинвестирование прибыли от основной деятельности (оказание консультационных услуг, выполнение НИОКР);
- взносы участников.

Исходя из того, как организован консорциум, различной может быть роль государства:

- создание;
- обеспечение основного/частичного финансирования;
- доведение до участников государственной политики.

Международный опыт создания нормативно-правовой базы для процессов аддитивного производства показывает, что именно расширение стандартов позволяет ускорить внедрения современных 3D процессов в производство. Так, например, была создана международная группа ISO/TC 261 состоящая из 27 членов (стран) и 8 наблюдателей, в которых принятые стандарты являются легитимными. В настоящий момент ISO/TC 261 к концу 2021 года было выпущено 20 стандартов касающиеся процессов аддитивного формирования изделий и исходных материалов.

Стандарты технологии аддитивного производства ASTM предназначены для распространения знаний об отрасли, стимулирования исследований и поощрения внедрения технологий. Стандарты определяют терминологию, измеряют производительность различных процессов, обеспечивают качество конечной продукции и определяют процедуры калибровки машин для аддитивного производства. 34 стандарта было опубликовано к концу 2021 года.

Согласно данным консалтинговой компании «Инфолайн аддитивные технологии (АТ) в современном их понимании практикуются в России сравнительно недавно, примерно с 2005 г. (точечно) и с 2010 г. (более системно) в таких высокотехнологичных отраслях, как авиакосмическая отрасль, машиностроение, судостроение и медицина [8].

В настоящее время для широкого внедрения аддитивных технологий в России создаются нормативные условия, готовятся многие элементы системы сертификации и стандартизации изделий, технологических процессов, порошков и композиций. Для решения этих вопросов при Росстандарте был сформирован и успешно функционирует специализированный технический комитет. В частности, 5 мая 2017 г. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) утвердило первые национальные стандарты в области аддитивных технологий. Они разработаны техническим комитетом по стандартизации ТК 182 «Аддитивные технологии» совместно с ГК «Росатом». На смену ISO/ASTM 52900:2015 «Additive manufacturing – General principles – Terminology» пришел ГОСТ Р 57558 «Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения», устанавливающий базовые термины и определения и служащий основой для понимания фундаментальных принципов аддитивного производства. Второй стандарт – ГОСТ Р 57556 «Материалы для аддитивных технологических процессов. Методы контроля и испытаний» не имеет международных и региональных аналогов.

Проект разработан с учетом задач и соблюдением принципов и правил проведения работ по стандартизации именно в Российской Федерации. Он устанавливает методы контроля и испытаний сырья в виде металлических порошковых композиций, используемых при аддитивном

производстве. Представленные методы позволяют проводить всестороннюю оценку качества порошковых композиций, применяемых при аддитивном производстве, с помощью процессов прямого подвода энергии и материала различных поставщиков для определения соответствия качества порошков требованиям нормативной документации (технических условий, сертификата качества и т.д.), а также применимости для изготовления требуемых деталей в условиях конкретного аддитивного производства.

В 2020 г. были приняты ГОСТ Р 59036-2020 «Аддитивные технологии. Производство на основе селективного лазерного сплавления металлических порошков. Общие положения», ГОСТ Р 59037-2020 «Аддитивные технологии. Конструирование металлических изделий. Руководящие принципы», ГОСТ Р 59038-2020 «Аддитивные технологии. Подтверждение качества и свойств металлических изделий», ГОСТ Р 59184-2020 «Аддитивные технологии. Оборудование для селективного лазерного сплавления. Общие требования», ГОСТ Р 59095-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Термины и определения»; ГОСТ Р 59096-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Методы испытаний»; ГОСТ Р 59097-2020 «Материалы для аддитивного строительного производства. Технические требования».

В 2022 г. начали действовать ГОСТ Р 59569-2021 «Аддитивные технологические процессы. Нанесение связующего струйное. Сырье для изготовления песчано-полимерных деталей. Методы испытаний», ГОСТ Р 57588-2021 «Аддитивные технологии. Оборудование для аддитивных технологических процессов. Общие требования», ГОСТ Р 59929-2021 «Аддитивные технологии. Данные об образцах для испытаний, изготовленных с применением аддитивных технологических процессов. Общие требования», ГОСТ Р 59930-2021 «Аддитивные технологии. Процесс синтеза изделий из металлических порошков на подложке для критических применений. Общие положения».

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ИГРОКИ РЫНКА АТ: КОЛИЧЕСТВО, РЫНОЧНЫЕ ДОЛИ, ОПИСАНИЕ ПРОДУКТОВ И РАЗРАБОТОК

В данном разделе приводится описание наиболее известных компаний на рынке АТ согласно Wohlers [4] и Statista [10], а также указывается общая выручка компаний за 2021 год. Основной упор делается именно на разработчиков и производителей оборудования 3D-печати, которые на сегодняшний день являются самыми известными на рынке.

Немецкая компания SLM Solutions – один из пионеров в области оборудования для SLM-технологий. Компания является ведущим поставщиком промышленного оборудования для аддитивного производства на основе металлического порошка. Штаб-квартира SLM Solutions находится в городе Любеке в Германии.

SLM Solutions специализируется на устройствах, работающих по технологии SLM. Число авторитетных клиентов этой компании растет с каждым днем. К ней обращаются представители самых разных отраслей, например, аэрокосмической промышленности, энергетики, медицины, автомобильной промышленности и т.д. В ходе производства микроскопически тонкие слои измельченного до порошкообразного состояния металла (например, титана, стали, алюминия или золота) последовательно сплавляются вместе под воздействием высокоточных лазеров. В результате получаются цельные металлические детали. В настоящее время этот запатентованный процесс используется главным образом в сфере прототипирования, а также в производстве небольших партий чрезвычайно сложных металлических деталей, которые невозможно создать традиционными способами. Основной модельный ряд оборудования SLM Solutions представлен на рисунке 32 [19].

В качестве последних событий компании можно выделить следующие:

- Компания SLM Solutions (Германия) заявила о выходе на рынок нового принтера NXG XII 600. Эксперты высоко оценивают это событие для обрабатывающей промышленности, поскольку это революционное решение в сфере индустриализации аддитивного производства металлических изделий. NXG XII 600 оборудован 12 лазерами, каждый мощностью 1 кВт, и камерой построения 600 x 600 x 600 мм. Это самый быстрый принтер на рынке (примерно в 20 раз быстрее однолазерных машин). Среди его инновационных технических возможностей – функция Zoom (индивидуальное масштабирование пятна лазера) для достижения максимальной производительности. Принтер предназначен для серийного производства и изготовления крупногабаритных изделий.
- Компания SLM Solutions продолжает также усиливать свои позиции в авиационной промышленности и двигателестроении. Как было заявлено в августе 2022 года, производитель поставил несколько систем SLM 500 для компании Rolls Royce, которая планирует использовать данные 3D-принтеры при производстве двигателей Pearl®10X. Этот двигатель является самым мощным представителем ведущего на рынке семейства двигателей Pearl, и он был специально разработан для высокотехнологичного реактивного самолета Dassault Falcon 10X.

Рисунок 32. Основной модельный ряд оборудования компании SLM Solutions

	2009	2011	2013	2017	2020
					
Применение	Создание прототипов, производство изделий малыми сериями.				Крупные изделия Серийное производство
Рабочая камера, мм	280 x 280 x 365	280 x 280 x 365	500 x 280 x 365	500 x 280 x 850	600 x 600 x 600
Лазеры, ед.	1	2	2 или 4	4	12
Скорость печати, см ³ / ч	до 88	до 88	до 171	до 171	более 1000

Компания 3D Systems основана в 1986 году, штаб-квартира располагается в Южной Каролине (США). 3D Systems является ведущим мировым поставщиком решений в области 3D печати, включающих персональные и профессиональные 3D принтеры и 3D сканеры. Оборудование 3D Systems используется более чем в 80 странах мира, в таких отраслях, как автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность, медицина. Основные технологии трехмерной печати, используемые американским производителем: SLS – выборочное лазерное спекание, SLA – стереолитография, DMP – прямое сплавление (спекание) металла. Основной модельный ряд оборудования 3D Systems по металлу представлен на рисунке 33 [20].

Рисунок 33. Основной модельный ряд оборудования компании 3D Systems по металлу

				
Серия (модель)	DMP Factory 500 Solution	DMP Flex 350	DMP Factory 350	DMP Flex 200
Рабочая камера, мм	500 x 500 x 500	275 x 275 x 420	275 x 275 x 420	140 x 140 x 115

EOS (Electro Optical Systems) – немецкая компания, основанная в 1989 году. За годы работы EOS заслужила звание одного из ведущих мировых производителей, выпускающих системы селективного (избирательного) спекания, получившие название «Selective Laser-Sintering (SLS)». По металлам компания использует технологию DMLS – прямое лазерное спекание металлов. Технология DMLS обладает несколькими достоинствами по сравнению с традиционными производственными методами. Наиболее очевидным является возможность быстрого производства геометрически сложных деталей без необходимости механической обработки. Основной модельный ряд оборудования компании EOS по металлу представлен на рисунке 34 [21].

Рисунок 34. Основной модельный ряд оборудования компании EOS по металлу



Renishaw – это глобальная инженеринговая компания, расположенная в Великобритании, лидер в области метрологии и контроля. Уже более 40 лет инновационная продукция компании Renishaw поддерживает разные виды бизнеса во всем мире – от инженеринга до двигателестроения в авиации, помогая повысить эффективность производственных процессов [22]. В Renishaw работают более 4000 сотрудников по всему миру и, учитывая значительные вложения в новые разработки и квалификационные кадры, компания создает уникальные, не имеющие аналогов технологии. Подразделение аддитивных технологий Renishaw в Великобритании включает 50 единиц 3D-принтеров и сопутствующего оборудования, ориентированного на осуществление полных циклов, начиная с разработки или оптимизации 3D-моделей, заканчивая построением и контролем готовых изделий.

Основной выпускаемой моделью оборудования для аддитивного производства является 3D-принтер RenAM 500Q (Рисунок 35). Это мультилазерная система, она оборудована четырьмя лазерами мощностью 500 Вт, каждый из которых способен работать по всей поверхности слоя порошка одновременно. RenAM 500Q обеспечивает значительно более высокую скорость построения и существенно повышает производительность и снижает удельные затраты на изготовление деталей. В RenAM 500Q имеются автоматизированные системы обработки порошка и отходов, которые обеспечивают неизменно высокое качество технологического процесса, сокращают время непосредственного вмешательства оператора в процесс и гарантируют соответствие системы высоким стандартам безопасности. Объем камеры построения составляет 250 мм на 250 мм на 350 мм. [22]

Рисунок 35. Оборудование RenAM 500Q для аддитивного производства от компании Renishaw



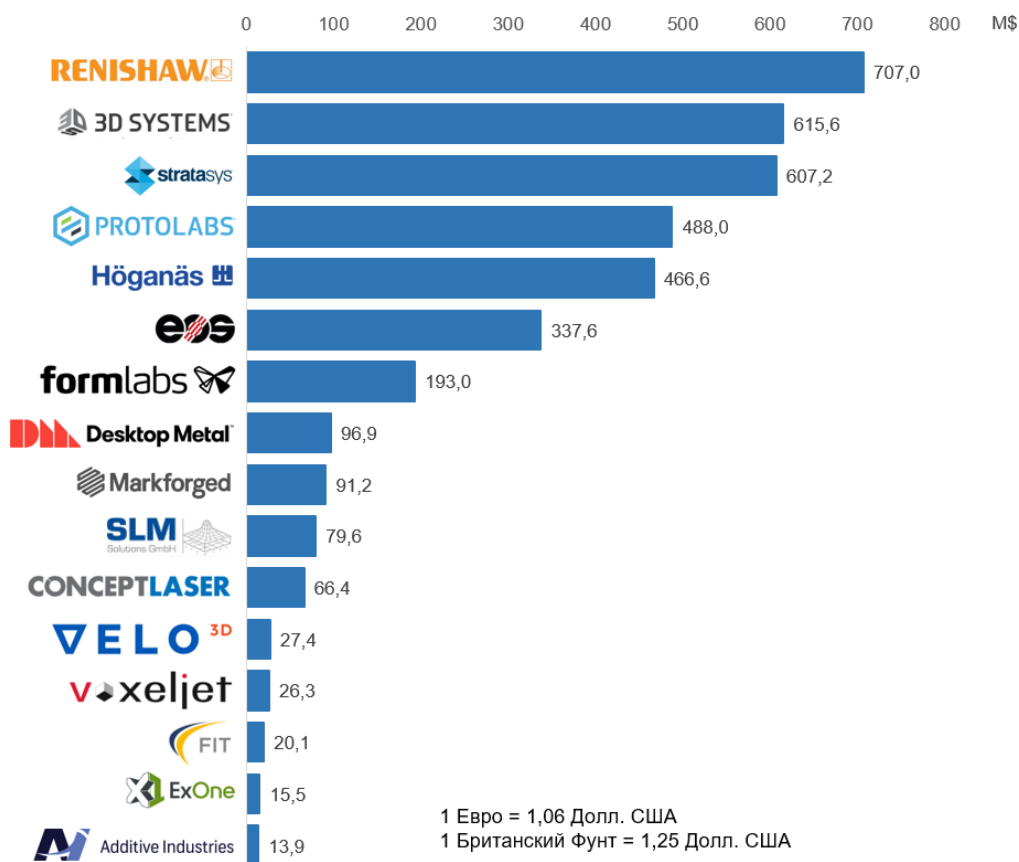
Stratasys Ltd. – американская компания, производитель 3D-принтеров, систем быстрого прототипирования и оборудования для аддитивного производства [23]. Оборудование Stratasys используется во всем мире в различных отраслях: автомобильной и авиационной промышленности, электронике, индустриальном производстве, медицине, ювелирном деле и даже в качестве домашних 3D-принтеров. 3D-принтеры производства Stratasys используют для печати одну из двух технологий. Первая основана на печати расплавленной пластиковой нитью (технология FDM), а вторая – уникальная струйная печать жидким фотополимером PolyJet и PolyJet Matrix. Начиная с 2011 года Stratasys начинает поглощать другие компании, занимающиеся 3D-печатью, в числе которых Solidscape, MakerBot, Solid Concepts и Harvest Technologies. Самым крупным шагом на пути развития, который поднял стоимость акций компании сразу в полтора раза, стало слияние в 2012 году с другим крупным мировым производителем 3D-принтеров – израильской компанией Objet Geometries. После этого Stratasys заняло новые высоты на рынке 3D-принтеров, компания остается одним из лидеров и на сегодняшний день.

Protolabs Inc – производитель нестандартных деталей по запросам заказчиков для прототипирования и быстрого производства [24]. Компания предлагает разработчикам и инженерам услуги по быстрому производству, чтобы сократить время выхода продукта (изделия) на рынок. Protolabs использует литье под давлением, обработку с числовым программным управлением, 3D-печать для изготовления деталей на заказ для своих клиентов. Таким образом, Protolabs можно отнести к крупному центру аддитивных технологий. Наиболее применяемые технологии 3D-печати в компании Protolabs: DMLS, SLS, SLA, PolyJet, MJF.

Höganäs AB – является лидирующим производителем порошковых сплавов, головная компания находится в г. Хёганасе (Швеция) [25]. В Höganäs разработаны высококачественные металлические порошки для 3D-печати с учетом особых требований аддитивного производства. Производители по всему миру добиваются оптимальных результатов с помощью порошков Höganäs и ценят их за следующие характеристики: хорошая сферическая форма, превосходная «текучесть», оптимизированное содержание кислорода и азота, надёжная упаковка.

На рисунке 36 показана выручка наиболее известных мировых игроков рынка АТ за 2021 год [4].

Рисунок 36. Выручка наиболее известных мировых игроков рынка АТ за 2021 год



Как уже отмечалось выше, в России создан специальный, единый отраслевой интегратор ООО «Русатом – Аддитивные технологии» (ООО «РусАТ») по направлению «Аддитивные технологии», консолидирующий усилия предприятий в области АТ. Эта компания создана в структуре Топливной компании Росатома «ТВЭЛ». ООО «РусАТ» координирует работу пула предприятий, среди которых ООО «НПО «Центротех» (предприятие Топливной компании Росатома «ТВЭЛ» в Новоуральске Свердловской области), АО «ЧМЗ» (предприятие Топливной компании в Глазове, Удмуртия), ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е.И. Забабахина», ФГУП «НИИ НПО «Луч», ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ» и другие.

Среди российских компаний можно выделить ряд наиболее известных производителей оборудования АТ (Таблица 11) [8]:

Таблица 11. Наиболее известные производители оборудования АТ в России

Наименование	Регион	Номенклатура оборудования для АТ	Используемый материал	Сайт
АО «Лазерные Системы»	СПб	M250, M350	Металлический порошок	https://www.lsystems.ru/

АО «ЦНИИТ-МАШ»	Москва	MeltMaster3D-160; MeltMaster3D-250; MeltMaster3D-550	Металлический порошок	https://cniitmash.com /
ООО «НПО Центротех»	Свердловская обл.	Rusmelt 300M, Rusmelt 600M	Металлический порошок	https://centrotech.ru/
ООО «ИЛ и СТ»	СПб	ИЛИСТ-L+	Металлический порошок	http://www.ilwt-stu.ru/
ООО «НПЦ «Лазеры и Аппаратура ТМ»	МО	МЛ6, МЛ-7	Металлический порошок	https://laserapr.ru/
ПАО «Электро-механика»	Тверская	СПС-1	Металлический порошок	http://www.el-mech.ru/
ООО «Титан-Авангард» (AddSol)	Москва	AddSol D250; D500; S90	Металлический порошок	https://addsol.ru/
ООО «Эксклюзивные решения»	СПб	RussianSLM 150, RussianSLM 200, RussianSLM 250, RussianSLM ProM	Металлический порошок	https://www.3dsia.ru/
ООО «Пикасо 3D»	Москва, Зеленоград	Designer, Designer Pro 250, Designer X Pro, Designer XL Pro, Designer Classic, Designer X, Designer XL	Нити термопластов	https://picaso-3d.ru
ООО «Тоталзед»	Москва	1000-PRO-LL, 450-PRO, G5, 250-G3, SLS-250, AnyForm FGF, AnyForm Pro и AnyForm 250-G3	Нити термопластов	https://totalz.ru/

Среди российских компаний можно выделить ряд наиболее известных производителей материалов для АТ (Таблица 12) [8]:

Таблица 12. Наиболее известные производители материалов для АТ в России

Наименование	Регион	Номенклатура АТ	Сайт
АО «Полема»	Тульская область	Металлические порошки	http://www.polema.net/
ФГУП «НИЦ «Курчатовский Институт» - ВИАМ»	Москва	Металлические порошки	https://viam.ru/
АО «ОЗ «Микрон»	Псковская область	Металлические порошки	https://ozm.ru/
ООО «Нормин»	Новгородская область	Металлические порошки	https://normin.ru/
ООО «Сферам»	Челябинская область	Металлические порошки	https://sferam74.ru/
АО «Композит»	Московская область	Металлические порошки	https://kompozit-mv.ru/
ПАО «Ашинский Мет-завод»	Челябинская область	Металлические порошки	https://www.amet.ru/
ООО «Гранком»	Нижегородская область	Металлические порошки	https://grankom.com
ООО «НПО «Центротех»	Свердловская область	Металлические порошки	https://centrotech.ru/
ООО «ИЛМиТ»	Москва	Металлические порошки	https://ilmit.ru/
РУСАЛ (СУАЛ-ПМ, Валком-ПМ)	Волгоградская область	Металлические порошки	https://rusal.ru/
АО «Гиредмет»	Москва	Металлические порошки	https://giredmet.ru/
ПАО «Северсталь» («ООО «ССМ-Тяжмаш»)	Волгоградская область	Металлические порошки	https://ssm-tyazhmash.severstal.com/
ОАО «ВИЛС»	Москва	Металлические порошки	https://oaovils.ru/

Наименование	Регион	Номенклатура АТ	Сайт
АО «ЧМЗ»	Удмуртия	Металлическая проволока	http://www.chmz.net/
ООО «РЭК»	Москва	Термопластиковые нити	https://rec3d.ru
ООО «Хоумстайл»	Томск	Термопластиковые нити	https://bestfilament.ru/
ООО «ПК НИТ»	Волгоград	Термопластиковые нити	https://plastik-nit.ru/
ООО «Харц Лабс»	Москва	Фотополимеры	https://harzlabs.ru/

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА УСПЕШНЫХ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ И ЛУЧШИХ ПРАКТИК

С точки зрения взаимодействия производителя оборудования 3D-печати и конечного заказчика на рынке существует два основных подхода:

Работа через партнёрскую сеть. В данном случае между производителем оборудования и дистрибьютором заключается договор, согласно которому торговая компания получает статус официального партнёра, который получает от производителя определённую скидку, проходит серию обучений и аттестаций. В ряде случаев дистрибьютор имеет право осуществлять и сервисную поддержку, т. е. получает статус сервисного партнёра. Эта модель позволяет производителю расширить своё присутствие на рынке за счёт партнёров, которые могут быть расположены в разных странах и регионах. Через данную модель продаж реализуются как небольшие 3D-принтеры, так и промышленные модификации.

Работа напрямую с конечным заказчиком. В случае, если потенциальным заказчиком выступает крупный промышленный холдинг, или авиастроительное предприятие, производства ОПК и т.д., то работа зачастую ведётся напрямую «производитель – заказчик». В данном случае формируется индивидуальный подход и коммерческие условия для крупного предприятия, где выстраивается аддитивное производство. Такая модель работы, как правило, включает в себя весь комплекс дополнительных услуг: ввод в эксплуатацию систем АП, тестирование, сервисное обслуживание, а также совместная работа «производитель – заказчик» по процессам 3D-печати. Т. е. производитель может оказывать всю необходимую поддержку при разработке деталей и по контролю качества производства совместно с заказчиком.

Также можно отметить и партнёрства, которые выстраиваются между производителями оборудования и материалов. Зачастую для производителя 3D-принтеров необходимо иметь материалы с определёнными характеристиками. Именно поэтому производитель разрабатывает совместно с производителем материалов необходимое решение для заказчика.

На рисунке 37 представлены основные бизнес-модели на рынке АТ.

Так, согласно приведённой на рисунке 37 информации, все известные производители оборудования реализуют свою продукцию как напрямую конечному заказчику, так и через партнёрскую сеть. Производители материалов поставляют продукцию производителям оборудования, центрам аддитивных технологий, а также реализуют её через партнёрскую сеть. Детали и компоненты, произведённые методами 3D-печати, поставляются конечному заказчику центрами аддитивных технологий, при этом центр АТ может быть независимым или располагаться на предприятии заказчика. Таким образом, на рисунке 37 показаны основные бизнес-модели и взаимодействие производителей оборудования, производителей материалов, партнёров, центров аддитивных технологий и конечных заказчиков.

Общее количество дистрибьюторов 3D-принтеров в мире на сегодня очень большое. Эта бизнес-модель (канал сбыта продукции) на сегодня является очень успешной и применяется на многих других рынках. Именно широкая и квалифицированная партнёрская сеть позволяет производителю обеспечить стабильные поставки и продажи оборудования и материалов. Основные компании приведены на портале <https://www.3dprintingbusiness.directory/companies/>.

Рисунок 37. Основные бизнес-модели на рынке АТ



4.1 Инвестиции, сделки по слияниям и поглощениям (M&A), кооперация

Мировой рынок аддитивных технологий исторически формировался через ряд сделок M&A. Небольшие стартапы, выходявшие на определённый уровень развития, проявляли интерес к продаже бизнеса более крупным игрокам рынка. Таким образом, происходила консолидация рынка и формирование уже крупных компаний. Аддитивные технологии привлекали внимание крупнейших транснациональных корпораций, которые активно инвестировали в перспективную отрасль АТ.

Одним из лидеров по инвестициям в сектор аддитивных технологий в 2016 году стал концерн General Electric, объявивший о создании подразделения аддитивных технологий (GE Additive) путем покупки компаний Arcam AB (650 млн долл.) и Concept Laser GmbH (599 млн долл.). Суммарные вложения в новую компанию составили около 1,4 млрд долл. [26]. В свою очередь, инвестиции Hewlett Packard (HP) в подразделение аддитивных технологий оцениваются в более, чем 300 млн долл. Компания 3D Systems в течение последних нескольких лет купила более 50 фирм, работающих в области производства 3D-принтеров, программных продуктов, материалов и в сфере оказания услуг. Одной из крупнейших сделок стала покупка в январе 2012 года компании ZCorporation за 135 млн долл. В 2021 году компания Desktop Metal приобрела за 575 млн долл. бизнес производителя ExOne, который специализируется на аддитивной печати керамикой и металлами. В 2022 году компания SLM Solutions Group AG и Nikon Corporation заключили инвестиционное соглашение в отношении добровольного публичного предложения о поглощении, которое компания Nikon сделала в отношении всех находящихся в обращении акций SLM по цене 20 евро за акцию. Общая стоимость сделки оценивается в 622 млн евро. Всего, согласно SLM Solutions Group [27], число слияний и поглощений в отрасли АТ выросло с 17 событий в 2017 году до 29 в 2019 году, прежде чем снизиться до 25 событий 2020 года. Это было связано с тем, что инвестиции были отложены из-за широко распространенной неопределенности (COVID-19), а в

2021 году события слияний и поглощений стали рекордными, когда 49 компаний нашли новых владельцев.

На рынке аддитивных технологий, помимо сделок M&A, есть и формы кооперации. Как правило, такие формы партнёрства организованы между производителями оборудования и производителями материалов. Основной целью такого взаимодействия является создание материалов, специально разработанных под конкретные 3D-принтеры. Например, Evonik, одна из ведущих мировых компаний по производству специальной химии, присоединилась к Stratasys в качестве нового партнера компании по производству материалов для 3D-принтера Origin One, основанного на технологии проекторной стереолитографии под обозначением P3 (Programmable photopolymerization). Evonik делится своим опытом в разработке и производстве готовых к использованию фотополимерных материалов для улучшения платформы P3, которая обеспечивает качество деталей для литья под давлением и чистоту поверхности с выдающейся точностью в разнообразном и постоянно растущем ассортименте высокоэффективных материалов.

Отметим, что на российском рынке аддитивных технологий пока не наблюдалось заметных сделок M&A. В то же время, по данным Ассоциации Развития Аддитивных Технологий (АРАТ) ряд производителей 3D-принтеров потенциально готовы и рассматривают вариант продажи бизнеса крупным организациям. В качестве инвесторов в первую очередь могут выступать крупные Госкорпорации такие как Росатом и Ростех. Это связано с тем, что данные Госкорпорации активно развивают и внедряют аддитивные технологии, а также имеют стратегические задачи развивать новые направления и выход на международные рынки. В связи с этим в перспективе потенциально можно ожидать новые партнёрства и сделки M&A как в Российской Федерации, так и за рубежом.

4.2 Новые крупные проекты: участники, планы, суммы привлеченных инвестиций

Отдельный интерес представляет объем финансовых затрат, который производители оборудования 3D-печати ежегодно тратят на научные исследования и новые разработки. Согласно данным информационного ресурса Statista затраты компаний 3D Systems и Stratasys на R&D приведены на рисунке 38 и 39 [10].

Рисунок 38. Финансовые затраты компании 3D Systems на R&D

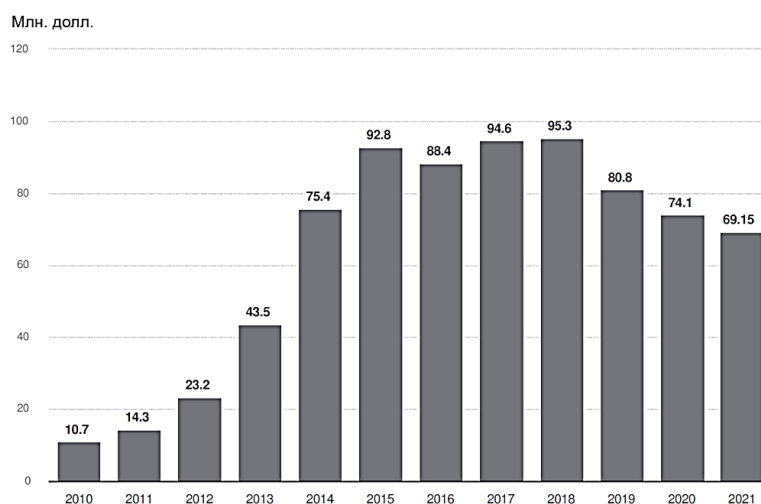
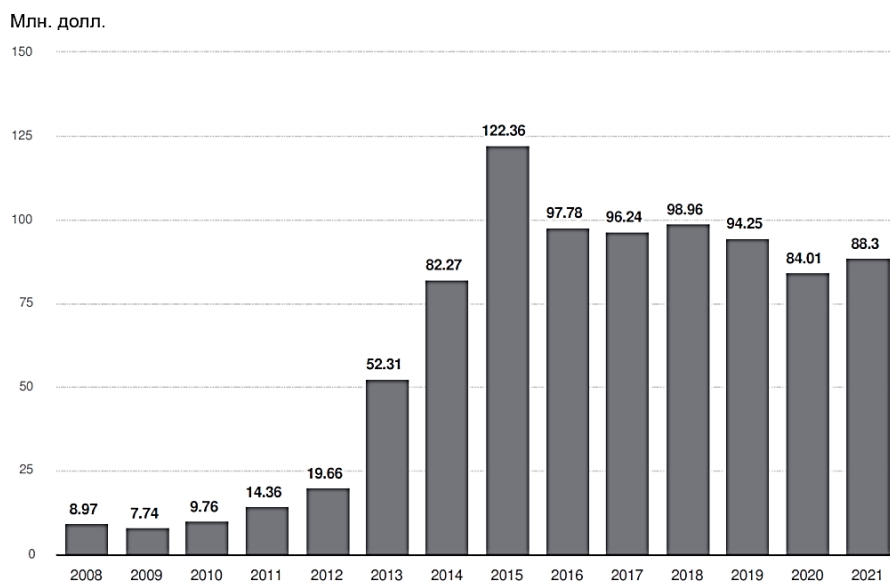


Рисунок 39. Финансовые затраты компании Stratasys на R&D



По итогам 2021 года выручка компании 3D Systems составила 615,6 млн долл., а выручка компании Stratasys 607,2 млн долл. Соответственно, доля затрат на R&D от выручки компаний:

- 3D Systems: 11,2%;
- Stratasys: 14,5%.

По данным компании SLM Solutions этот показатель ещё выше и достигает 20%. Аналогичные оценки проводились для смежных рынков: станкостроение, машиностроение, где доля затрат компаний на R&D от выручки оказалась ниже и находится, как правило, в диапазоне от 2% до 6% [19].

Таким образом, можно сделать вывод, что высокотехнологичная отрасль аддитивных технологий требует более высоких затрат R&D у компаний-производителей оборудования 3D-печати по сравнению с компаниями, работающими на традиционных и устоявшихся промышленных рынках.

В качестве примеров, можно отметить ряд проектов, которые были недавно представлены на рынке аддитивных технологий:

- Запуск компанией WAAM3D крупномасштабного промышленного 3D-принтера RoboWAAM знаменует собой новаторский прорыв в аддитивном производстве с дуговой сваркой, призванный сделать технологию более доступной и надежной. Управляемая запатентованным программным обеспечением для управления стратегиями нарезки и траектории с помощью алгоритмов для конкретных материалов, всеобъемлющая операционная система принтера обеспечивает среду для мониторинга, контроля и простоты использования, позволяющую расширить охват технологии в тяжелой промышленности, судостроении, строительстве и горнодобывающей промышленности.
- Компания Velo3D, занимающаяся технологиями 3D-печати металлом, предлагает запатентованную систему Sapphire, которая меняет способ разработки и производства продуктов в аэрокосмической, энергетической, энергетической и других важных отраслях промышленности. Компания добавила поддержку 3D-печати медью

и расширила свое присутствие на Европу. Sapphire – это больше, чем металлический 3D-принтер, комплексное производственное решение, включающее программное обеспечение и функции контроля качества.

- Консорциум GE Aerospace Advanced Technology (Германия, Мюнхен) представил одну из крупнейших в истории металлических аэрокосмических деталей, напечатанных на 3D-принтере, – корпус турбины, демонстрирующий значительную экономию затрат, снижение веса и времени изготовления. Деталь диаметром один метр, изготовленная из никелевого сплава серии 718, является одной из крупнейших деталей аэрокосмической промышленности, изготовленных с использованием процесса прямого лазерного плавления металла (DMLM). Переход от обычного литья к АТ позволил снизить стоимость и вес на 30% за счет объединения более 150 деталей в одну. Время выполнения заказа также сократилось с более чем девяти месяцев до двух с половиной месяцев.
- Крупный аэрокосмический холдинг SAFRAN инвестировал 80 млн евро в центр аддитивных технологий. В данном ЦАТ площадью 12.500 квадратных метров работают 100 специалистов по 3D-печати, и вскоре штат увеличится до 200 человек. Новый ЦАТ централизует всю деятельность по аддитивному производству по всей компании. На объекте будут располагаться порошковая лаборатория, металлургическая лаборатория, сканирующий электрический микроскоп, две печи для термообработки, оборудование постобработки.
- Французское предприятие Framatome, занимающееся разработкой и производством оборудования для ядерной энергетики, выполнило загрузку тепловыделяющей сборки с 3D-печатным компонентом из нержавеющей стали на шведской атомной электростанции в Форсмарке, эксплуатируемой компанией Vattenfall. Традиционно в производстве таких деталей используется комбинация штамповки и лазерной сварки. Процесс весьма трудоемок и требует тщательного контроля со стороны операторов. Аддитивное производство рассматривается как более удобный вариант изготовления, к тому же позволяющий получать детали оптимизированной формы.

4.3 Причины закрытия неудавшихся проектов

Как правило, для внедрения технологии 3D-печати в массовое производство нужно решить принципиальные вопросы. Первый барьер – экономический. Стоимость изготовленных деталей слишком высока. Дело в том, что, во-первых, у 3D-принтеров низкая производительность. Металлическая деталь весом один килограмм изготавливается методом селективно-лазерного сплавления примерно за сутки. Это очень низкий показатель, который не позволяет внедрять 3D-печатные элементы в крупносерийное производство. Во-вторых, оборудование для 3D-печати очень дорого стоит. Соответственно, в связи с тем, что производительность 3D-принтеров низкая, а стоимость высокая, – амортизация вносит существенный вклад в себестоимость. И, наконец, третье – высокая стоимость материалов для печати, что связано с отсутствием массового спроса. Еще один барьер – сертификация. При производстве деталей необходимо подтверждение соответствия качества продукции установленным требованиям, особенно при использовании в ответственных конструкциях. Поэтому ряд компаний, особенно независимые центры аддитивных технологий (ЦАТ) не

выдерживают конкуренции и работают с убытком. Решением данной проблемы является, как правило, наличие постоянного крупного заказчика, например, крупного авиационного и космического предприятия, ОПК, которое может совместно с ЦАТ проводить процессы 3D-печати и брать часть затрат на себя. Небольшие компании, которые не смогли выдержать конкуренции, могут быть приобретены более крупными игроками рынка (M&A).

ГЛАВА 5. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА РЫНКЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сводные данные основных технологий, применяемых на рынке АТ, приведены в таблице 13 [4].

Таблица 13. Показатели мирового рынка АТ

Мировой рынок АТ	Ед. изм.	2019	2020	2021
Общий рынок АТ (3D-принтеры, материалы, услуги и пр.)	млн долл.	11867	12758	15244
Оборудование 3D-принтеры	млн долл.	3013	3014	3417
Доля сегмента 3D-принтеров по печати металлом	%	36%	36%	36%
Доля сегмента 3D-принтеров по печати полиамидным порошком (SLS)	%	12%	12%	12%
Доля сегмента 3D-принтеров по печати фотополимерами (VPP)	%	26%	26%	26%
Доля сегмента 3D-принтеров по печати пластиками (ME)	%	20%	20%	20%
Доля сегмента 3D-принтеров другие (песок, керамика, воск и прочее)	%	6%	6%	6%
3D-принтеры по печати металлом (SLM, EBM)	млн долл.	586	586	640
3D-принтеры по печати металлом (DED, DMD, WAAM)	млн долл.	174	174	209
3D-принтеры по печати металлом (MJ/BJ)	млн долл.	174	174	209
3D-принтеры по печати металлом (ME)	млн долл.	108	109	135
3D-принтеры по печати металлом (Прочие)	млн долл.	43	43	62
3D-принтеры по печати полиамидным порошком (SLS)	млн долл.	362	362	410
3D-принтеры по печати фотополимерами (VPP)	млн долл.	783	784	888
3D-принтеры по печати пластиками (ME)	млн долл.	603	603	683
3D-принтеры другие (песок, керамика, воск и прочее)	млн долл.	181	181	205
Материалы АТ	млн долл.	1916	2105	2598
Услуги АТ	млн долл.	6938	7639	9229

Согласно Wohler, наиболее крупные опрошенные игроки рынка называют аэрокосмическую отрасль, медицину, автомобильную промышленность как самые передовые сектора, в которых в настоящее время внедряются аддитивные технологии [4].

ГЛАВА 6. ОБЗОР КЛЮЧЕВЫХ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК В РОССИИ И МИРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БИБЛИОМЕТРИЧЕСКОГО И ПАТЕНТНОГО АНАЛИЗА, А ТАКЖЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПО КОМПАНИЯМ НТИ

Одним из основных направлений развития компаний в рамках НТИ является переход к новому технологическому укладу, получившее название Индустрия 4.0 – массовое внедрение киберфизических систем в производство. В качестве инструмента производства рассматривается трехмерная печать или, другими словами, аддитивное производство. В разделе рассмотрен вопрос научных разработок в России и мире не посредственно в части аддитивного производства.

Для оценки библиометрического и патентного анализа по направлению Аддитивные технологии был выбран ряд ключевых слов, (максимально затрагивающие указанное направление) по которым производился поиск (Таблица 14).

Таблица 14. Ключевые слова для поиска

Английский язык	Русский язык	Английский язык	Русский язык
Additive technologies	Аддитивные технологии	Selective laser sintering, SLS	Селективное лазерное спекание
Additive manufacturing	Аддитивное производство	Powder bed fusion, PBF	Синтез на подложке
3D printing	3D-печать	multi jet fusion	Спекание связующим агентом и энергией
3D printer	3D-принтер	Stereolithography, SLA	Стереолитография
Rapid prototyping	Быстрое прототипирование	Material jetting, MJ	Струйное нанесение материала
Laser cladding	Лазерная наплавка	Binder Jetting, BJ	Струйное нанесение связующего
Laser sintering	Лазерное спекание	Electron beam melting, EBM	Электронно-лучевая наплавка
Laser melting	Лазерное плавление	Vat photopolymerization	Фотополимеризация в ванне
direct metal laser deposition, DED	Прямой подвод энергии и материала	Material extrusion	Экструзия материала
Selective laser melting, SLM	Селективное лазерное плавление	Wire arc additive manufacturing, WAAM	Электродуговое аддитивное производство

Библиометрический и патентный поиск проводился на электронных площадках Elibrary [28] и Scopus [29] для российских и английских ключевых слов соответственно. Результаты поиска представлены в таблице 15 и рисунках 40 и 41.

Таблица 15. Результаты библометрического и патентного поиска (данные АРАТ на основе анализа в базе данных Scopus)

Результаты международного библиометрического патентного поиска			
Публикации, шт.		РИД, шт.	
2018 год	21035	2018 год	189908
2019 год	18279	2019 год	394639
2020 год	15605	2020 год	417716
2021 год	12004	2021 год	421330
Результаты российского библиометрического патентного поиска			
Публикации, шт.		РИД, шт.	
2018 год	1049	2018 год	143
2019 год	1205	2019 год	163
2020 год	1071	2020 год	180
2021 год	1064	2021 год	194

Рисунок 40. Распределение публикаций в РФ и мире за 2018–2021 гг. (данные АРАТ на основе анализа в базе данных Scopus)

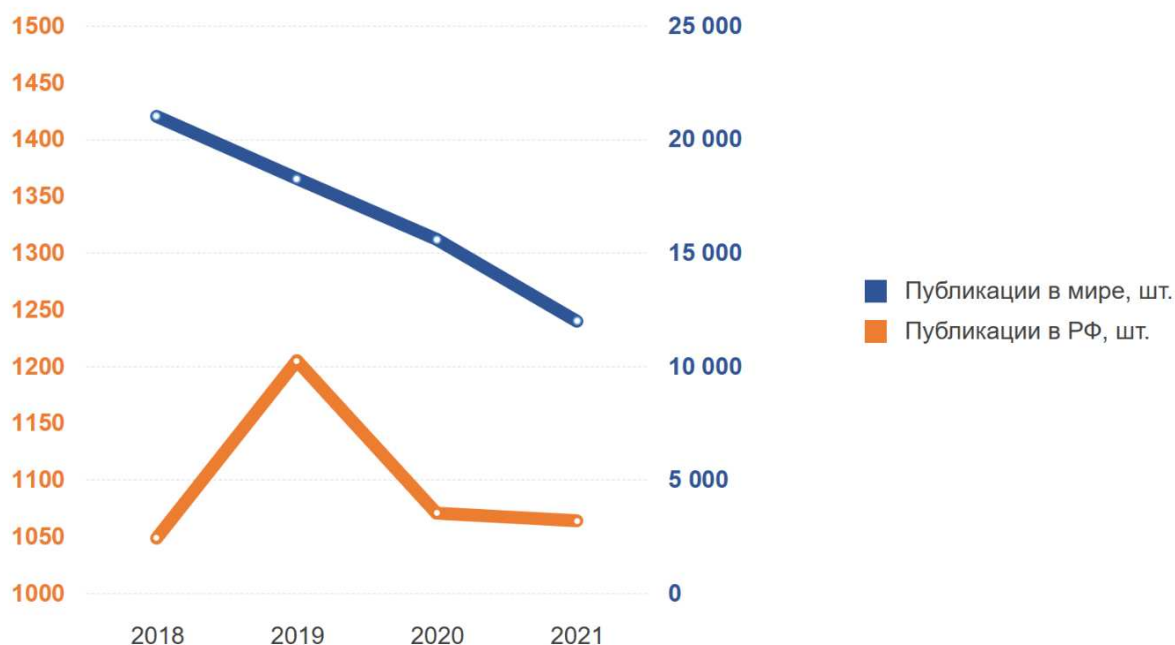
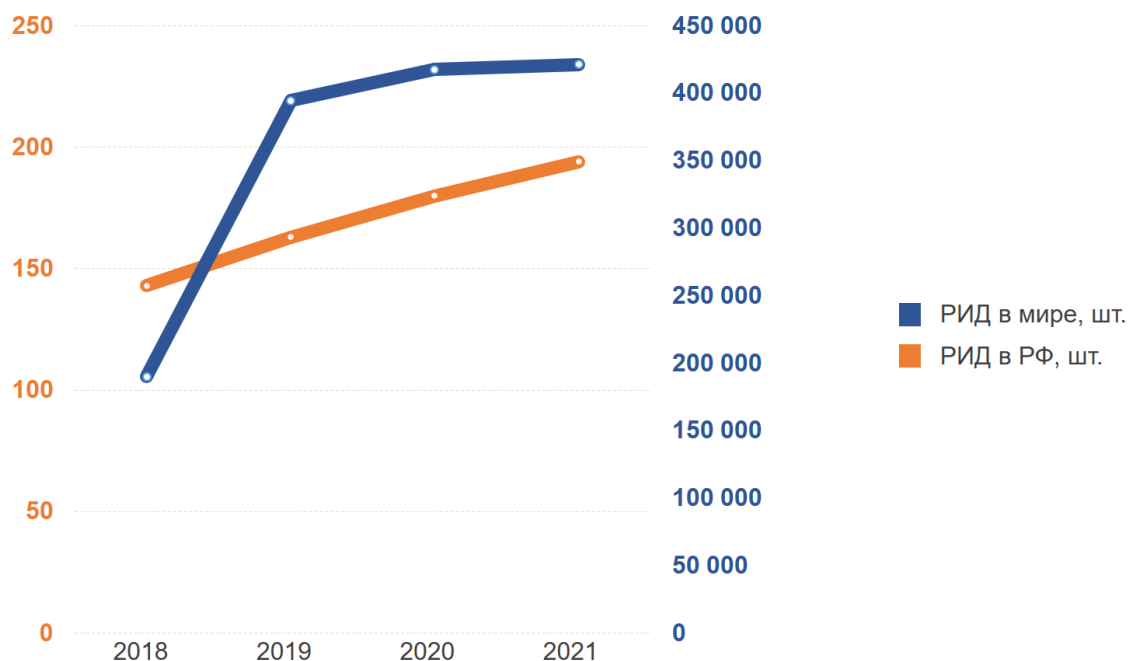


Рисунок 41. Распределение РИД в РФ и мире (данные АРАТ на основе анализа в базе данных Scopus)



Как видно из таблицы 15 и рисунков 40 и 41 с 2018 по 2021 год виден спад публикационной активности, что связано с пандемией. В то же время количество РИД растет, что можно связать с интересом научного сообщества и промышленности к аддитивным технологиям.

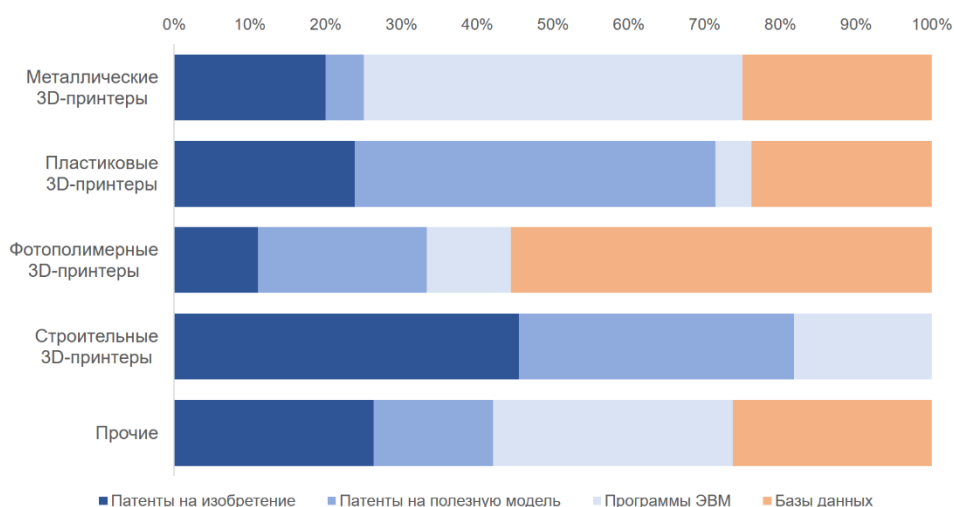
По данным агентства «Инфомайн», который проводил исследования патентной документации в области аддитивных технологий и в котором осуществлялась выборка патентных документов базы Федерального института промышленной собственности (ФИПС) по ключевым словам: «аддитивные технологии», «3D» и др. Отбирались патентные документы и свидетельства с приоритетом, начиная с 2017 г. (Таблица 16,

Рисунок 42) [8].

Таблица 16. Структура направлений изобретательства в России в области АТ в 2017–2022 гг.

Вид	Металлические 3D	Пластиковые 3D	Фотополимерные 3D	Строительные 3D	Прочие
Патенты на изобретение	20	25	5	25	25
Патенты на полезную модель	5	50	10	20	15
Программы ЭВМ	50	5	5	10	30
Базы данных	25	25	25	0	25

Рисунок 42. Распределение направления изобретательства в РФ



За этот период выдано патентов РФ на изобретения в количестве 68 единиц. Среди патентообладателей выделяются: АНО ВО «Университет Иннополис», Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ), ООО «Ботлихский Радиозавод», Дагестанский Государственный Технический Университет (ДГТУ), ЗАО «Инновационный центр «Бирюч», Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова (КБГУ), Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (КубГАУ), Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ООО «Научно-технический центр «Бакор» (Щербинка), Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), ООО «Новые дисперсные материалы», ООО «ПолиТаир», ООО «Роботех», ООО «Смарт-Принтинг», Станкин, ООО «Ф2 Инновации», Фонд Перспективных Исследований (ФПИ), ООО «Хабаровск 3Д», а также частные лица: Белоусов Антон Владимирович, Кривенко Александр Сергеевич, Мирчев Владислав Юрьевич, Неткачев Александр Геннадьевич, Рулев Игорь Михайлович, Сычев Василий Алексеевич, Теплинский Георгий Георгиевич.

Преобладают патенты на изобретения по 3D-принтерам по металлам, термопластам и строительству.

Патентов РФ на полезные модели выдано 51 единица. В основном они посвящены FDM и строительным 3D-принтерам. Владельцы во многом повторяют патентообладателей изобретений.

Программ для ЭВМ, посвященных АТ, найдено 30 единиц.

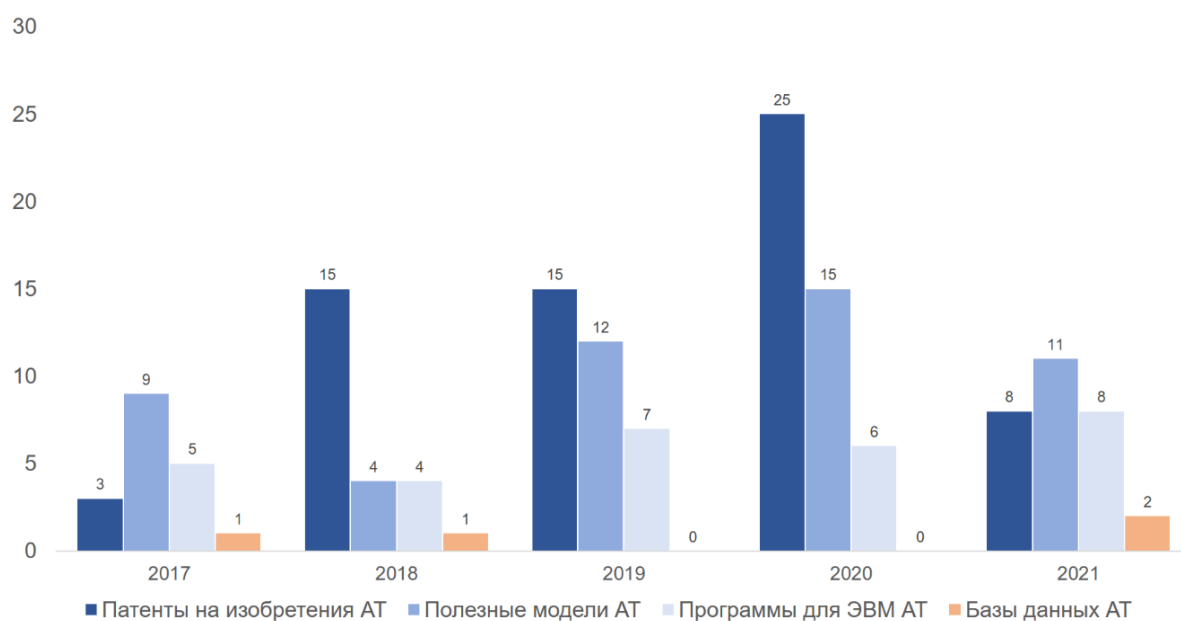
Также имеются зарегистрированные 4 базы данных по АТ от Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, АО «НПО «ЦНИИТМАШ», Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», ООО «МедХимТех».

Динамика выдачи охранных документов по годам и направлениям представлена в таблице 17 и рисунке 43 [8].

Таблица 17. Динамика выдачи охранных документов по АТ в РФ в 2017–2021 гг., единиц

Вид документа	2017	2018	2019	2020	2021
Патенты на изобретения АТ	3	15	15	25	8
Полезные модели АТ	9	4	12	15	11
Программы для ЭВМ АТ	5	4	7	6	8
Базы данных АТ	1	1	0	0	2
<i>Справочно, количество всех документов:</i>					
<i>Патенты на изобретения</i>	<i>34254</i>	<i>35774</i>	<i>34008</i>	<i>28788</i>	<i>23662</i>
<i>Полезные модели</i>	<i>8774</i>	<i>9867</i>	<i>8848</i>	<i>6748</i>	<i>6955</i>
<i>Программы для ЭВМ</i>	<i>14092</i>	<i>15645</i>	<i>17878</i>	<i>18030</i>	<i>22130</i>
<i>Базы данных</i>	<i>1682</i>	<i>2063</i>	<i>2685</i>	<i>2950</i>	<i>3405</i>

Рисунок 43. Динамика выдачи охранных документов по АТ в РФ за 2017–2021 гг.



Из сопоставления АТ с общей патентной активностью в РФ видно, что динамика получения патентов на изобретения и полезные модели не совпадает с общей динамикой выдачи этих документов в РФ. АТ изобретения дали пик в «пандемийном» 2020 году, хотя, очевидно, изобретения были

подготовлены/проработаны за несколько лет перед этим. Похожая ситуация и с полезными моделями в области АТ.

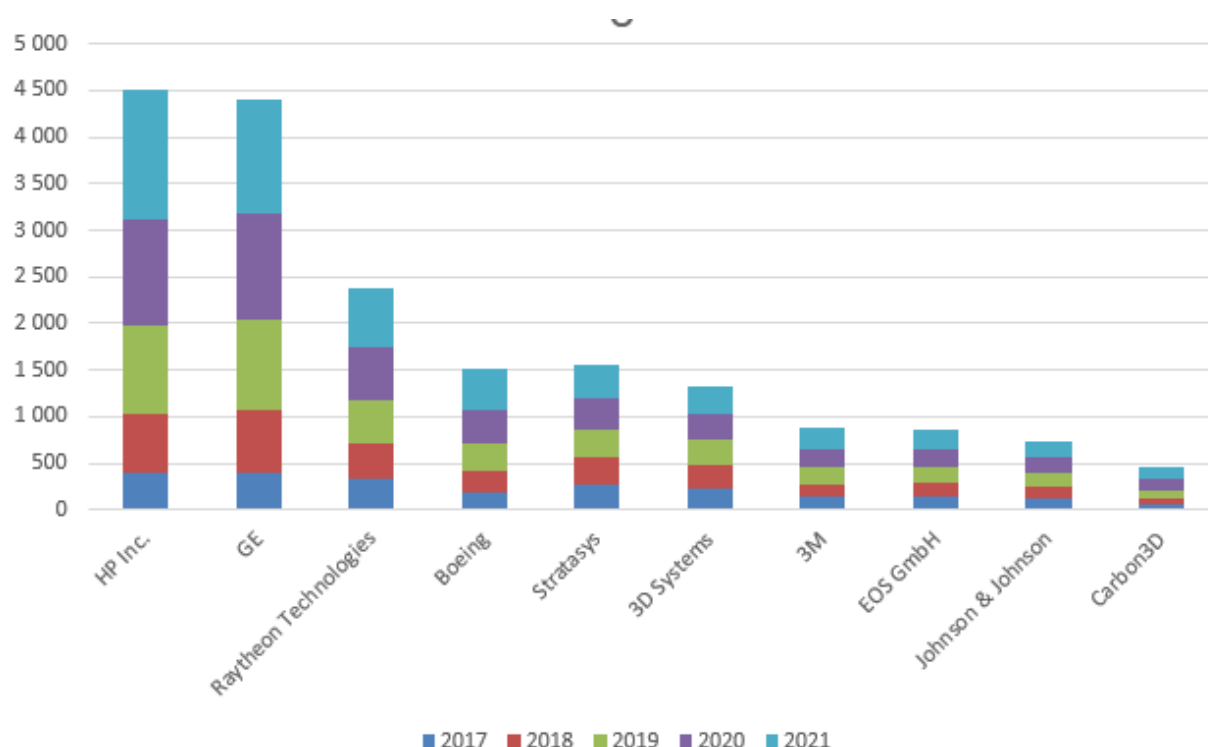
Программы для ЭВМ для аддитивных технологий показали пик в 2021 г., возможно, вследствие удаленной работы IT-специалистов.

По данным Statista наибольшее количество охранных документов находятся в компании HP inc. Компания GE имеет схожее количество РИД в области аддитивных технологий (Таблица 18, Рисунок 44) [10].

Таблица 18. Количество охранных документов у международных компаний за 2018–2021 гг.

Год	HP Inc.	GE	Raytheon Technologies	Boeing	Stratasys	3D Systems	3M	EOS GmbH	Johnson & Johnson	Carbon3D
2018	636	671	383	230	289	251	144	158	128	66
2019	936	970	460	297	297	263	171	176	150	90
2020	1148	1148	565	361	338	280	199	190	156	117
2021	1399	1214	644	432	352	295	229	204	162	145

Рисунок 44. Количество охранных документов у международных компаний за 2018–2021 гг.



6.1 Количество компаний НТИ

На начало 2021 года в общей сложности насчитывалось более 1000 компаний Национальной технологической инициативы [30], которые фокусируют свое внимание на тех рынках, в которых есть возможность создать отрасли нового технологического уклада, значимых с точки зрения

обеспечения национальной безопасности и высокого уровня жизни граждан. По итогам стратегической сессии «Форсайт-флот», состоявшейся в мае 2015 года, были определены девять перспективных рынков, а к 2021 году количество рынков было расширено до 15. Эта инициатива получила название Форсайт НТИ 2.0 – новое видение идей Национальной технологической инициативы и участников экосистемы НТИ [31]. Из них:

- AeroNet – 83 компании;
- AutoNet – 113 компаний;
- EcoNet – 49 компаний;
- EduNet – 95 компаний;
- EnergyNet – 97 компаний;
- FoodNet – 55 компаний;
- GameNet – 23 компании;
- HealthNet – 120 компаний;
- HomeNet – 27 компаний;
- MariNet – 76 компаний;
- NeuroNet – 108 компаний;
- SafeNet – 41 компания;
- SportNet – 1 компании;
- TechNet – 165 компаний;
- WearNet – 5 компаний.

В основном, развитие аддитивных технологий и быстрого прототипирования происходит в направлении «Производственные технологии» рынка TechNet. По данным сайта <https://nti1000.leader-id.ru/> [30] к концу 2020 года в приведенном направлении рынка TechNet числилось 122 компании. В то же время, по данным сайта <https://nti2035.ru/> [31] было подписано всего одно соглашение в рамках консорциума с Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова.

Стоит отметить, что в состав НТИ в 2021 году вошел Научный центр мирового уровня «Передовые цифровые технологии» в составе консорциума из четырех организаций, в их числе: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (инициатор и координатор консорциума), Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, Тюменский государственный университет, НИИ гриппа имени А.А. Смородинцева Минздрава России [32], что существенно расширяет возможности.

Описание продуктов и услуг компаний НТИ в рамках направления «Аддитивные Технологии».

Анализ компаний, входящих в TechNet показал, что непосредственно аддитивными технологиями занимаются всего 5, а именно:

- ООО «СТЕРЕОТЕК» – специализируется на производстве 5D принтеров. Помогает клиентам из промышленного сектора в ситуации, когда остановилось производство из-за поломки оборудования и длительной доставки оригинальной детали. С помощью инновационной разработке 5Dtech исключает риски остановки производства и снижает стоимость расходных материалов в 10 раз. Изобретенный в 2020 году пяти осевой принтер позволяет печатать функциональные полимерные и композитные изделия без дополнительной постобработки, детали, запасные части и

расходные материалы в промышленных предприятиях, имеющие импортное оборудование. В результате замены оригинальных запасных частей на 5D напечатанные предприятие получает выгоду до 3-х млн руб. в год. 5D принтер позволяет печатать без поддержек, за счёт этого скорость печати увеличивается в 2 раза, при этом благодаря объемной печати (выкладка производится путем «навивания» – переплетений нити внутри изделия) прочность детали повышается до 10 раз.

- ООО «ТРИАНГУЛЯТИКА» – компания разрабатывает САМ-софт для существующих и перспективных технологий аддитивного производства на базе собственных алгоритмов и математики на GPU. Набор плат (PCBA) на базе ПЛИС (FPGA) для быстрого выпуска систем аддитивного производства, интегрируемых в производственные процессы и конвейеры.
- ООО «Аддитивка» – платформа, которая упрощает и автоматизирует процессы производства объемных пищевых продуктов сложной архитектуры и дизайна, что позволяет улучшить клиентоориентированность за счет расширения товарного ассортимента. Предлагаемая платформа будет обладать возможностью печатать комплексные пищевые объекты, включающие в себя несколько различных ингредиентов, а не только простые однородные объекты, предлагаемые конкурентами
- ООО «ЛЕНГРУПП» – проект направлен на создание бесцементного материала, и в итоге технологии строительной 3D печати методом спекания материала, дадут простой, конкурентоспособный, экологически чистый и быстрый способ возведения широкого круга архитектурных конструкций и объектов.
- ФГУП «НАМИ» – один из основоположников становления аддитивных технологий в РФ, современная научно-исследовательская, опытно-производственная база, которая позволяет решить любую задачу в области исследований, проектирования, построения, разработки и испытаний автотранспортных средств. Компания реализует принцип государственно-частного партнерства. Обладает компетенциями в области стереолитографии и технологии СЛС.

6.2 Объемы выручки от продаж продуктов и услуг компаний НТИ.

Количество компаний НТИ, имеющих экспортную выручку. Объем экспортной выручки компаний НТИ.

По данным сайта федеральной налоговой службы выручка за 2021 год компании ООО «СТЕРЕО-ТЕК» составляет 9,1 млн руб, ООО «ТРИАНГУЛЯТИКА» – 3 млн руб, ООО «Аддитивка» – 0 руб, ООО «ЛЕНГРУПП» отсутствуют данные, ФГУП «НАМИ» – 3 млрд руб. Стоит отметить, что данные показатели затрагивают все сферы деятельности представленных компаний.

Анализ открытых источников информации показывает, что приведенные компании не осуществляли экспорт услуг и изделий, связанных с аддитивными технологиями.

6.3 Количество прав на РИД, зарегистрированных компаниями НТИ в рамках направления «Аддитивные Технологии»

Поиск прав РИД осуществлялся с помощью сайта Роспатента [33], и осуществлялся непосредственно на поиск прав компаниями НТИ в рамках направления «Аддитивные Технологии».

В 2021 году было зарегистрировано:

- 8 патентов на изобретение: ЗАО Инновационный центр «Бирюч» (ЗАО «ИЦ «Бирюч»), ООО «АРКОН Констракшн» (2 шт.), Воронежский государственный технический университет (2 шт.), ООО Компания Имприта, ООО «Научно-технический центр «Бакор» (Щербинка), ГК «Росатом»;
- 10 патентов на полезную модель: Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ООО ННРЕС (RU), ООО Аркодим (2 шт.), ООО Глобал Тест, ООО «Дерсон», ООО Компания Имприта, Погребной Антон Вадимович, ООО «АТМ Акронекс»;
- 8 программ ЭВМ: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис», Сибирский государственный индустриальный университет, ООО «Аркодим» (4 шт.), ООО «Инструмент»;

2 патента на базы данных: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (ФГАОУ ВО «СПбПУ»), ООО «МедХимТех».

Результаты поиска прав РИД за 2021 год показали, что перечисленные компании не регистрировали ни одного РИД. Стоит отметить, что до 2021 года РИД были только у компании ФГУП «НАМИ» и не относились к аддитивным технологиям.

6.4 Количество реализуемых проектов по отдельному направлению НТИ (в рамках направления «Аддитивные Технологии»)

Анализ проектов проводился на основании открытых тендеров на выполнение услуг и НИОКР в области аддитивных технологий (Таблицы 19 и 20).

Результаты поиска показали, что:

- 13 тендеров на оказание услуг в области АТ на общую стоимость 25,8 млн руб.;
- 27 НИОКР в области АТ на общую стоимость 1418,9 млн руб.

Наиболее активными компаниями являлись ГК «Росатом» и Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (ФГАОУ ВО «СПбПУ»).

Таблица 19. Тендеры на выполнение услуг по изготовлению продукции методами АТ (данные АРАТ на основе анализа открытых тендеров)

№	Заказчик	Исполнитель	Наименование НИОКР
1	АО «Научно-Производственная Корпорация «Уралвагонзавод»	-	Выполнение работ по теме «Изготовление деталей «Блок циклонов» с применением аддитивных технологий методом селективного лазерного спекания.
2	Стоматологическая Поликлиника № 6 СПб, ГБУЗ	Ортос, ООО	Изготовление металлических ортопедических конструкций методом селективного лазерного спекания и фрезерования

№	Заказчик	Исполнитель	Наименование НИОКР
3	Стоматологическая Поликлиника № 6 СПб, ГБУЗ	Ортос, ООО	Изготовление металлических ортопедических конструкций методом селективного лазерного спекания и фрезерования
4	АО «ЦАТ»	-	Оказание услуг по изготовлению деталей ПЛРС по технологии селективного лазерного сплавления из материала сплава KX28M6
5	ООО «РусАТ»	АО «Лазерные системы»	Выполнение работ по изготовлению образцов фасонных деталей и заготовок образцов методом селективного лазерного плавления для проведения испытаний с применением порошкового материала из алюминиевого сплава AlSi10Mg и стали марки 316L
6	АО СХК	АО ЦТКАТ	Макет трубопровода с элементами арматуры, подвесок, врезок, фланцевых соединений и указателем теплового расширения
7	ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова»	Санкт-Петербург Мор Тех Универ	Изготовление и поставка охлаждаемого экрана фронтального устройства генератора высоконтальной квазивоздушного потока методом прямого лазерного спекания порошка нержавеющей стали аустенитного класса
8	ДонГосТехУнивер	АО ЦТКАТ	Оказание услуг по изготовлению образцов изделий, методом SML, для механических и токсикологических испытаний
9	АО «Юматекс (Росатом)	ООО Пикасо 3Д	Выполнение работ по изготовлению деталей методом 3D-печати
10	Томский институт повышения квалификации работников ФСИН	АО ЦТКАТ	Работы по изготовлению макета масштабной композиции
11	АО НИИ Вектор	АО ЦТКАТ	Изготовление макетов в соответствии с ТЗ
12	АО «Препрег-СКМ	ООО Пикасо 3Д	Выполнение работ по 3D-печати
13	АО «Препрег-СКМ	ООО Пикасо 3Д	Выполнение работ по 3D-печати

Таблица 20. Тендеры на НИОКР в области аддитивных технологий (данные АРАТ на основе анализа открытых тендеров).

№	Заказчик	Исполнитель	Наименование НИОКР
1	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	-	Выполнение работ по разработке математического программного пакета и оптимизации алгоритмов построения

№	Заказчик	Исполнитель	Наименование НИОКР
			стратегии и траекторий для метода АЭВ в рамках выполнения составной части (СЧ) НИОКР по теме «Разработка технологий и аддитивного оборудования прямого выращивания заготовок элементов внеядерного острова и пространственных изделий с применением проволоочных материалов»
2	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	-	Выполнение работ по разработке документации и изготовлению опытной партии титановой проволоки в рамках выполнения составной части (СЧ) НИОКР по теме «Разработка технологий и аддитивного оборудования прямого выращивания заготовок элементов внеядерного острова и пространственных изделий с применением проволоочных материалов. Этап 2021 года»
3	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	-	Выполнение научно-исследовательской работы «Разработка технологии получения порошка сплава системы Ti-Ni-Hf, пригодного для использования в машинах аддитивного производства»
4	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	-	Выполнение научно-исследовательской работы: «Исследование и анализ функциональных свойств образцов сплавов с памятью формы, полученных методами аддитивного производства»
5	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	-	Выполнение научно-исследовательской работы: «Разработка и материаловедческое обоснование создания материалов и изделий на основе пьезоэлектрической керамики с применением аддитивных технологий. Этап 2021 года»
6	ФГАОУ ВО «СПбПУ»	-	Выполнение составной части НИОКР по теме «Разработка технологий и аддитивного оборудования прямого выращивания заготовок элементов внеядерного острова и пространственных изделий с применением проволоочных материалов. Этап 2021 года»
7	АО «ЦНИИТ-МАШ»	-	Выполнение НИОКР по теме: «Разработка предварительной технологии и изготовление опытно-экспериментального образца (демонстратора) сепарационного модуля центробежного типа сепаратора промежуточного для турбогенератора с применением аддитивных технологий» Выполнение НИОКР по теме: «Разработка предварительной технологии и изготовление опытно-экспериментального образца (демонстратора) сепарационного модуля центробежного типа сепаратора промежуточного для турбогенератора с применением аддитивных технологий»
8	АО «ВНИИНМ»	-	Право заключения договора на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы по теме «Разработка технологии получения сферических

№	Заказчик	Исполнитель	Наименование НИОКР
			порошков аустенитных и ферритно-мартенситных сталей с использованием высокоскоростного узла вращения».
9	Минпром-торг РФ	ВИАМ	НИР «Разработка новых технологий, включая цифровые аддитивные, изготовления полуфабрикатов из высокотемпературных металлических, металлокерамических и полимерных композиционных материалов нового поколения для перспективных авиационных газотурбинных двигателей», Шифр «Высота»
10	АО РусАТ	-	Право заключения договора на научно-исследовательская работа по теме: «Определение глобальных направлений научно-технического и технологического развития аддитивных технологий, перспектив, границ и принципов их развития»
11	ООО «НИИ Транс-нефть»	АО «НПО Систем»	Разработка 3D-моделей искусственных дефектов и изготовление темплета аддитивными методами
12	«Курчатовский Институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», НИЦ	-	Выполнение НИР по теме: «Разработка методики 3D моделирования сотовых структур сложной геометрии»
13	Росатом	НИТУ МИСиС	НИОКР «Разработка аддитивных технологий печати металлических и композиционных изделий на оборудовании с высокотемпературным подогревом рабочего объема. Этап 2021 года»
14	Роскосмос	АО «Композит»	Разработка технологии изготовления сложнопрофильных заготовок и деталей изделий ракетно-космической техники из многокомпонентных сплавов на основе титана и его алюминидов методом послойного электроннолучевого сплавления
15	Наука и Инновации, АО	-	НИОКР по теме: «Разработка аддитивной технологии создания персонализированных и серийных высокопористых остеоиндуктивных имплантатов, обладающих мультимодальным распределением пор и биоактивными покрытиями» (ЕОТП-МТ-355) для нужд ЧУ «Наука и инновации»
16	Наука и Инновации, АО	-	НИОКР по теме: «Разработка системы неразрушающего контроля качества изделий, выполненных с использованием аддитивных технологий» (ЕОТП-МТ-353)
17	Росатом	-	НИОКР «Разработка и материаловедческое обоснование создания материалов и изделий на основе сплавов с

№	Заказчик	Исполнитель	Наименование НИОКР
			памятью формы с управляемой структурой и пьезоэлектрической керамики с применением аддитивных 4D-технологий. Этап 2021 года»
18	Росатом	-	НИОКР «Разработка отечественной программно-аппаратной платформы управления аддитивным оборудованием. Этап 2021 года»
19	Росатом	-	НИОКР «Разработка технологий и аддитивного оборудования прямого выращивания заготовок элементов внеядерного острова и пространственных изделий с применением проволоочных материалов. Этап 2021 года»
20	Росатом	АО «НИИГрафит»	НИОКР «Разработка технологий и оборудования для изготовления изделий из полимерных материалов методами аддитивных технологий. Этап 2021 года»
21	Росатом	АО «НИИГрафит»	НИОКР «Разработка технологий и оборудования производства керамических и композиционных изделий методами аддитивных технологий. Этап 2021 года»
22	Росатом	ФГУП «НИИ НПО «Луч»	НИОКР «Разработка трёхосевого лазерного сканатора. Этап 2021 года»
23	Росатом	АО «ГНЦ РФ Троицкий Институт Инновационных и Термоядерных Исследований»	НИОКР «Создание технологии комплексного воздействия мощными импульсными потоками высокотемпературной плазмы и лазерного излучения. Этап 2021 года»
24	ПАО «Одк-Са-турн»	-	1704-2021-01352 Выполнение НИР по теме «Исследования в обеспечение внедрения технологии послойного синтеза деталей типа лопаток турбин, получаемых методом послойного лазерного сплавления из никелевого сплава»
25	АО «Научно-Исследовательский и Конструкторский Институт Энерготехники Имени Н.А. Доллежаля»	-	Право заключения договора на НИОКР «Выполнение биметаллических изделий аддитивными технологиями»
26	Федеральное	-	Выполнение научно-исследовательской работы: «Исследование и анализ функциональных свойств образцов

№	Заказчик	Исполнитель	Наименование НИОКР
	государственное автономное Образовательное учреждение Высшего Образования «СПб Политехнический Университет Петра Великого»		сплавов с памятью формы, полученных методами аддитивного производства»
27	АО «НПО «Центральный НИИ технологии машиностроения»	-	Право заключения договора на Выполнение НИОКР по теме: «Разработка предварительной технологии и изготовление опытно-экспериментального образца (демонстратора) сепарационного модуля центробежного типа сепаратора промежуточного для турбогенератора с применением аддитивных технологий»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное аналитическое исследование международного и российского рынка в рамках направления «Технет» НТИ затронуло все аспекты внедрения, развития и реализации продуктов (установки, исходные материалы), связанных с аддитивными технологиями. Аналитические исследования были выполнены с учетом нормативно-правовой, научной, методической и справочной литературы по направлению «Аддитивные технологии», поручений Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации, ресурсов Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, федеральных органов исполнительной власти, органов Евразийского экономического союза, а также данных государственной, ведомственной и отраслевой отчетности.

В ходе составления отчета применялись логико-аналитические, статистические, экономико-математические методы исследований, метод исторических сопоставлений, а также комплексный и системный подходы.

Материалы данной работы служат для актуализации и обобщения информации по мировому и российскому рынку аддитивных технологий, могут быть использованы широким кругом организаций как дополнительный источник информации при анализе рыночной конъюнктуры, содержат основные финансовые показатели рынка АТ, описание основных производителей оборудования 3D-печати и материалов.

По результатам проведенных исследований стоит отметить интерес к аддитивным технологиям как со стороны частного сектора, так и со стороны государства. Стоит отметить тенденции, которые сформировались на рынке АТ:

По металлам – рост потребности в стабильных по составу и по микроструктуре расходных порошках с широким списком контролируемых примесей и физико-химических параметров.

По строительству – проигрывание АТ в конкуренции с традиционными технологиями возведения монолитных зданий (стен) и уход в павильонное / цеховое изготовление архитектурного легковеса.

По термопластам – отмечается резкое ужесточение требований к высокому качеству расходных нитей (исключить такое явление, как «гнилые нитки»).

Приветствуются разработки биочернил для 3D-печати живых хрящевых тканей.

Перспективна 3D-печать деталей из 2D-материалов (графен, борофен, германий и др.).

Ожидаются изобретения в 3D-печати композиционными материалами систем углеволокно /термопластик, арамид / термопластик, металл / керамо-вискерс, керамика / фотополимер.

Отдельно следует отметить, что оценки российского рынка АТ, проведенные компанией «Инфо-лайн», показывают более высокие значения ёмкости рынка по сравнению с оценками Минпромторг. Таким образом, подтверждается рост и активное развитие отрасли АТ в РФ.

Дальнейшее развитие данной работы предполагает актуализацию рыночных показателей по итогам 2022 года, а также формирование реестра игроков российского рынка АТ.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года. – Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 г. №1913-р.
2. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://3dtoday.ru/> (дата обращения: 17.12.2022).
3. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://data.worldbank.org/> (дата обращения: 17.12.2022).
4. Global Reports // Wohlers Report 2022: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry. – Wohlers Associates, 2022.
5. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-manufacturing-industry-4.0-get-ready-for-industrialized-additive-manufacturing> (дата обращения: 17.12.2022).
6. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: 3dhubs.com (дата обращения: 17.12.2022).
7. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <http://government.ru/departments/54/events/> (Дата обращения: 17.12.2022).
8. Исследовательская Группа «Инфолайн». Российский рынок аддитивных технологий и материалов за период 2017–2021 гг. / Исследовательская Группа «Инфолайн».
9. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.desktopmetal.com> (дата обращения: 17.12.2022).
10. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com/> (дата обращения: 17.12.2022).
11. А.Чехович. 5 основных проблем 3D-печати и пути их решения / А.Чехович. – АЙКБЮБ Технологии.
12. О предоставлении субсидии из федерального бюджета автономной некоммерческой организации «Агентство по технологическому развитию» на поддержку проектов, предусматривающих разработку конструкторской документации на комплектующие изделия, необходимые для отраслей промышленности. – Постановление правительства Российской Федерации от 18.02.2022 г. № 208.
13. Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета кредитным организациям на возмещение недополученных доходов по кредитам, выданным на приобретение приоритетной для импорта продукции. – Постановление правительства Российской Федерации от 18.05.2022 г. № 895.
14. Тендер на разработку технологии получения гранул жаростойких сталей для аддитивного производства элементов перспективных изделий ракетно-космической техники (Шифр ОКР: Сакура) | Москва город | 49183059 | Ростендер [Электронный ресурс]. – URL:

<https://rostender.info/region/moskva-gorod/49183059-tender-razrabotka-tehnologii-polucheniya-granul-jarostojkih-stalej-dlya-additivnogo-proizvodstva-elementov-perspektivnyh-izdelij-raketno> (дата обращения: 30.12.2022).

15. Тендер: НИР «Разработка новых технологий, включая цифровые аддитивные, изготовления полуфабрикатов из высокотемпературных металлических, металлокерамических и полимерных композиционных материалов нового поколения для перспективных авиационных газотурбинных двигателей», Шифр «Высота» | Москва город | 49914075 | Ростендер [Электронный ресурс]. – URL: <https://rostender.info/region/moskva-gorod/49914075-tender-nir-razrabotka-novyh-tehnologii-vklyuchaya-cifrovye-additivnye-izgotovleniya-polufabrikatov-iz-vysokotemperaturnyh-metallicheskih> (дата обращения: 30.12.2022).

16. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.meity.gov.in/writereaddata/files/Additive%20Manufacturing%20Booklet%2014.02.2022.pdf> (дата обращения: 17.12.2022).

17. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/08/UretimdeParadigmaDegisikligiArtirimsalUretimUcBoyutluYazicilar.pdf> (дата обращения: 17.12.2022).

18. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/additive-chinese-industry-will-receive-enhanced-state-support> (дата обращения: 17.12.2022).

19. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.slm-solutions.com/> (дата обращения: 17.12.2022).

20. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.3dsystems.com/> (дата обращения: 17.12.2022).

21. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.eos.info/en> (Дата обращения: 17.12.2022).

22. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.renishaw.com/en/additive-manufacturing-solutions--45472> (дата обращения: 17.12.2022).

23. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.stratasys.com/en/> (дата обращения: 17.12.2022).

24. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.protolabs.com/> (дата обращения: 17.12.2022).

25. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.hoganas.com/> (дата обращения: 17.12.2022).

26. Почему растет индустрия трехмерной печати и в какие акции стоит вложиться уже сегодня? – Журнал Forbes.

27. Investment Trends in Additive Manufacturing. – AMT - The Association For Manufacturing

Technology.

28. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 17.12.2022).

29. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scopus.com/> (дата обращения: 17.12.2022).

30. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://nti1000.leader-id.ru/> (дата обращения: 17.12.2022).

31. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://nti2035.ru> (дата обращения: 17.12.2022).

32. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://ncmu.spbstu.ru/> (дата обращения: 17.12.2022).

33. Информационный портал [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fips.ru/> (дата обращения: 17.12.2022).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1. Основные российские производители 3D-принтеров по металлам

Таблица 21. Основные российские производители 3D-принтеров по металлам

Наименование	Регион	Номенклатура оборудования для АТ	Технологии АТ	Используемый материал	Марка/бренд	Оценка пр-ва 3D-принтеров в 2021 г., млн руб.
АО «Лазерные Системы»	СПб	M250, M350	PBF (SLM)	Металлический порошок	-	45
ООО «ЛАР Технологии»	СПб	LAR 85, LAR 100, LAR 200 и LAR 300	PBF (SLM)	Металлический порошок	LAR	4
АО «НПО «ЦНИИТМАШ»	Москва	MeltMaster3D-160; MeltMaster3D-250; MeltMaster3D-550	PBF (SLM)	Металлический порошок	MeltMaster	60
ООО «НПО Центротех»	Свердловская обл.	Rusmelt 300M, Rusmelt 600M	PBF (SLM)	Металлический порошок	Rusmelt	198
ООО «ИЛ и СТ»	СПб	ИЛИСТ-L+	DED	Металлический порошок	ИЛИСТ	3
ООО «НПЦ «Лазеры и Аппаратура ТМ»	МО	МЛ6, МЛ-7	DED, PBF (SLM)	Металлический порошок	-	84

Наименование	Регион	Номенклатура оборудования для АТ	Технологии АТ	Используемый материал	Марка/бренд	Оценка пр-ва 3D-принтеров в 2021 г., млн руб.
РИЦ УрФУ	Свердловская обл.	УрАМ-550	PBF (SLM)	Металлический порошок	УрАМ	0
АО «НИАТ»	Москва	УПС-800; АТК ПС	PBF (SLM)	Металлический порошок	-	0
ООО «Инженерная фирма АБ Универсал»	Москва	ULS-125	PBF (SLM)	Металлический порошок	ULS	0
ПАО «Электроме- ханика»	Тверская обл.	СПС-1	PBF (SLM)	Металлический порошок	СПС	116
ООО «Титан-Аван- гард» (AddSol)	Москва	AddSol D250; D500; S90	PBF (SLM)	Металлический порошок	-	21
ООО «ТЭТА»	Томская обл.	TETA 60E3000	DED (EBAM)	Металлическая проволока, поро- шок	TETA	9
ООО «Эксклюзив- ные решения»	СПб	RussianSLM 150, Rus- sianSLM 200, Rus- sianSLM 250, Rus- sianSLM ProM	PBF (SLM)	Металлический порошок	RussianSLM	20

Наименование	Регион	Номенклатура оборудования для АТ	Технологии АТ	Используемый материал	Марка/бренд	Оценка пр-ва 3D-принтеров в 2021 г., млн руб.
ООО «Онсинт»	Москва	Onsint AM150, Onsint AM300	PBF (SLM)	Металлический порошок	Onsint	7
ЗАО «Биоград»	СПб	3DLam Mini, 3DLAM Mid	PBF (SLM)	Металлический порошок	3DLam	76
ООО «Ф2 Инновации»	Пермь	ProM, АТП	DED (WAAM)	Металлическая проволока	-	23
АО «Концерн «Калашников»	Ижевск	IZH H600	DED	Металлический порошок	IZH	0

Приложение 2. Сводные технические характеристики российских 3D-принтеров по металлам

Таблица 22. Сводные технические характеристики российских 3D-принтеров по металлам

Параметры/ Производитель	ООО «НПО «Центротех»	АО «НПО «ЦНИИТМАШ»	АО «Лазерные Системы»	ООО «ЛАР Технологии»	ООО «НПЦ «Лазеры и Аппаратура ТМ»	ООО «Эксклюзивные решения»
Марка	RusMelt-300	MeltMaster3D-550	M250	LAR 260	МЛ6-1-250	RussianSLM 150
Рабочая зона, мм	300×300×300	550×450×450	250×250×250	260×260×260	250×250×300	150×150×150
Тип лазера	Иттербиевый воло- конный	Волоконный, ЛК- 1000-0М	Иттербиевый во- локонный	Иттербиевый во- локонный	Иттербиевый воло- конный	Иттербиевый во- локонный
Мощность лазера, Вт	700	100-1000	200; 400	300	500	300-500
Технология печати	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Габаритные размеры (Д×Ш×В), мм	1500×2000×2100	-	1565×927×2120	1700×1000×1900	900×900×900	1200×950×1750
Масса, кг	1100	4500	1000	700	2000	-

Приложение 3. Международный опыт создания консорциумов в области аддитивных технологий (данные АРАТ на основе анализа открытых данных в сети Интернет).

Таблица 23. Международный опыт создания консорциумов в области аддитивных технологий (данные АРАТ на основе анализа открытых данных в сети Интернет).

Название	Страна	Цель	Достижения	Участники	Роль государства	Финансирование
America Makes	США	Финансирование НИОКР Информирование и продвижение АТ	Финансирование нескольких десятков проектов в год	Представители индустрии, академической сферы и правительства (120 членов)	Создание, финансирование	Государство (Department of Defense, Energy, and Commerce, NASA, National Science Foundation)
Government Organization on Additive Manufacturing (GO Additive)	США	Координация и стимулирование сотрудничества	Координирует деятельность 14 федеральных агентств США	130 представителей федеральных агентств США	Создание, финансирование	Государство
Additive Manufacturing Consortium	США	Выполнение НИОКР Разработка стратегии	Успешные исследования аддитивных технологий, свойств материалов и т.д.	Представители 17 отраслей, правительства, академической сферы и некоммерческие организации	Участник консорциума	Прибыль от деятельности

Название	Страна	Цель	Достижения	Участники	Роль государства	Финансирование
Direct Manufacturing Research Center	Германия	Выполнение НИОКР	Успешные исследования аддитивных технологий, свойств материалов, методов изменения срока службы, т.д.	EOS Electro Optical Systems, SLM Solutions GmbH, Boeing (самолеты), Siemens (электроника), другие компании (15 компаний), 9 ректоров, 11 профессоров и 28 исследователей	Финансирование	Члены консорциума, Министерство науки и образования, Немецкий исследовательский фонд, Европейское агентство космонавтики, Европейская комиссия и другие
ASTM International Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies	США	Стандартизация	Опубликовано 11 стандартов	300 членов и организаций из 22 стран	Нет участия государства	Прибыль от продажи стандартов и оказания услуг
ISO/TC 261 on Additive Manufacturing	Швейцария	Стандартизация	Опубликовано 5 стандартов	19 участников и 4 наблюдающие организации	Нет участия государства	Прибыль от продажи стандартов и оказания услуг
Project TEAM	США	Разработка образовательных программ Стандартизация Информирование	Разработаны программы обучения специалистов в области аддитивных технологий,	National Resource Center for Materials Technology Education и National Center for Rapid Technologies	Финансирование	Государство (National Science Foundation)

Название	Страна	Цель	Достижения	Участники	Роль государства	Финансирование
		и продвижение АТ	сотрудничество с F42			
Без названия	США	Выполнение НИОКР	Разработали технологию аддитивного производства Big Area Additive Manufacturing (БААМ) system для использования в производстве Local Motors	Oak Ridge National Laboratory (исследовательская лаборатория), Cincinnati Inc. (станки и инструменты), Local Motors (автомобили)	Нет участия государства	Члены консорциума
Canada Makes	Канада	Финансирование НИОКР Информирование и продвижение АТ	Профинансированы десятки проектов, организован ряд выставок и конференций	Промышленные предприятия (19 компаний), университеты и исследовательские центры (11 организаций), ассоциации (5 ассоциаций)	Нет участия государства	Члены консорциума
3D Printing Consortium of Japan	Япония	Информирование и продвижение АТ	Не известно	11 компаний аддитивной промышленности	Не известно	Не известно

Название	Страна	Цель	Достижения	Участники	Роль государства	Финансирование
Advanced Manufacturing Co-operative Research Centre	Австралия	Финансирование НИОКР	Профинансирован ряд проектов	Промышленные предприятия, исследовательские институты и университеты (всего около 50 организаций)	Финансирование	Государство
STREAM (Structural Engineering Materials through AM)	Бельгия	Выполнение НИОКР	Проведен ряд исследований и получены разработки	Промышленные предприятия, университеты, исследовательские центры	Финансирование	Государство
Penrose	Нидерланды	Выполнение НИОКР	Проведен ряд исследований и получены разработки	Исследовательский институт TNO и промышленные партнеры	Нет участия государства	Члены консорциума
AEI-DIRECTMAN	Испания	Выполнение НИОКР	Проведен ряд исследований и получены разработки	Spanish Association for Rapid Manufacturing, компании аддитивной промышленности	Создание, финансирование	Государство
Без названия	Австрия	Выполнение НИОКР	Разработка системы мониторинга для оборудования лазерного спекания	Исследовательское подразделения FOTEC Университета прикладных наук Винер-Нойштадта и компании EOS и Plasm	Нет участия государства	Члены консорциума

Название	Страна	Цель	Достижения	Участники	Роль государства	Финансирование
				Industrietechnik		
Без названия	Австрия	Выполнение НИОКР	Разработка технологий 3D-печати	Исследовательская организация Profactor, промышленные партнеры	Нет участия государства	Члены консорциума
Без названия	Норвегия	Выполнение НИОКР	Разработаны опытно-конструкторские образцы	Исследовательский институт SINTEF, Норвежский университет науки и технологий, промышленные партнеры	Нет участия государства	Члены консорциума
Ассоциация аддитивной промышленности Швеции	Швеция	Координация и стимулирование сотрудничества	Разработан план выполнения проектов, осуществляются совместные разработки	Компании аддитивной промышленности (около 50 компаний), университеты и институты	Финансирование	Государство