



Технет
Национальная
технологическая
инициатива

Передовые
производственные
технологии



ПОЛИТЕХ
Центр Национальной
технологической инициативы
Новые производственные технологии



Ассоциация развития
аддитивных технологий



НЦМУ
ПЕРЕДОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



ЦЕНТР
КОМПЬЮТЕРНОГО
ИНЖИНИРИНГА СПбГУ

CompMechLab

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ В 2023 ГОДУ

Экспертно-аналитический доклад





ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого



Технет

Национальная
технологическая
инициатива

Передовые
производственные
технологии



НЦМУ

ПЕРЕДОВЫЕ ЦИФРОВЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ



**ЦИФРОВОЙ
ИНЖИНИРИНГ**
ПИШ СПбПУ



ПОЛИТЕХ

Центр Национальной
технологической инициативы
Новые производственные технологии

CML
CompMechLab

ЦЕНТР
КОМПЬЮТЕРНОГО
ИНЖИНИРИНГА СПбПУ



Ассоциация развития
аддитивных технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО И РОССИЙСКОГО РЫНКА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАМКАХ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ В 2023 ГОДУ

Экспертно-аналитический доклад

Санкт-Петербург

2024

Авторы:

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

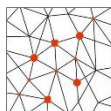
Исследование международного и российского рынка аддитивных технологий в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад.

Объектом исследований являлся международный и российский рынок аддитивных технологий с использованием металлических и неметаллических материалов в рамках направления «Технет» НТИ» за 2023 год.

В отчете представлены результаты аналитических исследований международного и российского рынка аддитивных технологий с использованием металлических и неметаллических материалов в рамках направления «Технет» НТИ. Исследованы основные сегменты, ёмкость, 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 НИР и НИОКР. Исследован национальный и международный нормативно-технологический ландшафт, основные игроки: количество, выручка, темпы роста, рыночные доли, описаны продукты и разработки. Проведена оценка успешных бизнес-моделей и лучших практик, в том числе инвестиций, сделок M&A и коопераций. Проведен анализ новых крупных проектов, указаны возможные причины их закрытия. Перечислены основные технологии, применяемые на рынке аддитивных технологий с использованием различных материалов. Проведен анализ компаний НТИ по направлению аддитивные технологии, описаны их продукция, выручка и РИД.

Подготовлен Инфраструктурным центром по развитию направления Национальной технологической инициативы «Технет» (передовые производственные технологии) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого совместно с Ассоциацией развития аддитивных технологий.

На обложке изображение, созданное на основе запроса с ключевыми словами «additive technologies», «additive manufacturing» с использованием приложения Kandinsky, которое позволяет генерировать уникальные рисунки по фотографиям и ключевым словам с помощью нейросети.



Technet
National
Technology
Initiative

Advanced
Manufacturing
Technologies



WCRC
ADVANCED DIGITAL
TECHNOLOGIES



**DIGITAL
ENGINEERING**



POLYTECH
Advanced Manufacturing
Technologies Center
National Technology Initiative

CML
CompMechLab

SPbPU COMPUTER-AIDED
ENGINEERING CENTRE
OF EXCELLENCE



Ассоциация развития
аддитивных технологий

RESEARCH OF THE NTI TECHNET'S ADDITIVE TECHNOLOGIES INTERNATIONAL AND RUSSIAN MARKETS IN 2023

An expert and research report

St. Petersburg

2024

Authored by:

A. A. Bardanov, D. V. Masailo, D. V. Nikitin, A.V. Sazhenkov

**Research of the NTI Technet's additive technologies international and russian markets in 2023.
An Expert and Research Report.**

The object of research is the international and russian markets of NTI Technet's additive technologies using metallic and non-metallic materials in 2023.

This report presents the results of analytical studies of the NTI Technet's international and russian markets of additive technologies using metallic and non-metallic materials. The main segments, capacity, growth rates, life cycle of the additive technologies market, as well as its stage of maturity have been studied. Trends, barriers and risks of the industry, as well as legal regulation, including government support programs for research and development are analyzed. The national and international regulatory and technological landscape, the main players: quantity, revenue, growth rates, market shares are studied, products and developments are described. Assessed successful business models and best practices, including investments, M&A transactions and cooperations. An analysis of new major projects was carried out, and possible reasons for their closure were indicated. The main technologies used in the additive manufacturing market using various materials are listed. An analysis of NTI companies in the field of additive technologies was carried out, their products, revenue and RIA were described.

This report has been prepared by the National Technology Initiative's Technet Infrastructure Center at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University jointly with Association of Additive Technologies Development.

Image on the front cover: the image generated by Kandinsky app, which generates unique drawings from photos and keywords using neural networks. Query with the keywords «additive technologies», «additive manufacturing»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список рисунков.....	7
Список таблиц	9
Перечень сокращений и обозначений	10
Введение.....	11
Глава 1. Рынок аддитивных технологий в рамках «Технет» НТИ	12
1.1. Основные сегменты рынка аддитивных технологий.....	12
1.2. Ёмкость рынка аддитивных технологий	34
1.3. Темпы роста рынка аддитивных технологий.....	37
1.4. Структура рынка АТ (оборудование, материалы, услуги).....	42
1.5. Структура рынка АТ (технологии).....	48
1.6. Жизненный цикл отрасли, рынка АТ, стадия зрелости.....	49
1.7. Тренды развития рынка аддитивных технологий	51
Глава 2. Барьеры, риски и нормативное регулирование рынка АТ	54
2.1. Барьеры развития аддитивных технологий	54
2.2. Риски развития аддитивных технологий.....	55
2.3. Нормативное правовое регулирование, в том числе анализ государственных программ поддержки развития направления аддитивных технологий по НИРам и НИОКРам.....	56
2.4. Национальный и международный нормативно-технический ландшафт	60
Глава 3. Основные игроки и проекты на рынке АТ направления нти «Технет»	64
3.1. Основные игроки направления аддитивных технологий: количество, рыночные доли, описание продуктов и разработок	64
3.2. Оценка успешных бизнес-моделей и лучших практик	77
3.3. Инвестиции, сделки М&А, кооперация	78
3.4. Новые крупные проекты: участники, планы, суммы привлеченных инвестиций.....	80
3.5. Причины закрытия неудавшихся проектов.....	82
Глава 4. Основные технологии и разработки на рынке АТ направления «технет» нти	83
4.1. Основные технологии, применяемые на рынке аддитивных технологий	83
4.2. Обзор ключевых научных разработок в России и мире по результатам библиометрического и патентного анализа.....	87
Глава 5. Показатели по компаниям «Технет» НТИ, специализирующихся на разработке решений в области развития аддитивных технологий, вовлеченным в реализацию направления НТИ	90
5.1. Количество компаний НТИ	90
5.2. Краткое описание продуктов и услуг компаний НТИ	90
5.3. Объемы выручки от продаж продуктов и услуг компаний НТИ в рамках сегментов направления НТИ.....	93
5.4. Количество компаний НТИ, имеющих экспортную выручку по направлению.....	94

5.5. Объем экспортной выручки компаний НТИ.....	94
5.6. Количество прав РИД, зарегистрированных компаниями НТИ.....	94
5.7. Количество реализуемых проектов с фокусировкой на развитие аддитивных технологий по отдельному направлению НТИ.....	94
Список использованных источников.....	97

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Сегменты мирового рынка аддитивных технологий в 2022 году, %.....	12
Рисунок 2. Сегменты мирового рынка аддитивных технологий в 2023 году, %.....	13
Рисунок 3. Сегменты российского рынка аддитивных технологий в 2023 году, %.....	14
Рисунок 4. Испытания 3D-печатного ракетного двигателя.....	17
Рисунок 5. Примеры использования АТ в ГК «Роскосмос»	17
Рисунок 6. Рабочая лопатка для перспективного турбореактивного двигателя	19
Рисунок 7. Кольцо центробежного колеса для перспективного вертолетного двигателя	19
Рисунок 8. Объем рынка беспилотных авиационных систем (БАС) в России, млрд руб.	21
Рисунок 9. Прогноз международного и российского рынка БАС, млрд долл., млрд руб.....	21
Рисунок 10. 3D-печать фрагмента выгородки внутрикорпусного устройства энергетического ядерного реактора методом прямого лазерного выращивания.....	23
Рисунок 11. Антидебризный фильтр ГК «Росатом»	24
Рисунок 12. Антидебризный фильтр компании «Westinghouse»	24
Рисунок 13. Рабочее колесо насоса, созданное при помощи 3D-печати	25
Рисунок 14. Основные направления 3D-печати в медицине	27
Рисунок 15. Основные виды имплантатов в медицине, изготавливаемые методами АТ	28
Рисунок 16. Основные технологии 3D-печати в медицине.....	29
Рисунок 17. Межпозвоночные титановые кейджи, произведённые с помощью 3D-печати.....	30
Рисунок 18. 3D-принтер на производстве ПАО «КАМАЗ»	31
Рисунок 19. Металлическая форма для создания протектора шины компании Hankook	32
Рисунок 20. Металлическая форма для создания протектора шины компании Michelin	32
Рисунок 21. Комплектующие и запчасти в компании «СИБУР», сделанные с помощью 3D-печати.....	33
Рисунок 22. Мировой рынок аддитивных технологий согласно Wohlers Report 2024, млрд долл.	35
Рисунок 23. Развитие российского рынка аддитивных технологий, млрд руб.	37
Рисунок 24. Количество проданных систем АТ согласно Wohlers Report 2024, шт.	38
Рисунок 25. Динамика продаж промышленных систем 3D-печати, %.....	39
Рисунок 26. Количество производителей промышленных систем АТ, шт.....	40
Рисунок 27. Накопленный объем продаж промышленных систем АТ в мире, тыс. единиц	41
Рисунок 28. Продажи металлических систем АТ, ед.	41
Рисунок 29. Структура мирового рынка АТ в 2023 году по основным направлениям, млрд долл.	42
Рисунок 30. Общее количество проданного оборудования АТ на мировом рынке, ед.	43
Рисунок 31. Количество проданного оборудования АТ по металлу на мировом рынке, ед.....	43
Рисунок 32. Долевое распределение оборудования АТ на мировом рынке в 2023 году, ед.	43
Рисунок 33. Динамика продаж материалов АТ на мировом рынке согласно Wohlers Report 2024, млрд долл.....	44
Рисунок 34. Структура мирового рынка материалов АТ в 2023 году по типам, %	45
Рисунок 35. Продажи полимерных материалов на мировом рынке АТ, млрд долл.....	45
Рисунок 36. Продажи материалов АТ на мировом рынке АТ, млн долл.	46
Рисунок 37. Структура российского рынка АТ в 2023 году по основным	

направлениям, млрд руб.	47
Рисунок 38. Структура российского рынка материалов АТ в 2023 году, млрд руб.	48
Рисунок 39. Структура мирового рынка оборудования АТ по технологиям, %.....	48
Рисунок 40. Структура российского рынка оборудования АТ по технологиям, %	49
Рисунок 41. Преимущества и ценность внедрения АТ на этапах жизненного цикла	50
Рисунок 42. Рынок АТ и уровень зрелости по оценкам АРАТ.....	51
Рисунок 43. Прогноз мирового рынка АТ, млрд долл.....	51
Рисунок 44. Прогноз мирового рынка АТ по оценкам компании Desktop Metal, млрд долл.....	52
Рисунок 45. Географическая структура мирового рынка АТ	53
Рисунок 46. Прогноз российского рынка АТ согласно оценкам Минпромторга, млрд руб.	53
Рисунок 47. План компании NIKON SLM Solutions по выручке до 2025 года, млн евро	64
Рисунок 48. Поставленная система NIKON SLM Solutions в центр GKN Aerospace	66
Рисунок 49. Системы NXG XII 600 и NXG XII 600E от компании NIKON SLM Solutions.....	67
Рисунок 50. Уровень промышленной зрелости технологии SLM (L-PBF).....	68
Рисунок 51. Уровень промышленной зрелости технологии SLM (L-PBF).....	70
Рисунок 52. Производственная линия компании BLT	73
Рисунок 53. Доли рынка производителей оборудования АТ в России, %	75
Рисунок 54. Доли рынка производителей оборудования АТ по металлу в России, %.....	76
Рисунок 55. Доли рынка производителей оборудования АТ (пластики, фотополимеры) в России, %.....	77
Рисунок 56. Регистрация РИД за последние 10 лет, ед.	88
Рисунок 57. Распределение по технологическим областям зарегистрированных РИД	89

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Динамика продаж промышленных систем 3D-печати согласно Wohlers Report, %.....	39
Таблица 2. Динамика продаж материалов АТ на мировом рынке, млрд долл.	44
Таблица 3. Объем продаж материалов АТ на мировом рынке, млн долл.....	46
Таблица 4. Сводные оценки по выручке рассматриваемых мировых игроков АТ.....	74
Таблица 5. Затраты на R&D лидирующих игроков рынка в 2023 году.....	80
Таблица 6. Основные технологии 3D-печати	83
Таблица 7. Производители оборудования АТ и используемые технологии 3D-печати в России .	86
Таблица 8. Ключевые слова для поиска	87
Таблица 9. Результаты библиометрического и патентного поиска (на основе анализа в базе данных Google.scholar и Elibrary)	88
Таблица 10. Описание продуктов и услуг компаний НТИ по направлению «Технет» в области аддитивных технологий.....	91
Таблица 11. Выручка от продаж продуктов и услуг компаний НТИ по направлению «Технет» в области аддитивных технологий	93
Таблица 12. Тендеры на выполнение НИОКР и оказание услуг по направлению аддитивных технологий.....	94

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

AT – аддитивные технологии

MEX – 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,

L-PBF – лазерная технология синтеза на подложке

E-PBF – электронно-лучевая технология синтеза на подложке

ЦАТ – центр аддитивных технологий

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

APAT – Ассоциация Развития Аддитивных Технологий

ВВЕДЕНИЕ

Аддитивное производство – инновационное 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 (АТ). Применение АТ позволяет существенно сокращать время от разработки изделия до выпуска готовой продукции, снизить материалоемкость продукции, потребление энергоресурсов. Технологии АТ позволяют изготавливать изделия со сложными формами и улучшенными свойствами, которые ранее не представлялось возможным производить из-за технологических ограничений.

Целью данной работы является актуализация и обобщение информации по мировому и российскому рынку аддитивных технологий по итогам 2023 года, выявление трендов, проведение оценок объема рынка, его динамики, прогнозных значений. В работе приводится описание основных производителей оборудования 3D-печати и их основные запуски продуктов, а также предоставляются оценки финансовых показателей игроков рынка. Рассматриваются известные сделки M&A, созданные партнёрства между компаниями, 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 работе использовались данные из открытых источников, материалы консалтинговых компаний, государственных ведомств, различные базы данных, результаты прямых опросов компаний, а также готовые исследования аналитических агентств по направлению «аддитивные технологии».

ГЛАВА 1. РЫНОК АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАМКАХ «ТЕХНЕТ» НТИ

Данная глава посвящена описанию международного и российского рынка аддитивных технологий по итогам 2023 года в рамках направления «Технет» НТИ. Рассматриваются основные сегменты рынка аддитивных технологий с точки зрения конечных отраслей потребления АТ. Приводятся оценки ёмкости рынка и его темпов роста по различным направлениям: оборудование, материалы, услуги. В текущей главе рассматривается жизненный цикл отрасли, стадии зрелости и прочие тренды развития рынка АТ.

1.1. Основные сегменты рынка аддитивных технологий

Согласно данным Wohlers Associates [1], наиболее крупные опрошенные игроки рынка называют автомобильную промышленность, аэрокосмическую отрасль, медицину, машиностроение – как самые передовые сектора, в которых в настоящее время внедряются аддитивные технологии. Далее приведены основные сегменты рынка АТ согласно Wohlers в 2022 и 2023 годах (Рисунок 1, Рисунок 2).

Рисунок 1. Сегменты мирового рынка аддитивных технологий в 2022 году, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Wohlers Associates [1], 2024

Рисунок 2. Сегменты мирового рынка аддитивных технологий в 2023 году, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам Wohlers Associates [1], 2024

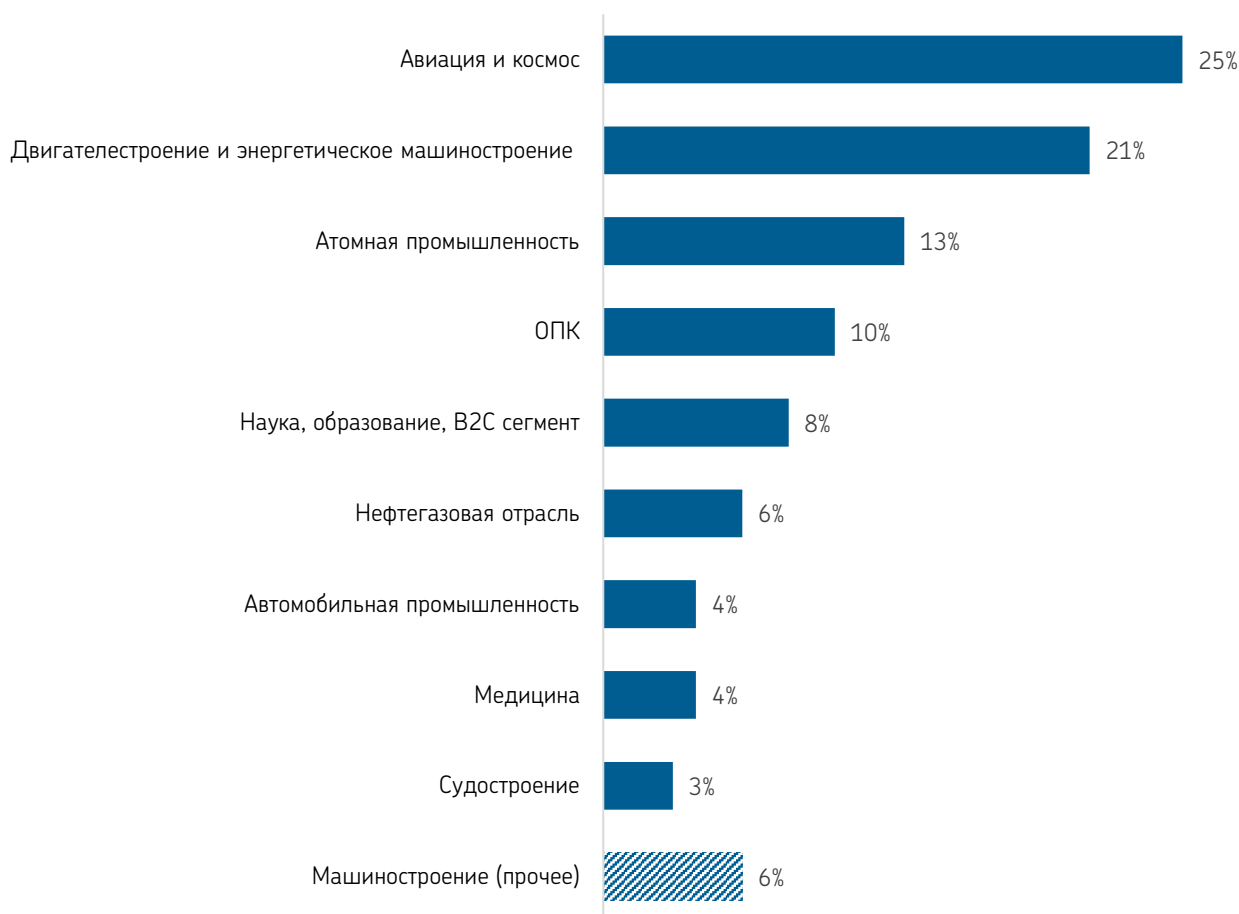
За последние два года произошло достаточно заметное перераспределение ключевых отраслей, где применяются аддитивные технологии. Если ранее лидирующие позиции занимали авиация, космос, то по итогам 2023 года автомобильная промышленность вышла на первое место с долей 14,4%, товары народного потребления занимают второе место с долей 14,0%, а медицина и стоматология вышли на третье место и имеют долю 13,7%. По итогам 2023 года авиакосмическая отрасль находится на четвёртой позиции с долей 13,3%. Таким образом, можно констатировать:

- значительное увеличение потребления АТ в автомобильной промышленности и товарах народного потребления;
- усиление позиций АТ в медицине и выход на третье место;
- смещение авиакосмической отрасли на четвёртое место;
- значительный прирост АТ в оборонной промышленности – увеличение доли на 3,5%.

Сегментация рынка аддитивных технологий в России несколько отличается от мирового распределения по отраслям. В России, в наибольшей степени АТ внедряются в авиакосмическую отрасль, двигателестроение и энергетическое машиностроение. Атомная отрасль и оборонная промышленность заметно увеличили применение АТ в своих производственных процессах в 2023 году.

При этом аддитивное производство связано не только с печатью деталей металлическими порошками, но и с применением пластиков и фотополимеров. По оценкам АРАТ, которые строились на базе анализа тендеров, опроса экспертов, оценок компании «Инфолайн», – структура российского рынка АТ в разрезе отраслей приведена далее (Рисунок 3).

Рисунок 3. Сегменты российского рынка аддитивных технологий в 2023 году, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по оценкам экспертов АРАТ, 2024

Таким образом, можно сказать, что на авиакосмическую отрасль, двигателестроение и энергетическое машиностроение приходится почти половина российского рынка АТ – эти два направления занимают более 45% рынка. Атомная отрасль и ОПК – также очень весомые на российском рынке аддитивных технологий, – занимают более 20%. На лидирующие четыре отрасли приходится почти 70% всего российского рынка АТ. В то же время, в отличие от мирового рынка, на автомобильную промышленность и медицину суммарно приходится 8%. Эти сегменты в России пока имеют отставание от мировой практики внедрения АТ и их доля в структуре рынка ниже мировых значений более, чем в три раза.

Аддитивные технологии освоили многие предприятия авиакосмической отрасли и двигателестроения: Госкорпорация «Роскосмос», «Ростех»: «ОАК» (АО «Компания «Сухой», ПАО «Корпорация Иркут»), «ОДК» и его структуры (ПАО «ОДК-Сатурн», АО «ОДК-Авиадвигатель», АО «ОДК-Климов», ПАО «ОДК-УМПО», ПАО «ОДК-Кузнецов») и др.

По данным компании «Инфомай», на этих предприятиях установлены в настоящее время десятки систем аддитивной печати металлическими порошками, термопластиками и фотополимерами. В Госкорпорации «Росатом» аддитивными технологиями занимается целый пул предприятий: ООО «РосАТ», АО «ОКБМ Африкантов», АО «НПО «ЦНИИТМАШ», ООО «НПО «Центротех», НПО «Луч» и др.

Данные по услугам 3D-печати предприятиями авиационной, космической отрасли, двигателестроения, атомной отрасли и ОПК – носят зачастую закрытый характер. Применения АТ в данных сегментах рынка можно показать на примерах Госкорпораций «Роскосмос», «Ростех», «Росатом».

ГК «Роскосмос» в своих материалах отмечает основные цели внедрения АТ в производственные процессы:

- Сокращение времени и стоимости изготовления элементов ракетно-космической техники;
- Сокращение количества операций сборки и циклов испытаний;
- Достижение новых тактико-технических характеристик;
- Компактность и сокращение массы как целевых и служебных систем, так и элементов конструкций космических аппаратов, без снижения уровня механических свойств, в том числе за счет проведения топологической оптимизации;
- Увеличение срока активного существования космических аппаратов;

В 2023 году было объявлено, что предприятие Роскосмоса освоило аддитивную технологию для создания двигателей ракет «Ангара» [2]. Технология послойного выращивания среднегабаритных металлических заготовок методом проволоочной дуговой наплавки была освоена предприятием «Протон-ПМ», входящим в общую структуру НПО Энергомаш им. Академика В.П. Глушко Госкорпорации «Роскосмос». По данным компании, внедрение аддитивных технологий позволяет быстрее и экономически эффективно осваивать новую номенклатуру компонентов и сборочных единиц жидкостного ракетного двигателя РД-191. Он используется в ракетах-носителях серии «Ангара». Применение АТ позволяет выполнять и другие серийные заказы, в частности, изготавливать нестандартную оснастку для организации производства, выпускать опытные партии изделий, единичные экземпляры для ведущих отраслей промышленности.

В случае ГК «Роскосмос» – технология проволоочной наплавки позволяет выпускать заготовки, диаметр которых достигает 100 см. Внедрение данной технологии потребовало установки на предприятиях специальных роботизированных сварочных комплексов, они были разработаны кафедрой сварочного производства, метрологии и технологии материалов Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ). В качестве материалов для данной технологии АТ сегодня уже используются конструкционные, жаропрочные, легированные и нержавеющие сплавы металлов. Как отмечают специалисты «Протон-ПМ»: «Освоенная аддитивная технология позволяет организовать производство деталей из труднообрабатываемых материалов высокой твердости и прочности. Применение проволоочной наплавки увеличивает коэффициент полезного использования материала с 60 до 90 % за счет минимальных припусков на механическую обработку. При этом себестоимость производства сокращается на треть. С помощью этой технологии мы можем выращивать заготовки оснастки, пресс-форм, сложно-профильных шаблонов, опытных изделий и макетов. Прорабатываем вопрос ее применения в процессе освоения серийной номенклатуры, а также в ходе ремонтов и восстановительных работ».

Ещё одним событием под девизом «Быстрее, дешевле и легче» стало открытие лаборатории аддитивных технологий на предприятии АО «Решетнёв» [3]. Сейчас лаборатория уже активно вовлечена в производственный процесс. Её основное оборудование – комплекс селективного лазерного сплавления металлических порошков – работает круглосуточно. Лаборатория работает на стыке конструкторской разработки и производства: и, проектирует, и моделирует, и выпускает необходимую документацию, и конечно, изготавливает детали. Здесь организован замкнутый цикл – от идеи до выпуска готовой продукции. Первый и самый приоритетный заказ – создание элементов для экспериментального космического аппарата «Марафон».

По данным издания «3D Today», лаборатория выполняет несколько проектов, например, изготавливаются части и детали для космических аппаратов серии «Экспресс» – «Экспресс-АМУ4» и «Экспресс-РВ», а также серий «Гонец», «СКИФ» и других. Металлическая 3D-печать используется также для создания сложных, капиллярных и теплопроводящих структур систем терморегулирования, они представляют собой очень тонкие элементы, которые невозможно сделать традиционными методами производства. Такие элементы планируется использовать во многих новых приборах и системах. Помимо металлических изделий, лаборатория активно работает с полимерами, – это востребовано при создании всевозможных макетов и прототипов изделий.

Отдельно следует отметить и процесс топологической оптимизации – этот этап позволяет удалить из детали всё лишнее, оставляя в ней только тот материал, который «работает». По оценкам специалистов и технологов лаборатории, массу некоторых элементов возможно снизить до 40%, что очень существенно. Важно и то, что при классических методах производства сложные конструкции обычно состоят из нескольких элементов, то с помощью аддитивных технологий деталь можно сделать единой, без лишних соединений. Это значительно улучшает рабочие характеристики.

Также было объявлено [4], что Университет Решетнева провел первые огневые испытания 3D-печатного ракетного двигателя (Рисунок 4). Речь идёт о жидкостном ракетном двигателе малой тяги. Испытания состояли из пяти коротких запусков продолжительностью по полторы секунды. По словам руководителя проекта, заведующего кафедрой двигателей летательных аппаратов института космической техники Владимира Назарова, результаты подтвердили расчеты разработчиков.

Работы по созданию ракетных двигателей с повышенными параметрами энергетической эффективности, меньшими габаритами и повышенной экономичностью ведутся коллективом Университета Решетнева более двух лет. Такие силовые установки планируется использовать для корректировки траекторий и ориентации космических аппаратов на геостационарных орбитах.

ГК «Роскосмос» в своих докладах [5] на конференциях обобщённо представляла подходы и применения аддитивных технологий при строительстве ракетно-космической техники. К ним относятся и компоненты ракетных двигателей, и различные конструктивные элементы космических аппаратов, различные кронштейны, крыльчатки и т. д. (Рисунок 5).

Ключевые задачи – это снижение веса, снижение количества соединений, создание деталей сложных форм при сохранении высоких эксплуатационных характеристик.

Рисунок 4. Испытания 3D-печатного ракетного двигателя



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным университета им. академика М.Ф. Решетнева [4], 2024

Рисунок 5. Примеры использования АТ в ГК «Роскосмос»



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам ГК «Роскосмос» [5], 2024

Госкорпорация «Ростех» – крупнейшая машиностроительная компания России. Объединяет свыше 800 научных и производственных организаций в 60 регионах страны. Компания выступает ключевым поставщиком вооружений, военной и специальной техники в рамках гособоронзаказа. Консолидированная выручка в 2023 году превысила 2,9 трлн руб.

В Госкорпорации «Ростех» для развития инновационного направления АТ был создан специальный интегратор – АО «ЦАТ». АО «Центр аддитивных технологий» – единый интегратор в области промышленной 3D-печати Госкорпорации «Ростех», работает с 2018 года. ЦАТ реализует весь спектр задач от идеи до организации серийного производства в любой из отраслей промышленности.

Компания располагает крупнейшим в России парком промышленного оборудования для аддитивного производства и профессиональной командой технических специалистов с богатым опытом в области применения новейших технологий.

Сейчас в нашей стране активно развивается производство лайнеров MC-21, Sukhoi Superjet 100, TU-214, военных самолётов и вертолёт, двигатели которых содержат аддитивные изделия.

Для производства деталей в авиации методами АТ используются изделия из металла и пластика. Металлические изделия печатаются наиболее часто по технологии SLM (Selective Laser Melting), или селективное лазерное сплавление. Частицы металлического порошка сплавляются между собой мощным лазером, слой за слоем, формируя будущую деталь. В этом процессе практически нет ограничений – 3D-принтер может напечатать изделие абсолютно любой формы и дизайна. При проектировании 3D-модели инженеры определяют возможные риски – места, где впоследствии могут образоваться дефекты, и моделируют её таким образом, чтобы избежать появления деформаций. После печати изделие проходит процедуры постобработки. Сейчас для авиадвигателей с помощью аддитивных технологий печатаются сопловые и рабочие лопатки, топливные форсунки, корпуса компрессора и многие другие элементы газотурбинных двигателей. Аддитивные детали также выпускаются для салона и других систем жизнеобеспечения самолета. Среди них – воздуховоды, стеновые панели, каркасы сидений и др.

Одно из главных преимуществ 3D-печати в авиастроении – возможность сократить вес детали, так как борьба идёт за каждый килограмм. Избыточную массу снижают не только авиакомпании, но и инженеры-конструкторы при проектировании авиалайнера или вертолёт. При проектировании 3D-модели изделия проводится его редизайн под аддитивное производство, когда инженер-конструктор из номинальной геометрии изделия проектирует оптимизированную. В процессе трансформируются некоторые элементы, чтобы изделие напечаталось с наименьшим количеством технологических поддержек и было лишено концентраторов напряжения – мест, где оно может получить дефект. Таким образом, в новом изделии сокращается количество используемого материала, а в сплошных стенках могут появиться отверстия.

При этом образец, напечатанный в 3D-принтере, соответствует тем же характеристикам и выполняет те же функции, что и его аналог, изготовленный классическим способом, но вес аддитивного образца может быть до 60 % меньше. Снижение веса многих деталей сокращает массу воздушного судна в целом, что способствует уменьшению расхода топлива в течение всего срока эксплуатации. Это также положительно сказывается на грузоподъемности, скорости и безопасности воздушного судна. Также, благодаря аддитивному производству, снижается количество соединений между деталями, а изделия, изготовленные из цельного блока, более эластичны и меньше подвержены повреждениям. По данным немецкой компании EOS GmbH [6] количество деталей в некоторых частях авиадвигателей удаётся уменьшить с десяти до одного.

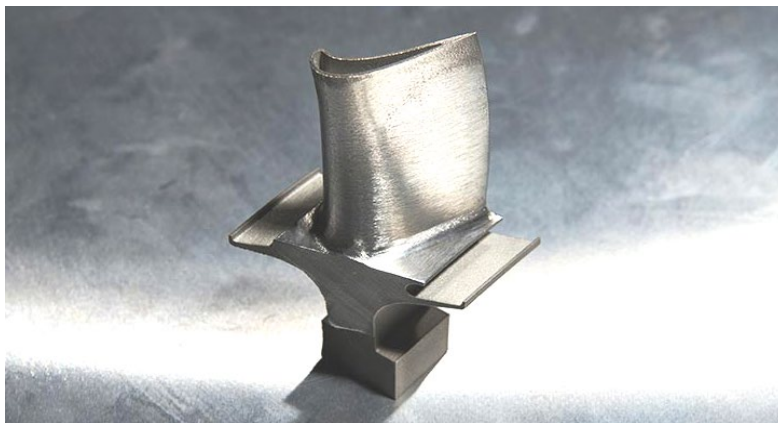
На сегодняшний день ЦАТ «Ростех» имеет в своём составе более 43 установок аддитивного производства, 9 распределённых центров специализации и более 190 высококлассных специалистов.

Далее показана рабочая лопатка для перспективного турбореактивного двигателя, сделанная с использованием АТ (Рисунок 6). Габариты лопатки: 40 мм x 50 мм x 100 мм, материал: отечественная металлпорошковая композиция Х15Н5Д4Б [7]. Время 3D-печати одной детали составило 3 часа. В качестве достигаемых эффектов АО «ЦАТ» выделяет следующие:

- сокращение сроков производства в 4 раза;
- полное отсутствие дефектов производства;
- меньшее количество используемого материала, снижение отходов;
- полное соответствие требуемым рабочим характеристикам и параметрам.

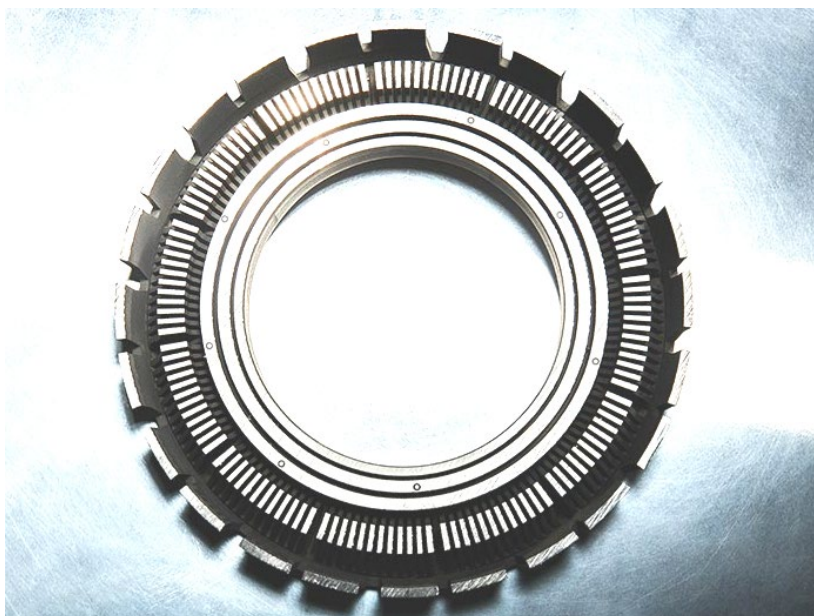
Далее показано кольцо центробежного колеса для перспективного вертолетного двигателя (Рисунок 7). Габариты изделия: 350 мм x 150 мм, материал: нержавеющая сталь X15H5Д4Б.

Рисунок 6. Рабочая лопатка для перспективного турбореактивного двигателя



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АО «ЦАТ» [7], 2024

Рисунок 7. Кольцо центробежного колеса для перспективного вертолетного двигателя



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АО «ЦАТ» [7], 2024

ЦАТ «Ростех» активно принимает участие в изготовлении деталей двигателя ПД-14 и деталей для опытных двигателей-демонстраторов ПД-35, ВК-650В и ВК-1600В производства АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» (АО «ОДК»). Доля деталей с применением АТ достигает 10%.

Текущая геополитическая обстановка привела к тому, что аддитивные технологии применяются в авиации и ОПК всё чаще и чаще, а именно для создания современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Перечислим основные задачи, которые потенциально можно решать при помощи аддитивных технологий для БПЛА:

- Цельные компоненты вместо сложных сборных конструкций.

Разработчики отмечают, что аддитивные технологии обеспечивают большую свободу проектирования в сравнении с традиционными методами производства. Например, с помощью 3D-принтера можно заменить сборку, состоящую из множества различных элементов, на единую функциональную конструкцию. Корпус дрона может быть изготовлен на 3D-принтере из угленаполненного пластика, обладающего такой же жесткостью как титан при значительно меньшем весе материала. Оптимизация конструкции путём снижения количества используемых деталей и соединительных элементов сокращают время, требующееся на сборку устройства, снижает риски допущения ошибок, повышает механические свойства дрона. Кроме того, упрощение конструкции приводит к меньшим затратам материала в сравнении с субтрактивными методами производства. Свобода проектирования проявляется также и в том, что 3D-принтеры способны воспроизводить сложные геометрические формы, что крайне затруднительно или даже невозможно с помощью традиционных методов, таких как литьё под давлением.

- Оптимальное соотношение веса и мощности.

Одной из главных задач при проектировании беспилотных летательных аппаратов является, с одной стороны, достижение оптимальных аэродинамических свойств дрона, а с другой стороны, обеспечение минимально возможного веса устройства. 3D-принтеры позволяют создавать решётчатую структуру корпуса и некоторых узлов крепления, это значительно снижает вес изделия без ущерба для прочностных характеристик конструкции. Такой метод производства внутренних (невидимых) частей деталей считается относительно молодым, так как получил широкую популярность именно с появлением технологий 3D-печати.

- Использование жестких композитных материалов.

Практически все беспилотные летательные аппараты обладают компонентами, выполненными из карбонового материала. Использование лёгких полимеров, усиленных углеволокном, позволяет заменить металлы и обеспечить более высокую скорость дронов. В аэрокосмической отрасли жесткость материала имеет ключевое значение. Вращающиеся элементы, такие как роторы, лопасти, пропеллеры, подвергаются серьёзному давлению. Поэтому они должны быть достаточно жёсткими, чтобы выдержать воздействие тяги. Некоторые композитные полимеры, используемые в 3D-печати, обладают прочностью и жесткостью, схожими с лёгкими металлами.

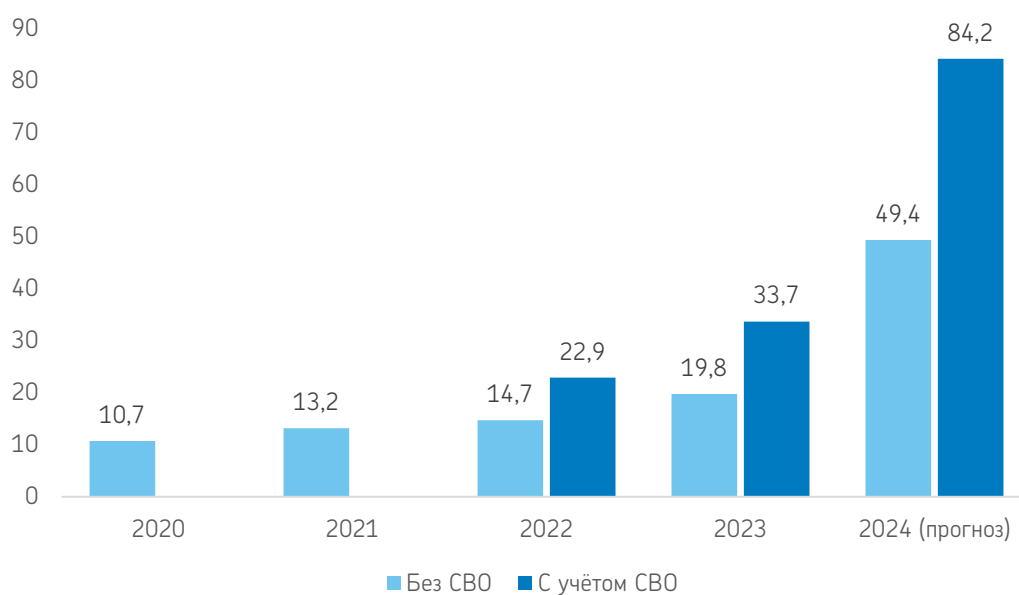
Таким образом, использование АТ при создании дронов позволяет значительно снизить вес конструкции, повысить автономность БПЛА, обеспечить высокую прочность конструкции, а также иметь возможность изготавливать запасные части к БПЛА и повышать скорость ремонта.

Ниже представлены основные финансовые показатели отрасли беспилотных авиационных систем (БАС) по итогам 2023 года [8]. Интегрированная оценка на основании опроса такова:

- 14% – средний рост выручки от реализации услуг БАС в 2023 году относительно 2022 года;
- 55 % – средний рост выручки от продажи БАС на гражданский рынок в 2023 году;
- Наибольший рост выручки показывает актуальное направление продаж БАС специального назначения, не относящиеся к гражданским – 318% в 2023 году.

Итого за 2023 год валовая выручка в отрасли БАС выросла на 34,5% в сравнении с 2022 годом и достигла 33,7 млрд руб.

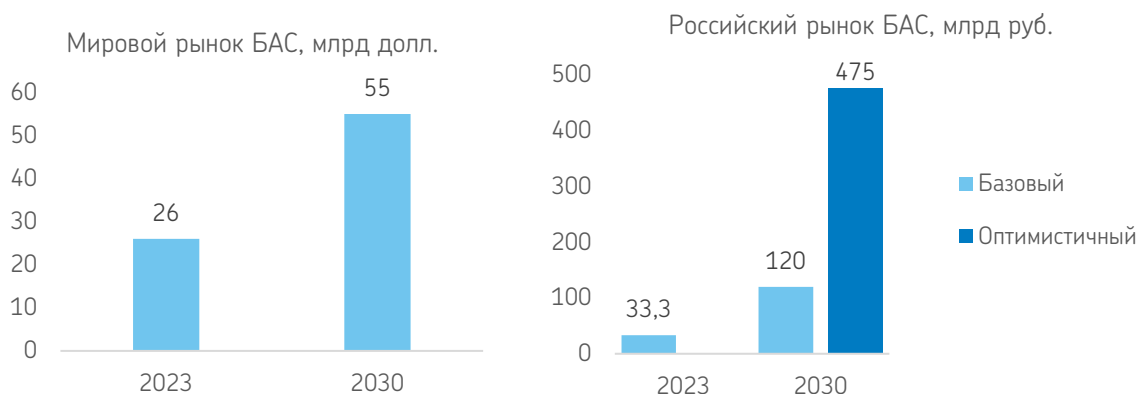
Рисунок 8. Объём рынка беспилотных авиационных систем (БАС) в России, млрд руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Ассоциации «Аэронекст» [8], 2024

Если говорить о прогнозах до 2030 года, то Ассоциации «Аэронекст» [8] приводит следующие данные по мировому и российскому рынку БАС.

Рисунок 9. Прогноз международного и российского рынка БАС, млрд долл., млрд руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Ассоциации «Аэронекст» [8], 2024

Госкорпорация «Росатом» – первая из больших российских промышленных компаний, начавшая разрабатывать технологии и изготавливать отечественное оборудование для трехмерной печати. За последние годы в структуре госкорпорации была создана полная производственная цепочка, включая изготовление 3D-принтеров, разработку программного обеспечения, производство металлических порошков, предоставление услуг 3D-печати.

При этом атомная отрасль выступает одновременно и поставщиком, и крупным заказчиком в области технологий аддитивного производства, активно внедряет их в свои бизнес-процессы. Развивается региональная сеть центров аддитивных технологий. Таким образом, Росатом содействует решению государственных задач в укреплении национального технологического суверенитета.

Росатом оказывает всестороннюю поддержку предприятиям, развивающим аддитивные технологии. Вся эта работа проводится в рамках выполнения соглашения о намерениях между Правительством РФ и Госкорпорацией, подписанного в целях развития высокотехнологичного направления «Технологии новых материалов и веществ» (ТНМиВ).

Предприятиями Росатома разработаны 3D-принтеры, которые печатают по технологии SLM (selective laser melting, селективное лазерное сплавление), DMD (direct metal deposition, прямое лазерное выращивание), EBAM (electron-beam additive manufacturing, электронно-лучевая наплавка) и FDM (fused deposition modeling, послойная наплавка). В зависимости от технологии материалами для печати являются металлпорошковые композиции, металлическая проволока или пластик.

Внедрение аддитивных технологий в атомной промышленности включает пилотные проекты по производству с помощью 3D-печати антидебризного фильтра для ядерного топлива, фланцев электролизера, элементов насосной техники, парогенераторов, выгородки реактора и др. Все эти проекты позволяют сократить сроки и себестоимость производства, а также значительно улучшить характеристики изделий.

Кроме того, в Росатоме реализуются научно-исследовательские и промышленные проекты по освоению новых технологий и продуктов для 3D-печати. Росатом также активно работает над развитием нормативной базы и стандартизацией новой отрасли аддитивных технологий в Российской Федерации.

«Росатом Аддитивные технологии» – интегратор Госкорпорации «Росатом», консолидирующий усилия научных и производственных предприятий атомной отрасли в области аддитивных технологий для развития аддитивного направления в России. Входит в контур управления АО «ТВЭЛ». «РосАТ» курирует проектирование и организацию производства оборудования, порошковых материалов, комплектующих, программного обеспечения, а также предоставляет услуги в области аддитивных технологий.

Компания обеспечивает российские производственные предприятия стратегических отраслей промышленности инновационным и надежным оборудованием, материалами и профессиональным сервисом для внедрения технологий аддитивного производства.

В качестве примеров изделий, напечатанных на 3D-принтерах для атомной отрасли, можно выделить следующие:

Выгородка активной зоны атомного реактора ВВЭР-ТОИ[9]: сама деталь представляет собой четыре кольца диаметром до четырех метров и один метр высотой каждое, соединенные друг с другом. По всей высоте его пронизывают отверстия, через которые течет охлаждающая жидкость. Изготовление выгородки традиционным методом очень трудоемко и занимает около тринадцати месяцев. У конструкторов была задача продлить срок ее службы путем увеличения количества охлаждающих каналов и уменьшения их диаметра. Сделать усовершенствованный конструктив традиционным способом невозможно. На установке прямого лазерного выращивания (ПЛВ/DMD) был изготовлен опытный образец – сегмент новой конструкции кольца в тридцать четыре градуса высотой один метр. Расчеты показали, что охлаждение улучшится на тридцать процентов. Соответственно, увеличится и ресурс выгородки, а изготовление изделия целиком занимает менее двух месяцев со значительным снижением рабочих и технических ресурсов за счет автоматизации процесса.

Рисунок 10. 3D-печать фрагмента выгородки внутрикорпусного устройства энергетического ядерного реактора методом прямого лазерного выращивания



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным портала «3D Today» [9], 2024

Антидебризный фильтр (АДФ), защищающий тепловыделяющие элементы от посторонних предметов в первом контуре реактора [10]. С помощью 3D-печати инженеры-конструкторы сейчас работают над оптимизацией дизайна АДФ, чтобы в несколько раз снизить срок изготовления, а такжекратно увеличить коэффициент использования материала», – рассказал Илья Кавелашвили, генеральный директор ООО «РосАТ» на конференции научно-образовательного центра «ТулаТЕХ» (Рисунок 11).

Подобные инициативы имеются и в США. Так, компания Westinghouse протестировала 3D-печатные антидебризные фильтры для ТВС на АЭС «Фарли». Технология аддитивного производства, по словам компании, позволяет значительно улучшить фильтрацию дебриса благодаря более широким возможностям в плане проектирования, что уменьшает диаметр частиц дебриса, которые могут попасть в реактор.

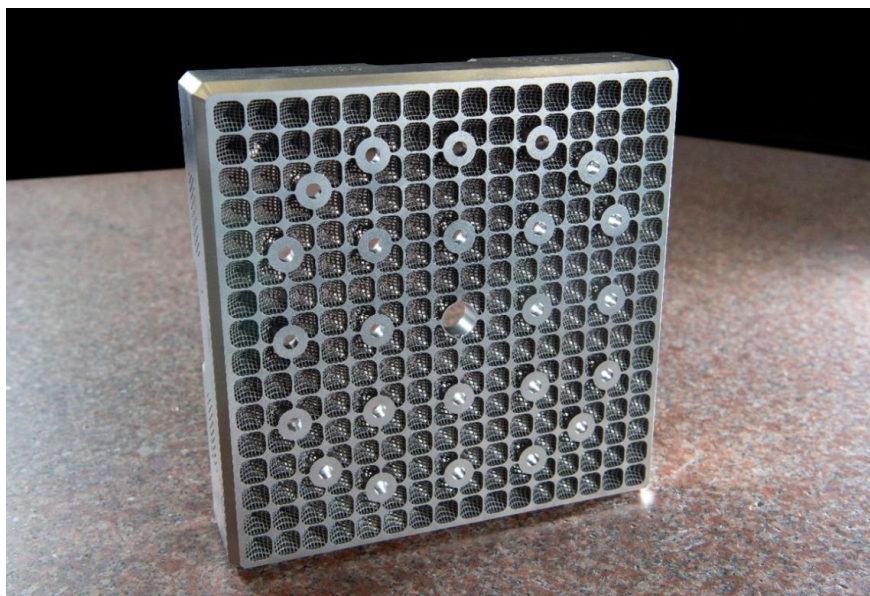
В ходе испытаний компоненты, изготовленные аддитивным способом, продемонстрировали 30-процентное улучшение устойчивости к засорению – с 65 до 96 % [11]. Данная модель АДФ приведена далее (Рисунок 12).

Рисунок 11. Антидебризный фильтр ГК «Росатом»



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным портала «3D Today» [10], 2024

Рисунок 12. Антидебризный фильтр компании «Westinghouse»



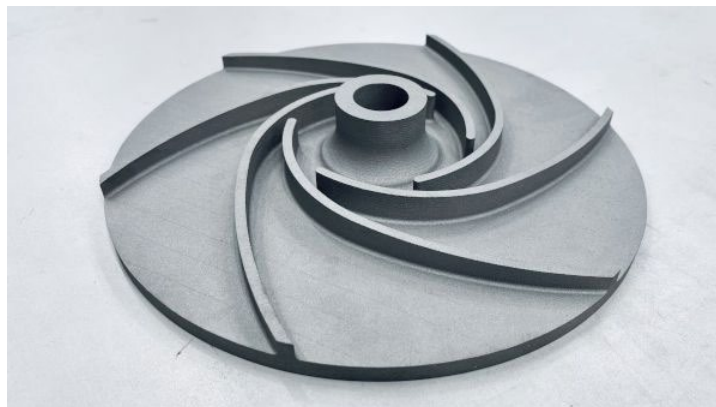
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным портала «Атомная энергия 2.0» [11], 2024

Рабочее колесо насоса – в одном из отраслевых центров аддитивных технологий на 3D-принтере напечатано данное изделие для единственного в России производства по конверсии урана – суб-лиматного завода Сибирского химического комбината (АО «СХК», предприятие Топливного дивизиона «Росатома» в ЗАТО Северск Томской области). Конверсия урана – один из технологических переделов в цепочке производства ядерного топлива, предшествующий обогащению по изотопу уран-235.

Изделие было выращено по технологии селективного лазерного сплавления на 3D-принтере RusMelt-300, который также был разработан и изготовлен специалистами Топливного дивизиона «Росатома» (Рисунок 13) [12]. По требованиям инженеров-конструкторов изделие должно иметь строго определенную форму с изгибами, которые невозможно выполнить ни одним из традиционных методов. Полное соответствие изготовленной детали исходной модели повышает в итоге производительность и энергоэффективность насоса и всей установки в целом. Применение 3D-печати позволяет решать данную задачу и достигать максимального соответствия готовых деталей исходной конструкторской документации. Аддитивные технологии также повышают прочность изделий и снижают вес.

«Первый случай применения на ядерном объекте изделия, изготовленного с помощью 3D-печати, станет еще одним подтверждением высокого качества и надежности аддитивного производства деталей и комплектующих. «Росатом» проводит комплексную работу по внедрению аддитивных технологий в атомной промышленности. В нашу рабочую группу вошли более 60 главных конструкторов, конечных потребителей, метрологов, представителей органов сертификации. Подготовлен перечень из 120 деталей, которые целесообразно печатать на 3D-принтерах. Мы выбрали из них 10 образцов разных классов безопасности, которые будут референтными. Среди них – антидебризный фильтр тепловыделяющей сборки, выгородка внутрикорпусного устройства ядерного реактора ВВЭР-ТОИ и другие. В ходе испытаний мы докажем, что они надежны для промышленного применения, и это ляжет в основу нормативной базы использования аддитивных технологий в атомной отрасли», – отметил директор бизнес-направления «Аддитивные технологии» Топливного дивизиона «Росатома» Илья Кавелашвили [13].

Рисунок 13. Рабочее колесо насоса, созданное при помощи 3D-печати



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным портала «3Dpulse» [12], 2024

Также можно привести примеры применения аддитивных технологий и в других сегментах рынка: медицине, автомобильной промышленности, нефтегазовой отрасли.

Медицина.

По данным исследований УрФУ [14] методы быстрого прототипирования, аддитивные технологии или 3D-печать, применяются в самых разных областях медицины и здравоохранения. Использование 3D-печати в медицине можно классифицировать по областям применения, технологиям 3D-печати и применяемым материалам.

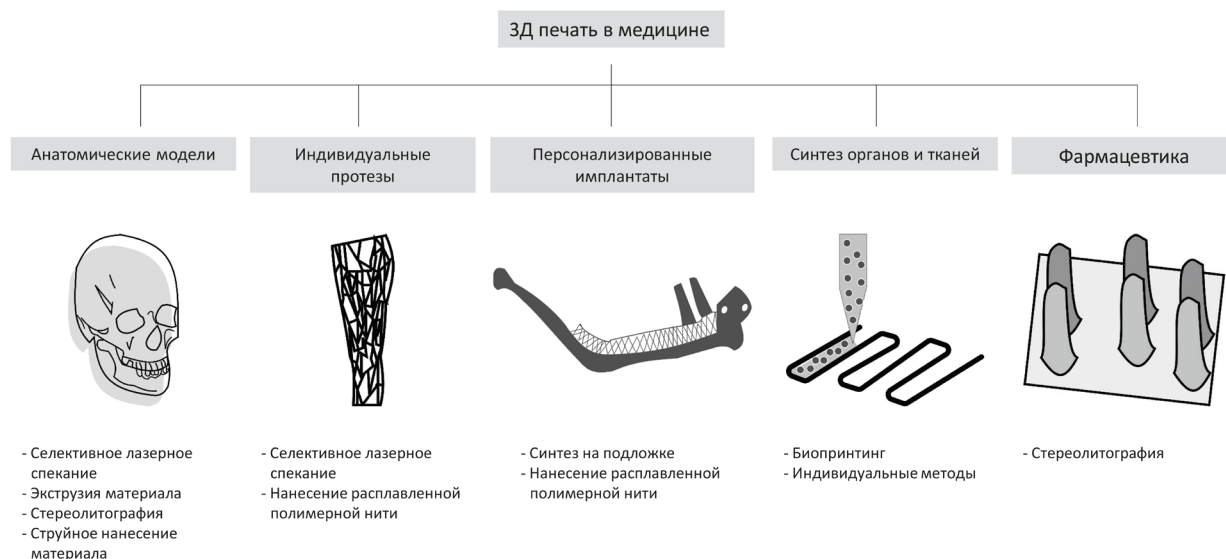
Можно отметить, что существуют различные способы биомедицинского применения 3D-печати – от индивидуальных протезов и имплантатов до анатомических моделей для учебных задач и синтеза биологических тканей и человеческих органов:

- Анатомические модели – продукты 3D-печати, используемые в медицине в качестве прототипов изделий, а также в образовательных целях для студентов медицинских специальностей. Для их изготовления применяются различные аддитивные методы на основе полимеров с возможностью получения многоцветных, полноцветных и прозрачных моделей. Напечатанные анатомические модели могут быть использованы в качестве прототипов на этапе планирования операции, перед имплантацией индивидуальных ортопедических имплантатов, изготовленных с применением 3D-печати.
- Индивидуальное протезирование применяется для замены утраченных или необратимо поврежденных конечностей и суставов. В данном контексте 3D-печать является одним из этапов цифрового производственного процесса медицинских устройств, работа которых также обеспечивается с помощью роботизированных и сенсорных компонентов. 3D-печать обеспечивает максимальную персонализацию и позволяет изготовить протезы с возможностью подгонки формы и цвета, с учетом индивидуальных особенностей и потребностей конкретного пациента. Персонализированные протезы могут быть изготовлены из биосовместимых пластиковых материалов, чистых металлов и их сплавов.
- Персонализированные ортопедические имплантаты производятся из металлических сплавов методами синтеза порошка на подложке с использованием лазера и электронного пучка для лечения дефектов черепных и челюстных костей, переломов длинных трубчатых костей и внутрисуставных переломов.
- Изготовление тканей и органов – самое сложное инновационное направление медицинского применения 3D-печати. Основной задачей является 3D-биопечать тканей и сосудистых структур. Материалы, используемые для биопечати – это персонализированные биочернила и биогидрогели, синтезированные на основе клеток пациента.
- Фармацевтические исследования в области 3D-печати относятся к вопросам доставки лекарственных форм до очага поражения.

Далее показаны основные направления 3D-печати в медицине (Рисунок 14).

Если рассматривать подробнее направление «имплантаты», в издании [14] отмечается следующее: основными классами металлических материалов, используемых для изготовления персонализированных имплантатов, являются нержавеющая сталь марки 316 (SS316), кобальтохромовые сплавы (Co-Cr) и титановые сплавы. Все они обладают высокой коррозионной стойкостью и биосовместимостью, что имеет критическое значение для правильной остеоинтеграции и естественного восстановления пациента. Однако только титановые имплантаты сочетают в себе преимущества высокой коррозионной стойкости и биосовместимости с высокой удельной прочностью, т. е. прочностью, отнесенной к плотности, которые также являются очень важными свойствами для ортопедического применения имплантатов.

Рисунок 14. Основные направления 3D-печати в медицине



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным УрФУ [14], 2024

Согласно классификации (Рисунок 15), можно выделить четыре основные категории имплантатов, изготавливаемых методами АТ:

- стоматологические имплантаты – коронки, мосты, скобки, выравниватели;
- суставные протезы – наиболее сложная для реализации группа по причине возможности возникновения проблем сохранения функциональности коленного, тазобедренного или плечевого суставов. Данный тип имплантатов наиболее сложен в проектировании, изготовлении и зачастую сочетает несколько компонентов, изготовленных из разных материалов. Одним из важнейших факторов для суставных имплантатов является износостойкость, поэтому, наряду с использованием титановых сплавов, их также изготавливают из сплавов Co-Cr. Продолжается активный поиск материалов, способных служить альтернативой собственной кости, а также способов облегчить конструкции и снизить негативное воздействие имплантата на костную ткань пациента;
- спинальные имплантаты делятся на две категории. Наиболее распространенным типом спинных имплантатов являются спинальные кейджи, применяемые для замены межпозвонковых дисков. В тех случаях, когда требуется замена всего позвонка, применяются титановые сетчатые конструкции, по структуре и биомеханическим свойствам максимально близкие к костной ткани. Их получение практически невозможно без применения методов 3D-печати;
- челюстно-лицевая хирургия – изготовление индивидуальных пластин и замена участков кости, поврежденных вследствие рака или других опухолей, при переломах черепа.

Рисунок 15. Основные виды имплантатов в медицине, изготавливаемые методами АТ



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным УрФУ [14], 2024

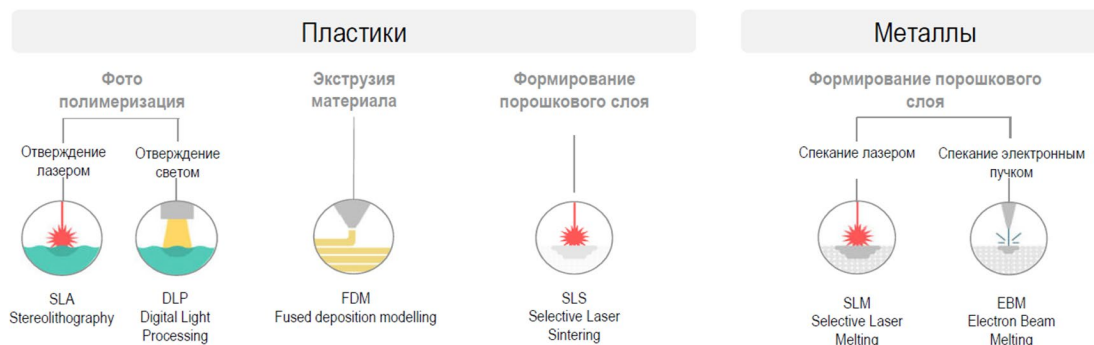
Одним из основных преимуществ аддитивных технологий является возможность изготовления имплантатов сложной формы. Фактически аддитивные технологии позволяют реализовать настройку имплантата под особенности анатомии конкретного пациента и его потребности, причем такая индивидуализация не требует существенных дополнительных производственных затрат.

Еще одним преимуществом 3D-печати является возможность дизайна и изготовления сетчатых (ячеистых) структур, обеспечивающих снижение массы имплантата и способствующих более естественной остеоинтеграции. Сетчатые конструкции могут быть спроектированы таким образом, чтобы имитировать жесткость и прочность костей и, следовательно, минимизировать эффект экранирования напряжений на границе раздела кость – имплантат. Используя данные компьютерной (КТ), магниторезонансной (МРТ) томографии и другие методы визуализации, можно создавать модели САПР костных или других дефектов для проектирования имплантатов, учитывающих морфологию этих дефектов. Развитие технологий визуализации в медицине обеспечивает легкий доступ к объемной визуализации костей пациента, по которой врач может конструировать имплантат, который затем изготавливается по технологии 3D-печати.

Напечатанный имплантат должен идеально подходить пациенту. Процесс планирования операции дает хирургу возможность подробно визуализировать этапы операции, что значительно сокращает время ее проведения и степень инвазивности операции. Существует достаточно большое количество производителей 3D-принтеров, пригодных для изготовления биомедицинских имплантатов. Металлические детали, произведенные методом АТ, обладают высокими механическими свойствами, достаточными для биомедицинского применения. Однако, безусловно, при аддитивном производстве имплантатов необходим контроль параметров процесса и постобработки для обеспечения прогнозируемости и повторяемости свойств. Использование 3D-печати в медицине открывает новые возможности для хирургов, такие как предоперационное планирование и относительно низкая стоимость прототипирования имплантата. Стоимость аддитивного производства имплантатов при определенных условиях может быть конкурентоспособна с традиционными технологиями, а в некоторых случаях, являться единственным решением, позволяющим обеспечить лечение, так как классическим методом производства изготовить деталь сложной формы порой невозможно [14].

По данным российских компаний «CML» и «MED print» основными используемыми в медицине технологиями 3D-печати являются: SLA, DLP, FDM, SLS, SLM, EBM.

Рисунок 16. Основные технологии 3D-печати в медицине



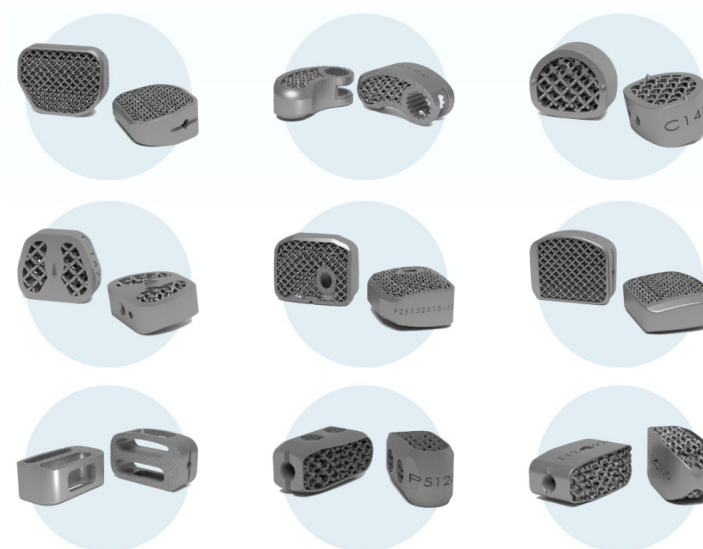
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным УрФУ [14], 2024

Производство медицинских изделий на оборудовании 3D-печати металлами теоретически возможно на моделях со средними размерами рабочей камеры 250–300 мм и более. Однако, в данном случае очевидно, что требуемые инвестиции оказываются значительно выше. Не каждая лаборатория, медицинская клиника или медицинский ЦАТ готов инвестировать 60–80 млн. руб. на закупку 3D-принтера со средней камерой. Как правило, очень высокой производительности, например, в стоматологии не требуется. На одну платформу 100 мм или 120 мм можно разместить десятки зубных имплантов, коронок, мостов и т. д.

Именно поэтому один из трендов последних двух лет – это разработка многими производителями систем АТ по металлу с небольшими камерами построения. Такие решения в итоге получаются более дешёвыми, компактными. Они имеют, как правило, чуть меньший функционал относительно 3D-принтеров со средними и крупногабаритными камерами. Но для решения задач в стоматологии, создания небольших эндопротезов, а также выполнения ряда НИОКР – этого в целом достаточно специалистам, занимающимся аддитивным производством. Стоимость «небольших» решений по металлам обычно не превышает 10–15 млн руб. А с учётом обостряющейся конкуренции на этом рынке, китайские компании заметно нарастили своё присутствие, предлагая оборудование дешевле, чем компании из США, Европы и Японии.

В качестве конкретного применения АТ в медицине можно привести 3D-печать межпозвонковых кейджей из титана. Так, компания «Розвонок» [15] производит серийные и индивидуальные межпозвонковые кейджи, используя аддитивные технологии. В январе 2023 года ООО «3D-кейджи» получило Регистрационное удостоверение РОСЗДРАВНАДЗОРА на всю линейку серийной продукции. Каталог продукции компании включает 10 линеек 3D-печатных кейджей, с более чем 600 вариантами изделий для шейного и крестцово-поясничного отделов позвоночника, что позволяет подобрать наиболее подходящую модель исходя из специфики дефекта и анатомических особенностей опорно-двигательного аппарата пациента. Линейки серийных изделий создаются по технологии 3D-печати. На все серийные изделия наносится пористая ячеистая структура. Серийные кейджи имеют полые боковые грани.

Рисунок 17. Межпозвонковые титановые кейджи, произведённые с помощью 3D-печати



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным компании «Розвонок» [15], 2024

Автомобильная промышленность.

По данным компании “iQB Technologies” [16] аддитивные технологии, в частности 3D-печать металлом, произвели революцию в автомобилестроении и обладают огромным потенциалом для бизнеса. SLM-принтеры открывают перед производителями автотранспорта и комплектующих возможности для создания сложных, высокоточных и прочных инновационных изделий, прототипов и пресс-форм, при этом сокращаются целые производственные циклы, сроки выполнения проектов и, соответственно, производственные затраты. 3D-печать металлами выгодна для изготовления опытных образцов и мелких серий, НИОКР, создания уникальных и кастомизированных деталей, однако в промышленности постепенно происходит переход к массовому аддитивному производству. Главные преимущества технологии для автопрома – облегчение веса, сокращение сборочных единиц, реализация конструкций с тонкими стенками, внутренними каналами, решетчатыми и бионическими структурами, что ведет к улучшению эксплуатационных характеристик как производимых компонентов, так и автомобиля в целом. К недостаткам следует отнести необходимость крупных начальных инвестиций и сложности с интеграцией SLM-принтеров в существующий технологический процесс.

Немецкий автогигант BMW использует технологию 3D-печати металлом с 2010 года [16]. Компания разработала широкий ассортимент аддитивно производимых компонентов и инструментов, к примеру, шкивы водяного насоса, тормозные суппорты и легкую металлическую сетку для BMW i8 Roadster. Используя SLM-принтеры, производитель сокращает производственные затраты и сроки изготовления, а также улучшает характеристики и функциональность своих автомобилей. В 2023 году на заводах глобальной производственной сети BMW Group было напечатано более 400 тысяч деталей. Производитель FORD приобрел одну из первых в мире коммерческих аддитивных машин в 1988 году и сегодня использует различные аддитивные технологии для печати прототипов, деталей, оснастки и приспособлений на своих заводах по всему миру. В 2023 был открыт центр 3D-печати для поддержки производства первого электромобиля Ford, изготавливаемого в Европе.

В 2023 году было объявлено [17], что ПАО «КАМАЗ» запустило в эксплуатацию 3D-принтер для печати литейной оснастки. Аддитивная система позволяет изготавливать литейные формы и стержни из песчаных смесей с минимальным количеством брака. Оборудование изготовлено компанией ZIAS Machinery на базе Новоалтайского экспериментального ремонтно-механического завода.

На 3D-принтере изготавливают литейные стержни для производства автоматических коробок передач, которыми оснащаются автомобили поколения К5. Также осуществляется 3D-печать мелкосерийными партиями, поступают заказы на стальное и цветное литье. Оборудование работает по технологии Binder Jetting, то есть струйно-порошковой 3D-печати, в этом случае с использованием песчаных смесей в качестве основного материала и фурановых смол в качестве связующего. Рабочий объем 3D-принтера Bprint Maxi достигает 1800x1000x700 мм, производительность – 160 литров в час с разрешением 100 мкм.

Рисунок 18. 3D-принтер на производстве ПАО «КАМАЗ»



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным портала «3D Today» [17], 2024

Производители шин в ряде случаев используют технологию SLM для печати металлических форм при создании протектора покрышек. Как известно, многие модели шин имеют сложный рисунок и создание производственной формы традиционными методами может быть затруднительно. Аддитивные технологии успешно решают данную задачу.

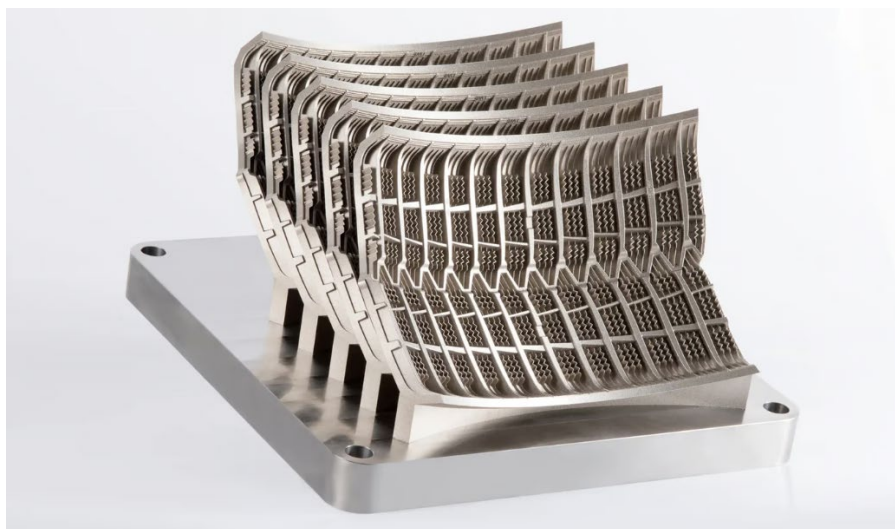
Ниже приведены примеры таких решений от компаний Hankook и Michelin.

Рисунок 19. Металлическая форма для создания протектора шины компании Hankook



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Hankook Precision Works, 2024

Рисунок 20. Металлическая форма для создания протектора шины компании Michelin



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным компании Michelin, 2024

Нефтегазовая отрасль.

Некоторое время назад большинство экспертов, работающих в области аддитивных технологий, отмечали, что 3D-печать в нефтегазовом секторе не так распространена, как, например, в авиационной отрасли. В России на это влияют также такие факторы, как общая консервативность отрасли, большая роль государства в отрасли, жёсткие стандарты и требования к безопасности, высокие инвестиции и длительные сроки реализации.

Существенные изменения произошли в последние годы на российском рынке. По данным компании IQV Technologies, ПАО «СИБУР холдинг», ПАО «Транснефть», ПАО «Татнефть», ПАО «Газпром нефть», ПАО «Сургутнефтегаз» уже используют аддитивные технологии.

«Когда мы говорим про нефтегазовую отрасль, то здесь стоимость простоя – это колоссальные цифры. А простой возникает в результате поломки того или иного оборудования. Так как оно обычно импортное, то конструкторской документации на запчасти предприятие от своих поставщиков не получает. Нужную деталь приходится заказывать из-за границы, здесь мы сталкиваемся со сроками поставки – порядка шести недель, и это только до какого-нибудь крупного хаба, например, до Москвы. А затем нужно ещё доставить запчасти на предприятия, которые обычно находятся не рядом с Москвой или Санкт-Петербургом, а, наоборот, очень далеко. Поэтому возникает большой интерес к тем технологиям, которые способны эту ситуацию как-то переломить, то есть достаточно быстро производить запасные части с нуля», – отмечал эксперт «IQB Technologies» – Сергей Думилин [18].

Компания «СИБУР» ещё в 2022 году объявила, что активно использует 3D-печать. По данным компании собственные центры аддитивных технологий изготовили более 22 тыс. деталей для промышленного оборудования за последние 3–4 года. Совокупный экономический эффект СИБУРа от аддитивных технологий с 2019 года превысил 100 млн рублей. В среднем сканирование и 3D-печать деталей позволяет в 5–10 раз сократить срок их поставки и время проведения ремонтных работ. Чаще всего СИБУР применяет аддитивные технологии для изготовления деталей в не критичных производственных процессах. К примеру, 3D-печать применяется для изготовления различных видов рабочих колес для насосов, крепежей для датчиков, переходов и крыльчаток для элементов систем охлаждения (например, градирен или вентиляторов компрессоров), а также переходников и соединителей для электрооборудования – рисунок 21. Первый центр по развитию аддитивных технологий СИБУР открыл на предприятии «Воронежсинтезкаучук» в 2018 году, после чего в компании было создано ещё девять аналогичных центров на предприятиях в Томске, Нижневартовске, Балахне, Благовещенске, Тобольске и Казани. В большинстве из них применяются 3D-принтеры от российских производителей [18].

Рисунок 21. Комплектующие и запчасти в компании «СИБУР», сделанные с помощью 3D-печати



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным компании «СИБУР» [19], 2024

«Газпром нефть» начала применять 3D-принтер на нефтепромысле в Заполярье. С помощью аппарата инженеры создают новые детали и запчасти для модернизации техники и ремонта оборудования – ранее важные комплектующие приходилось заказывать из других регионов. Проект является частью программы «Газпром нефти» по развитию сервисов 3D-печати: по ней изготовлено уже более 3,5 тыс. различных деталей из металла, пластика и других материалов. Помимо нефтепромыслов их применяют на заводах, бункеровщиках и ледоколах компании. Установка 3D-принтера на месторождении «Газпромнефть-Заполярье» повысила технологическую надежность процессов нефтедобычи в условиях Крайнего Севера.

В случае поломки или износа оборудования от запуска печати детали на замену до ее установки проходит несколько часов или дней. Ранее доставка комплектующих занимала месяцы из-за автономности нефтепромысла, расположенного в 160 км от ближайшего города и логистической инфраструктуры [20].

Сокращение поставок оборудования и запасных частей из-за рубежа сделало актуальным для топливно-энергетического комплекса внедрение реверс-инжиниринга (разработка конструкторской документации на основе готового образца изделия) и аддитивных технологий (создание трехмерных объектов). Развитием этих инновационных направлений сейчас занимаются сотрудники «РН-БашНИПИнефти» и «Башнефти». Они реализуют пилотный проект по изготовлению запасных частей из пластика для уфимских нефтеперерабатывающих заводов. Уже успешно прошли испытания детали, сделанные из полимеров на 3D-принтере.

В качестве примеров можно отметить крыльчатки электродвигателей, крышки, кронштейны, корпуса, прочие элементы лабораторных приборов и технологических установок, муфты и шестерни, и другие детали различного применения. «Преимущества 3D-печати очевидны: многократно сокращаются сроки поставки, уменьшается стоимость, решается вопрос импортозамещения деталей, которые больше не поставляются в Россию. Благодаря возможности модернизации некоторые образцы получаются даже лучше заводских. В процессе изготовления пересматривается конфигурация деталей и подбирается материал с учетом эксплуатационных нагрузок», – комментирует руководитель направления аддитивных технологий «РН-БашНИПИнефть» Максим Миннибаев. «Башнефть» оценила стартовую потребность уфимского нефтеперерабатывающего комплекса в деталях из полимеров, которые можно изготовить с помощью инновационных технологий, на уровне 500 наименований в год. В дальнейшей перспективе этот объем может быть существенно расширен [21].

Таким образом, локальное производство не поставляемых в РФ деталей, сокращение логистического плеча для отдалённых районов, создание изделий сложной формы и др. – всё это даёт большое преимущество для нефтегазовых компаний и позволяет обеспечить надёжность технологических процессов за счёт АТ.

1.2. Ёмкость рынка аддитивных технологий

Наиболее авторитетной и известной консалтинговой компанией, осуществляющей мониторинг и исследования мирового рынка аддитивных технологий на протяжении многих лет, является Wohlers Associates [1].

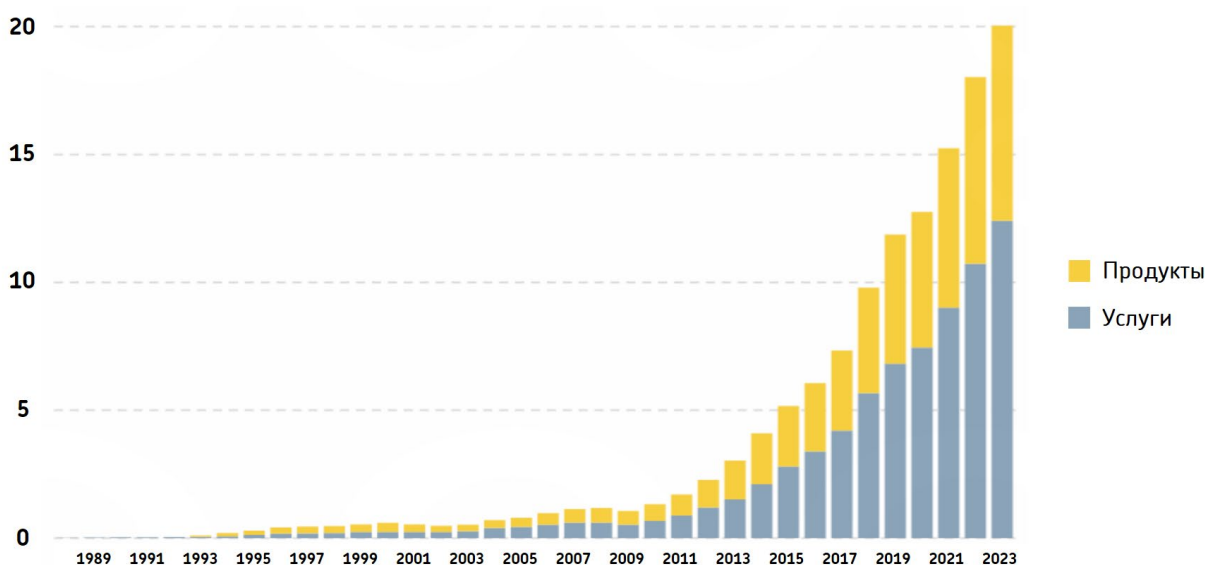
Последний отчет Wohlers 2024 год был подготовлен с использованием информации и данных, предоставленных 245 организациями, занимающимися 3D-печатью, включая поставщиков услуг, контрактных производителей, производителей систем АТ и материалов. В подготовке отчета приняли участие более 110 человек, в том числе 100 экспертов по 3D-печати из 35 стран. Усовершенствованная методология компании позволяет ей заметно выделяться среди других аналитических структур на рынке аддитивного производства. «За 29 лет подготовки отчетов мы разработали и довели до идеала свою методологию. История роста АП подробно задокументирована в наших отчётах», – сообщает руководитель организации Терри Волерс.

В этом году Wohlers Report сообщает, что индустрия аддитивного производства в 2023 году выросла на 11,1% и оценивается уже в 20,035 млрд долл., – впервые за всю историю отрасли превысив отметку в 20 млрд долл. Таким образом, мы наблюдаем продолжающийся рост мирового рынка АТ, в то же время темпы роста немного снизились – по итогам 2022 года рынок АТ вырос на 18,3% до 18,03 млрд долл.

При этом Wohlers отмечает, что истинный размер рынка 3D-печати на самом деле «гораздо больше» – общеотраслевая оценка в 20,035 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 аддитивных технологий, материалы, продукты послепродажного обслуживания (программное обеспечение, лазеры и др.). Услуги включают доход, полученный от изделий, произведенных в системах АТ независимыми поставщиками услуг, а также контракты на техническое обслуживание систем, обучение, семинары, конференции, выставки, рекламу, публикации, исследования и консультации. Однако данная оценка в 20,035 млрд долл. не включает в себя деньги, потраченные на АТ внутри таких компаний, как Adidas, Boeing, NASA, Stryker и тысяч других, как крупных, так и мелких. Также она не включает стоимость исследований, разработок, прототипирования, производства изделий с использованием АТ в этих компаниях, университетах и национальных лабораториях, стоимость деталей, изготовленных методом АТ, производителей оригинального оборудования автомобилей, самолетов, медицинских, стоматологических, потребительских товаров и т. д. Объем, который они производят с помощью АТ очень 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 2023 году.

Далее представлены доходы (в млн долл.) от продуктов и услуг АТ по всему миру. Нижний (серый) сегмент представляет услуги, а верхний (желтый) сегмент представляет продукты. За последние 10 лет отрасль пережила значительный рост, увеличившись более, чем в 8 раз.

Рисунок 22. Мировой рынок аддитивных технологий согласно Wohlers Report 2024, млрд долл.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Таким образом, по итогам 2023 года общий объём мирового рынка АТ продолжил свой рост и достиг 20 млрд долл, но в то же время следует отметить, что доля производства с использованием аддитивных технологий пока остаётся малой величиной от общего объёма промышленного производства. Так, согласно Worldbank [22], стоимостной объём мирового промышленного производства (англ. Manufacturing, value added) составляет 16,18 трлн долл., а весь рынок аддитивного производства в мире не превышает 20 млрд долл. Соответственно, доля (проникновение) аддитивных технологий в промышленности в мире составляет около 0,124%. По итогам 2022 года этот показатель составлял 0,11%. По оценке ряда экспертов, это не может квалифицироваться как реально массовое производство, однако данный показатель (доля АТ в промышленности) продолжает увеличиваться.

В отчете Wohlers 2024 года прогнозируется, что в индустрии 3D-печати возрастет спрос на детали для конечного использования и появятся новые области их применения. По мнению экспертов, это будет обусловлено увеличением скорости 3D-принтеров, что снизит стоимость изготовления деталей. Ожидается, что конкурентное давление также приведет к снижению цен на материалы и к дальнейшему сокращению производственных издержек. Кроме того, внедрение новых материалов и их качество выведут на новый уровень аэрокосмическую, оборонную, медицинскую и энергетическую отрасли. Отмечается, что сертификация новых образцов и разработка отраслевых стандартов будут способствовать дальнейшему росту мирового рынка 3D-печати.

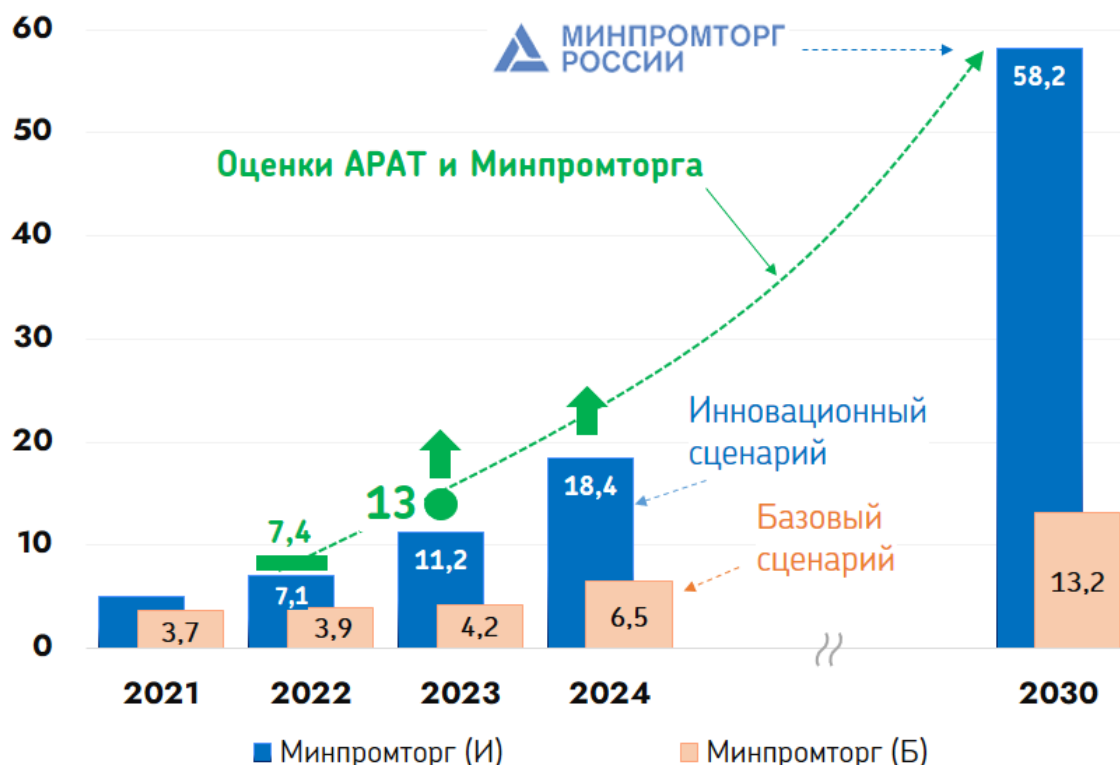
Ёмкость российского рынка АТ по итогам 2023 года имела тенденции существенного роста. По результатам опроса ключевых российских производителей систем АТ, материалов и центров оказания услуг – большинство компаний констатировали увеличение выручки в 2023 году. Аналитическим подразделением Ассоциации Развития Аддитивных Технологий (АРАТ) при поддержке Минпромторга РФ была проведена достаточно детальная актуализация финансовых показателей российских игроков АТ, а также проведён анализ импорта по оборудованию АТ и материалам. Оценки АРАТ показывают, что в 2023 году рынок АТ достиг значения 13,2 млрд руб.

Согласно Федеральной Стратегии развития АТ, рынок аддитивных технологий в России описывается по двум основным сценариям:

- Первый сценарий соответствует Базовому (Б), который был разработан Минпромторгом в рамках Государственной Стратегии развития АТ в России. Согласно данному сценарию, целевое значение по объёму рынка к 2030 году составит 13,2 млрд руб.
- Второй сценарий является Инновационным (И) и предполагает дополнительный эффект на рынок за счёт реализации дополнительных инициатив. Целевое значение по объёму рынка к 2030 году составляет 58,2 млрд руб.

Более детальный анализ рынка АТ по итогам 2023 года показал, что его развитие идёт опережающими базовый сценарий темпами. Как мы видим, базовый сценарий – 13,2 млрд руб. в 2030 году, по сути, уже достигнут по итогам 2023 года. В рамках актуализации показателей 2023 года можно сказать, что рынок АТ в РФ продолжил заметный рост и развивается «в русле инновационного сценария» Стратегии развития АТ в России.

Рисунок 23. Развитие российского рынка аддитивных технологий, млрд руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

Соответственно, можно оценить соотношение российского рынка АТ и мирового: российский рынок – 13,2 млрд руб. (около 154,8 млн долл.) и мировой рынок – 20 млрд долл. Таким образом, Россия составляет около 0,77% мирового рынка АТ.

Структура российского рынка аддитивных технологий значительно отличается от мирового – в отличие от мира, где объем услуг 3D-печати является доминирующей составляющей, рынок РФ, наоборот, сформирован в большей степени за счет оборудования и материалов. В общем объеме российского рынка АТ оборудование занимает около 56%, а материалы более 23%.

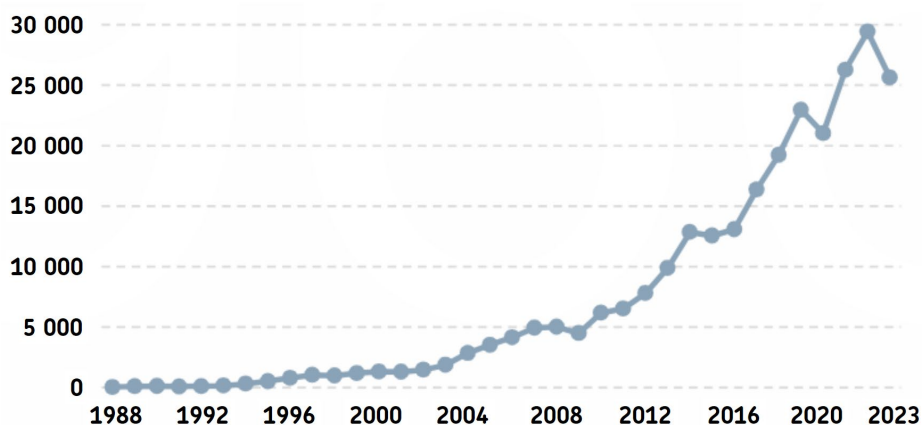
1.3. Темпы роста рынка аддитивных технологий

Согласно Wohlers Associates в 2023 году в мире было продано 25 642 промышленных систем аддитивного производства – рисунок 24. Это на 12,9% меньше, чем в 2022 году, когда было продано примерно 29 446 промышленных систем 3D-печати. В 2022 году объем продаж систем 3D-печати рос на 12,1%, в 2021 г. рост составлял 24,9%, а в 2020 году рынок снижался на 8,4%.

Таким образом, по итогам 2023 года в количественном выражении наблюдалось некоторое снижение проданных промышленных систем АТ. В то же время следует отметить, что системы 3D-печати, функции и опции становятся более сложными, это приводит к повышению их стоимости. По этой причине снижение количества проданных единиц не влечет за собой такого же снижения выручки.

Снижение продаж систем в натуральном выражении (-12,9%) соответствовало снижению продаж в денежном выражении в размере (-3,4%).

Рисунок 24. Количество проданных систем АТ согласно Wohlers Report 2024, шт.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

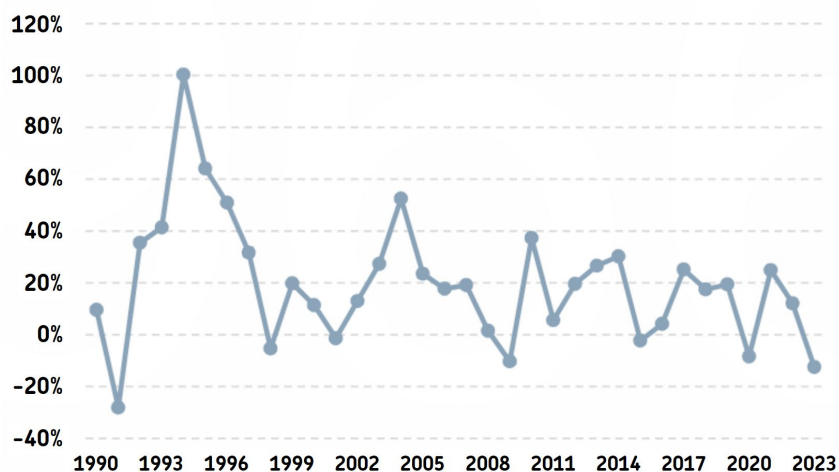
В Wohlers Report 2024 отмечается, что причины такого тренда в 2023 году могли быть следующие:

- Капитальные затраты обычно снижаются в периоды экономической неопределенности. Компании "обходятся" тем оборудованием, которым они владеют и пользуются в настоящее время, таким образом, оптимизируют CapEx (англ. Capital Expenditures).
- Пользователи часто осознают, что недоиспользуют имеющиеся мощности. В результате повышается производительность и коэффициент использования без необходимости приобретения нового оборудования. Это справедливо даже в том случае, если спрос на детали АМ увеличивается, но не до такой степени, чтобы вызывать покупку новых станков и систем АТ.
- Средняя стоимость детали АТ может расти, следовательно, растет и выручка поставщика услуг, даже если компаниям не нужно закупать дополнительные мощности для роста. Отчасти это связано с накоплением опыта создания более сложных деталей, в полной мере использующих преимущества АТ. Это относится к техническим и промышленным сегментам, в которых АМ особенно преуспевает.

Далее приводится статистика по ежегодному темпу роста продаж промышленных систем 3D-печати начиная с 1998 года (Рисунок 25, Таблица 1).

Как мы видим, за всю историю существования отрасли АТ её темпы роста сильно различались. Среднегодовой темп роста с 1990 по 2023 год составляет 25,2%. За последние четыре года (2020–2023) средний рост составил 3,9%. Таким образом, можно отметить, что для рынка АТ характерны определённые флуктуации (колебания) в части динамики поставок систем.

Рисунок 25. Динамика продаж промышленных систем 3D-печати, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Таблица 1. Динамика продаж промышленных систем 3D-печати согласно Wohlers Report, %

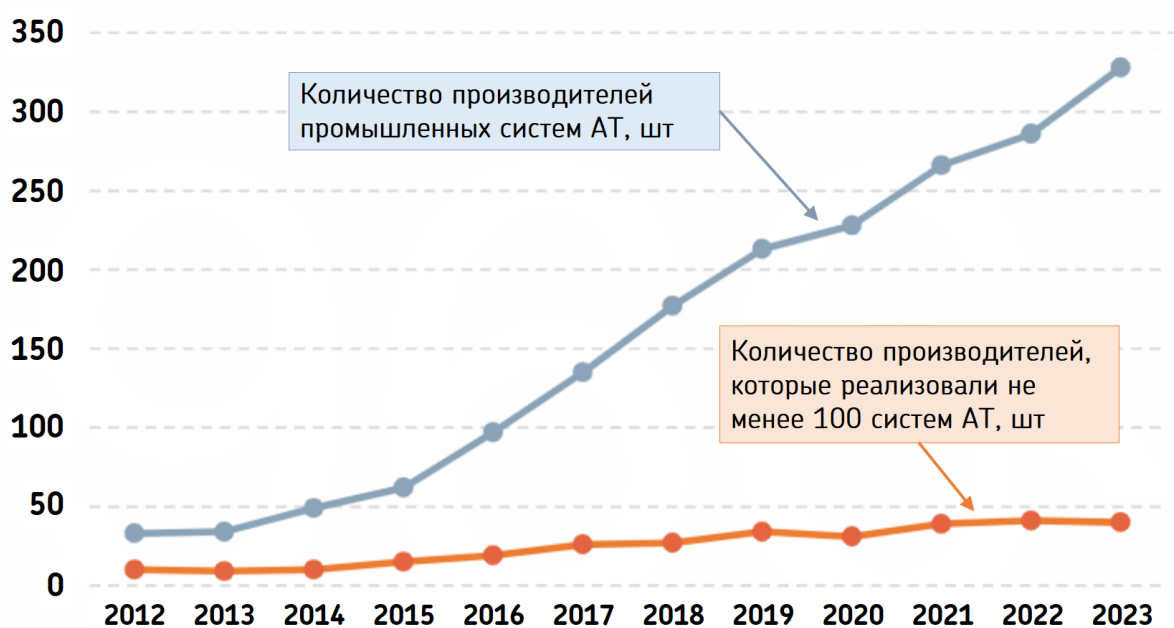
Год	Динамика	Год	Динамика
1989	205,9%	2007	19,1%
1990	9,6%	2008	1,5%
1991	-28,1%	2009	-10,3%
1992	35,4%	2010	37,3%
1993	41,4%	2011	5,6%
1994	103,8%	2012	19,6%
1995	64,1%	2013	26,6%
1996	50,9%	2014	30,2%
1997	31,7%	2015	-2,3%
1998	-5,3%	2016	4,2%
1999	19,8%	2017	25,1%
2000	11,4%	2018	17,5%
2001	-1,4%	2019	19,4%
2002	13,0%	2020	-8,4%
2003	27,3%	2021	24,9%
2004	52,5%	2022	12,1%
2005	23,5%	2023	-12,9%
2006	17,7%		

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

В последние годы наблюдается значительный рост количества производителей систем аддитивного производства. В 2023 году компания Wohlers Associates отслеживала 328 производителей, которые производили и продавали промышленные АТ-системы по всему миру. Это на 14,7% больше, чем в 2022 году.

С 2012 года число производителей промышленных систем выросло кратно – почти в 10 раз. На графике (Рисунок 26) серая кривая сверху показывает общее количество производителей в сегменте 3D-принтеров стоимостью более 5000 долларов. Нижняя коричневая кривая показывает какое количество из них продают более 100 машин в год.

Рисунок 26. Количество производителей промышленных систем АТ, шт.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

В 2023 году 40 компаний продали не менее 100 промышленных систем аддитивного производства, что сравнимо с показателями 2022 года.

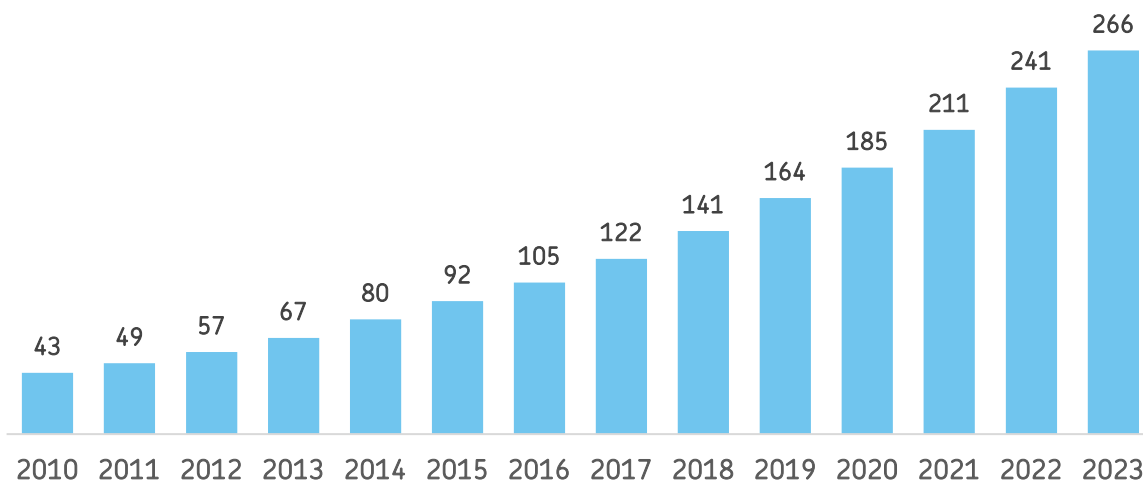
На графике (Рисунок 27) показан накопленный объем продаж промышленных систем АТ с 1988 года по 2023 год. Именно с 1988 года Wohlers Associates впервые начала отслеживать показатели по установленному парку.

Как можно заметить, по состоянию на конец 2023 года общий установленный парк промышленных 3D-принтеров превысил 265 тыс. единиц.

Отдельно отметим продажи промышленных систем 3D-печати металлом в 2023 году. По оценкам Wohlers Report 2024 продажи металлических систем АТ возросли до 3793 ед. по сравнению с 3049 ед. в 2022 году (). Таким образом, рост продаж составил 24,4%.

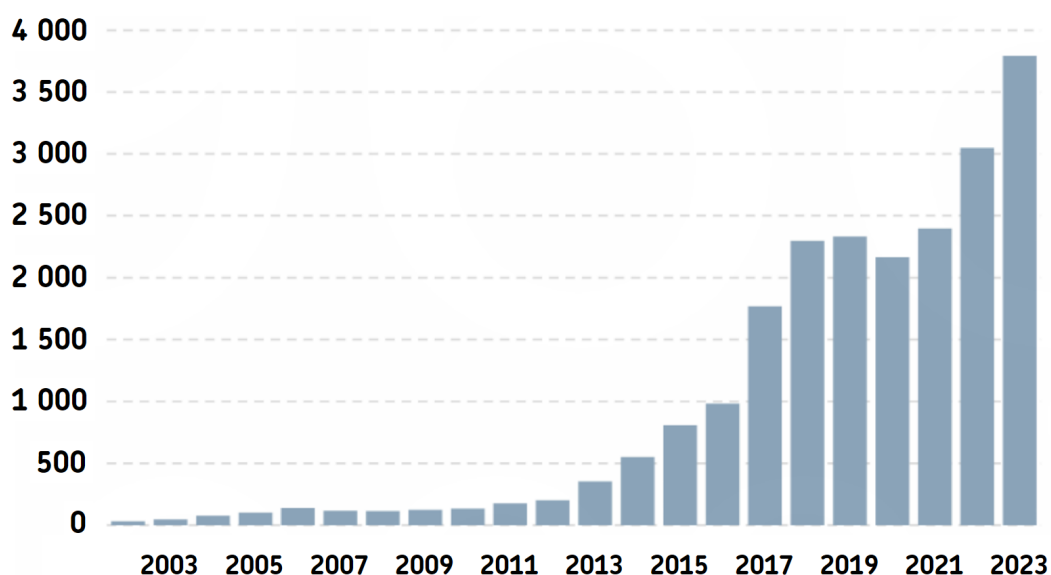
Таким образом, прирост систем по металлу опережает динамику всего рынка АТ.

Рисунок 27. Накопленный объем продаж промышленных систем АТ в мире, тыс. единиц



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Рисунок 28. Продажи металлических систем АТ, ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

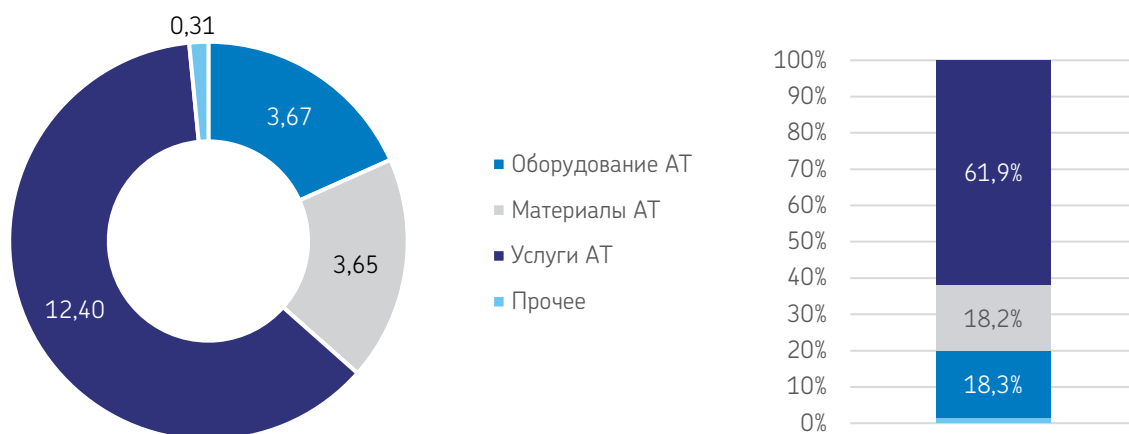
Российский рынок аддитивных технологий также в 2023 году характеризовался высокими темпами роста. Рынок вырос с 7,4 млрд руб. до 13,2 млрд руб., таким образом рост составил более 75%. Безусловно, такая динамика характерна только для новых и прорывных направлений, как аддитивные технологии, классические и устоявшиеся рынки имеют заметно меньшие показатели по динамике роста.

В периметре оборудования по металлам рынок АТ в России по оценкам АРАТ вырос на 72%, при этом рост выручки локальных производителей составил более 2 раз, а импорт иностранного оборудования АТ даже несколько снизился. Таким образом, именно российским производителям удалось существенно нарастить долю рынка по итогам 2023 года.

1.4. Структура рынка АТ (оборудование, материалы, услуги)

По итогам 2023 года ниже приводятся оценки рынка АТ в разрезе направлений: оборудование, материалы, услуги. Согласно последнему отчёту Wohlers Report 2024 общий объём рынка в 20,035 млрд долл. распределяется следующим образом ():

Рисунок 29. Структура мирового рынка АТ в 2023 году по основным направлениям, млрд долл.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Мировой рынок в сегменте продуктов АТ оценивается в 7,63 млрд долл. по итогам 2023 года. Это на 4,7% выше значения 2022 года в размере 7,29 млрд долл.

Общий объём продаж систем АТ оценивается в 3,67 млрд долл. в 2023 году против 3,795 млрд долл. в 2022 году (в расчет включаются только сами системы и не включаются соглашения об обслуживании, запасные части для этих систем, обновления ПО и т. д.). Таким образом, мы видим снижение продаж оборудования на 3,4%.

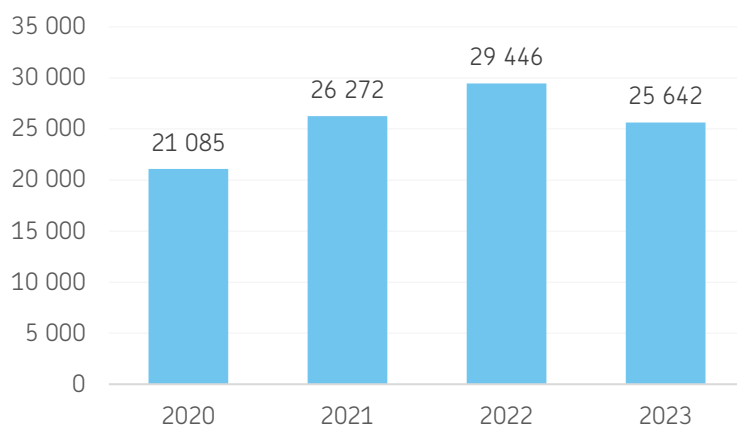
Сегмент материалов по итогам 2023 года достиг значения 3,65 млрд долл. Это выше значения 3,26 млрд долл. 2022 года на 11,9%.

По сравнению с 2022 г. рост услуг составил 15,5%. Объём рынка услуг вырос примерно до 12,4 млрд долл. в 2023 году по сравнению с 10,73 млрд долларов в 2022 году.

Далее приводятся более детальные оценки Wohlers по рынку оборудования АТ. Общий объём продаж оборудования в 2023 году в объёме 3,67 млрд долл. в количественном выражении представлен на графиках (Рисунок 30, Рисунок 31).

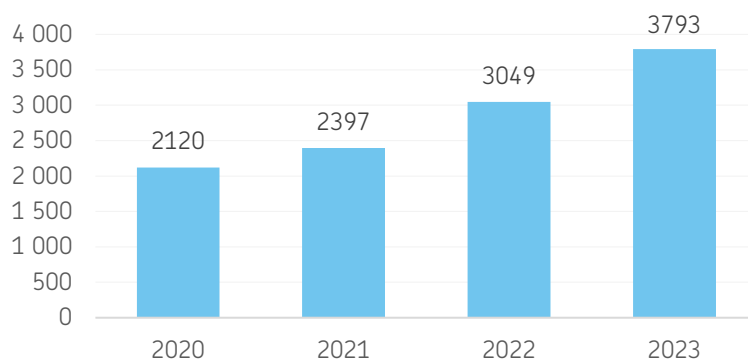
Долевое распределение оборудования АТ на мировом рынке в 2023 году в количественном выражении представлено на графике (Рисунок 32).

Рисунок 30. Общее количество проданного оборудования АТ на мировом рынке, ед.



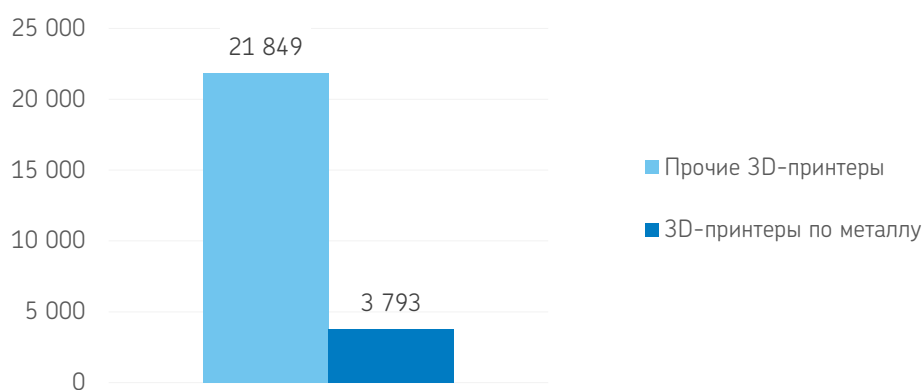
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Рисунок 31. Количество проданного оборудования АТ по металлу на мировом рынке, ед.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Рисунок 32. Долевое распределение оборудования АТ на мировом рынке в 2023 году, ед.

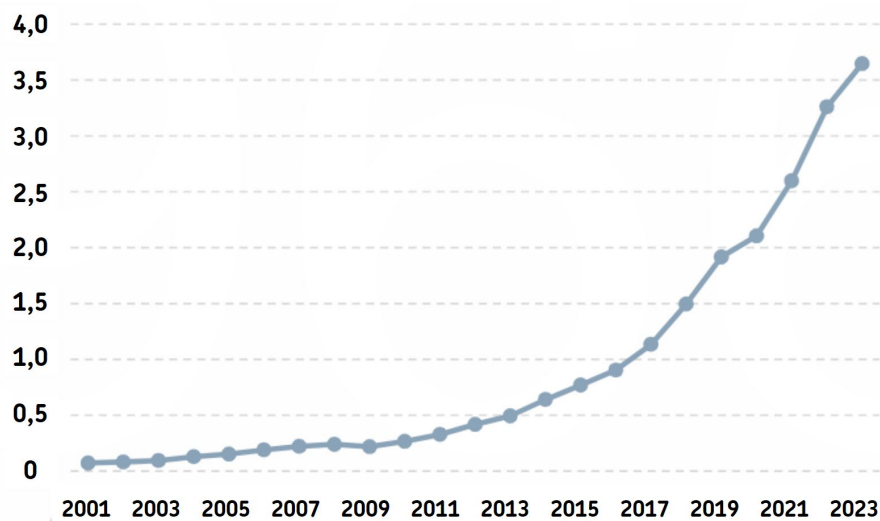


Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Таким образом, системы АТ по металлу в количественном выражении занимают около 15% в общей структуре рынка аддитивного оборудования.

Ниже приводятся более детальные оценки Wohlers по рынку материалов АТ. Как уже отмечалось ранее, рынок материалов заметно рос в 2023 году и достиг значения 3,65 млрд долл. Далее показана статистика по ежегодному темпу роста продаж материалов АТ начиная с 2001 года.

Рисунок 33. Динамика продаж материалов АТ на мировом рынке согласно Wohlers Report 2024, млрд долл.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Таблица 2. Динамика продаж материалов АТ на мировом рынке, млрд долл.

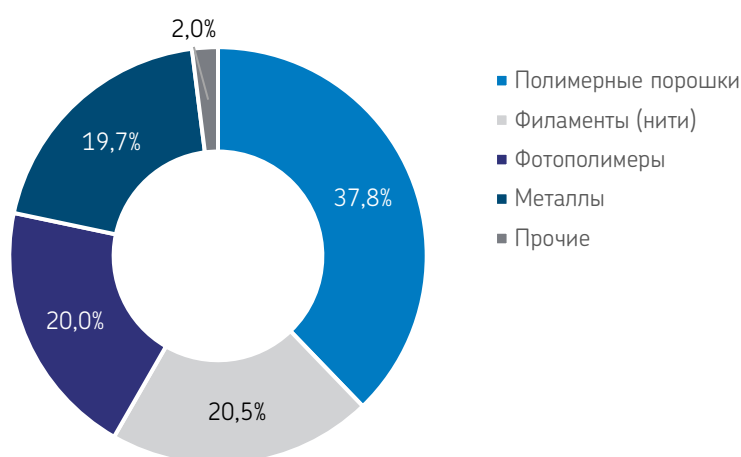
Год	Продажи	Год	Продажи
2001	71,0	2013	493,9
2002	81,2	2014	640,0
2003	93,4	2015	768,3
2004	128,9	2016	903,0
2005	151,0	2017	1133,7
2006	189,5	2018	1494,7
2007	220,9	2019	1916,1
2008	238,0	2020	2105,2
2009	217,8	2021	2598,2
2010	265,9	2022	3259,5
2011	327,1	2023	3646,8
2012	417,0		

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Wohlers Associates в своём отчёте приводит также оценки рынка материалов АТ по его основным типам (Рисунок 34).

Можно отметить, что в 2023 году полимерные порошки занимают лидирующую позицию (37,8%) и превышают объёмы фотополимеров (20%). Исторически сегмент фотополимеров был самым крупным, отчасти благодаря его популярности при создании прототипов и других применений. Рост сегмента полимерных порошков указывает на активное внедрение АТ в промышленное производство. Филаменты (нити) по итогам 2023 года занимали 20,5%, а металлические материалы заняли 19,7% рынка. Сегмент "Прочие" включает керамику, воски, материалы для струйного нанесения связующего (BJT) и листовой ламинации (SHL).

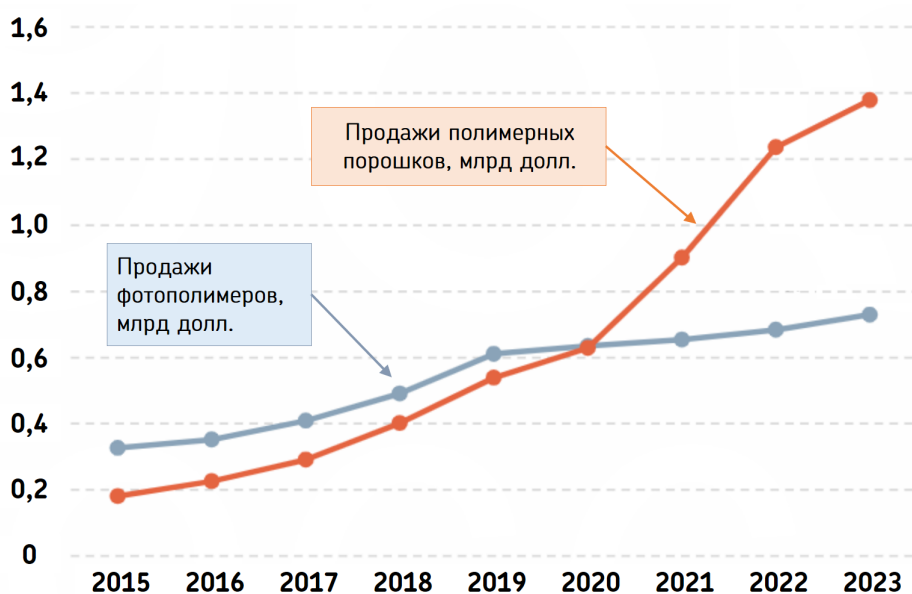
Рисунок 34. Структура мирового рынка материалов АТ в 2023 году по типам, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Многие годы фотополимеры были доминирующим материалом на рынке АТ (Рисунок 35).

Рисунок 35. Продажи полимерных материалов на мировом рынке АТ, млрд долл.

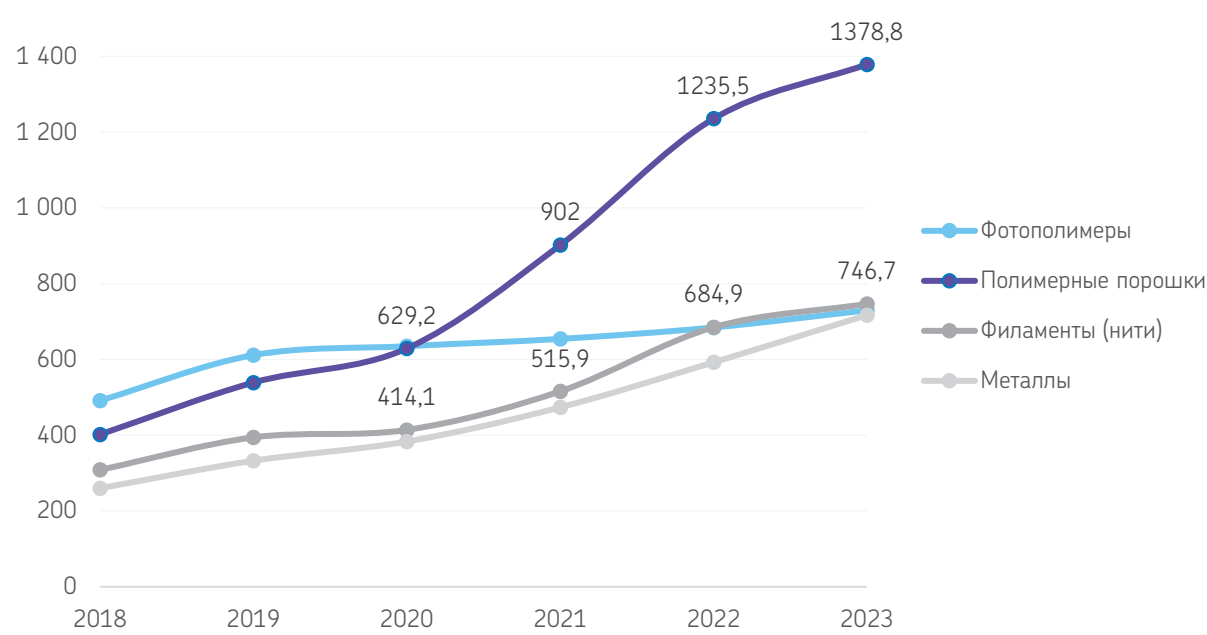


Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Однако за последние три года, как видно из диаграммы, полимеры для PBF (бежевая линия) превзошли фотополимеры (серая линия). Wohlers Associates ожидает, что в ближайшие годы полимерные порошки продолжат опережать фотополимеры в качестве доминирующего полимерного материала для АТ по мере роста серийного производства.

Ниже приводится информация по объемам продаж материалов АТ на мировом рынке по их различным типам (Рисунок 36, Таблица 3).

Рисунок 36. Продажи материалов АТ на мировом рынке АТ, млн долл.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Таблица 3. Объем продаж материалов АТ на мировом рынке, млн долл.

Материалы	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Фотополимеры	491,5	611,4	634,9	654,2	684,4	729,7
Полимерные порошки	402,1	539,1	629,2	902	1235,5	1378,8
Филаменты (нити)	308,6	394,3	414,1	515,9	684,9	746,7
Металлы	260,2	332,7	383,4	473,6	592,5	717,2

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

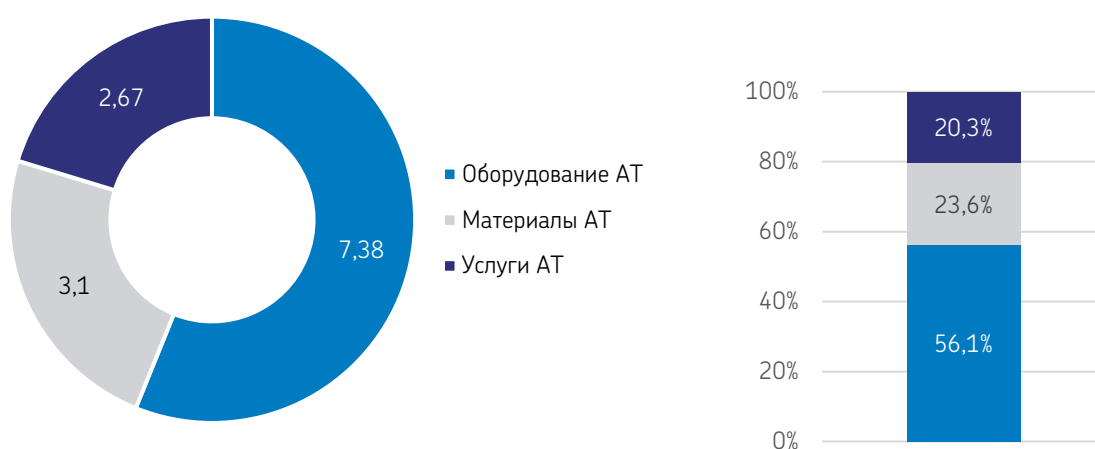
Таким образом, на мировом рынке АТ:

- Темпы производства систем АТ несколько снизилось в 2023 году, акцент сместился в сторону оказания услуг в сфере аддитивного производства.
- Интерес к АТ постепенно увеличивается, растет потребление материалов и обращение к услугам частных компаний в сфере 3Д-печати.

Структура российского рынка АТ достаточно сильно отличается от мирового. В отличие от мира, где объём услуг 3D-печати является доминирующей составляющей, рынок РФ, наоборот, сформирован в большей степени за счет оборудования и материалов.

По оценкам аналитического подразделения АРАТ объём российского рынка аддитивных технологий по итогам 2023 года достиг 13,2 млрд руб., из которых на оборудование приходится около 7,4 млрд руб., на материалы 3,1 млрд руб., а объём услуг коммерческих ЦАТ оценивается в более, чем 2,6 млрд руб. Таким образом, оборудование является доминирующей составляющей – более 55% в структуре рынка АТ, а объём услуг – это около 20% от всего рынка АТ в России.

Рисунок 37. Структура российского рынка АТ в 2023 году по основным направлениям, млрд руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

Оборудование АТ по металлам оценивается в 3,69 млрд руб., что составляет половину от всего рынка 3D-принтеров. Это ещё раз подчёркивает активное внедрение 3D-печати по металлу в России.

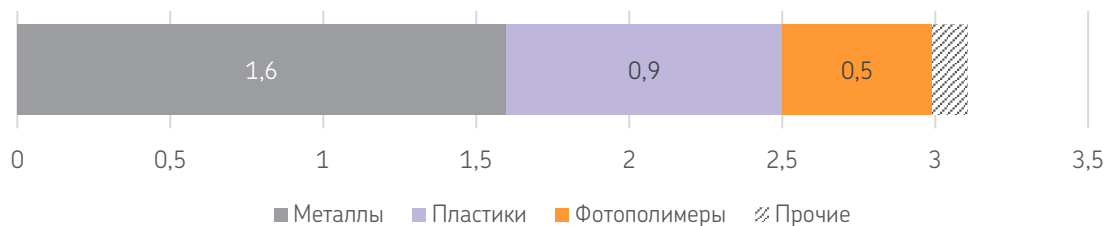
Что касается иностранных компаний, то мы видим практически полную остановку поставок таких компаний, как: 3D Systems, EOS GmbH, SLM Solutions, DMG Mori, TRUMPF, которые объявили об уходе с российского рынка в 2022 году. Эффективно заменить эти компании смогли три китайских лидера: Farsoon, BLT, Eplus3D. Таким образом, снижения объёма рынка не произошло, как полагали некоторые эксперты.

На фотополимерные решения (VPP) приходится более 0,47 млрд руб., а оборудование с использованием экструзии пластиков – более 1,7 млрд руб.

Если рассматривать рынок оборудования АТ с точки зрения локального производства и импорта, то локальные производители доминируют на рынке с долей 72%, а импортное оборудование составляет около 28%.

В структуре рынка материалов на металлы приходится около 1,6 млрд руб., это доминирующая составляющая. На втором месте располагаются пластики – 0,9 млрд руб., далее фотополимеры в объёме 0,49 млрд руб.

Рисунок 38. Структура российского рынка материалов АТ в 2023 году, млрд руб.



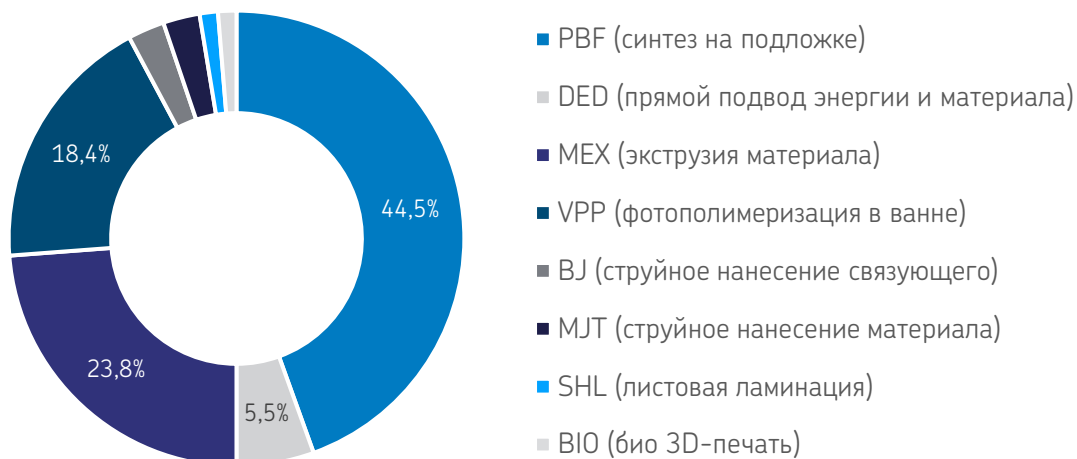
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

1.5. Структура рынка АТ (технологии)

На рынке аддитивных технологий существуют большое количество методов изготовления компонентов и деталей. Все технологии различаются достаточно сильно, это связано с тем, какой используется материал и как осуществляется его подача при 3D-печати, как осуществляется подвод энергии, способы её получения и т. д.

По оценкам АРАТ структура мирового рынка оборудования 3D-печати по технологиям может быть представлена следующим образом (Рисунок 39).

Рисунок 39. Структура мирового рынка оборудования АТ по технологиям, %



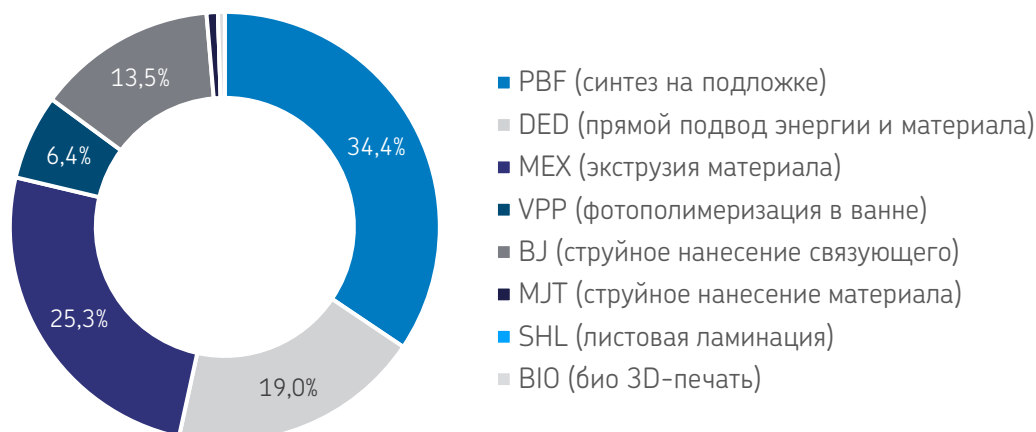
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

На неметаллические системы АТ приходится около 50% рынка оборудования. В структуре металлических систем АТ доминирующую позицию занимает технология PBF (около 85%). Эти оценки очень близки к оценкам двух лидирующих компаний – Nikon SLM и DMG Mori. На технологию DED в структуре оборудования по металлу приходится не более 11–12%.

Таким образом, можно сказать, что среди металлических 3D-принтеров преобладают решения PBF (SLM) и DED. А среди неметаллических систем АТ лидируют две технологии: MEX и VPP. На долю последних суммарно приходится более 42% всего аддитивного оборудования в мире.

Российский рынок оборудования АТ характеризуется меньшей степенью развития таких технологий, как SLS, SLA (Vat Photopolymerization – VPP), Material Jetting – MJT, Sheet Lamination – SHL по сравнению с мировым рынком. Из неметаллических систем АТ в большей степени выделяется технология MEX (FDM). Именно поэтому доля систем по металлу в общей структуре российского рынка оборудования занимает более высокую позицию. Структура российского рынка оборудования АТ по технологиям приведена на графике (Рисунок 40).

Рисунок 40. Структура российского рынка оборудования АТ по технологиям, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АПАТ, 2024

Таким образом, на технологии PBF и DED приходится более 50% рынка, доля систем BJ значительно выросла в 2023 году до 13,5%. Технология MEX в России сопоставима по доле с мировой и занимает 25,3%, а фотополимерные решения VPP имеют долю 6,4%, что примерно в три раза ниже мировой доли VPP.

1.6. Жизненный цикл отрасли, рынка АТ, стадия зрелости

Применение аддитивных технологий позволяет снизить стоимость жизненного цикла продукции. Это связано с тем, что при изготовлении продукции методом АТ, значительно экономится материал, а объём отходов материала по сравнению с классическими методами производства значительно ниже. Более того, часть неиспользованного материала при определённых условиях может использоваться повторно для изготовления деталей. При проектировании также возможно снизить стоимость, так как для сложных конструкций создаётся специальная 3D-модель с использованием современного программного обеспечения. Далее эта модель попадает непосредственно на производство, что снижает время изготовления и количество человеко-часов персонала на производстве. На стадии производства аддитивные технологии имеют преимущества по сравнению со стандартными (субтрактивными) методами изготовления, особенно это проявляется при производстве изделий сложной формы.

Аддитивные технологии повышают эффективность всех основных производственных процессов у заказчика. Это в первую очередь сокращение сроков изготовления, снижение отходов материалов и стоимости производства, снижение массы деталей, уменьшение логистического плеча и возможность производить изделия локально при потребности, снижая при этом складские запасы и т. д.

Таким образом, на всех основных этапах жизненного цикла отмечаются преимущества и ценность внедрения АТ.

Рисунок 41. Преимущества и ценность внедрения АТ на этапах жизненного цикла



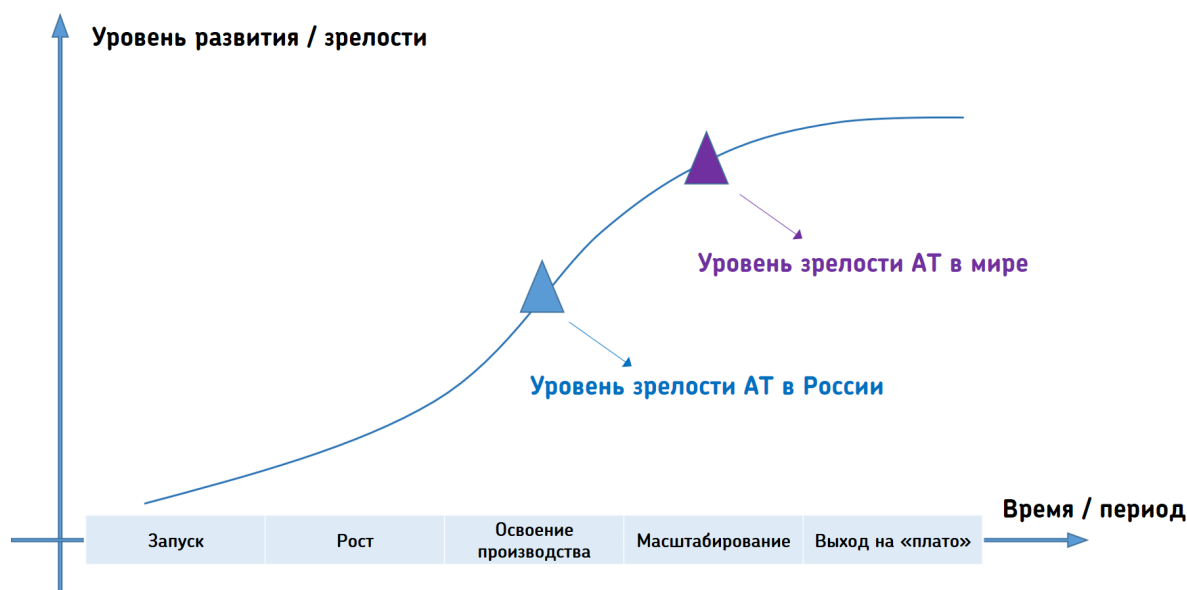
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

Стадии жизненного цикла, выделенные на основе модели жизненного цикла (industry life-cycle model), предложенной институтом CFA (Chartered Financial Analyst Institute), инновационного цикла, цикла новых и передовых технологий в общем можно охарактеризовать следующим образом:

- стадия запуска, которая характеризуется проведением первичных исследований свойств материалов и компонентов;
- ранний рост, который подразумевает разработку технологии и налаживание опытного производства материалов в лабораторных условиях;
- первичное освоение производства, которое включает налаживание серийного производства, рост объемов производства, расширение номенклатуры материалов;
- стадия масштабирования, для которой характерно появление новых игроков, новых технологий;
- плато продуктивности, когда охвачены новые отрасли применения и происходит расширение областей внедрения технологий.

Основываясь на совокупности данных об объеме рынка, темпах роста, уровне развития и показателях деятельности основных игроков рынка, результатов опросов экспертов, можно отметить, что мировой рынок аддитивных технологий находится практически в стадии масштабирования, что свидетельствует об уровне зрелости рынка (рисунок 42). Характерными чертами данной стадии являются некоторое замедление темпов роста, консолидация производителей на рынке оборудования, материалов и услуг 3D-печати. Российский рынок пока не может характеризоваться фазой активного масштабирования, поэтому его следует характеризовать как «освоение производства».

Рисунок 42. Рынок АТ и уровень зрелости по оценкам АРАТ



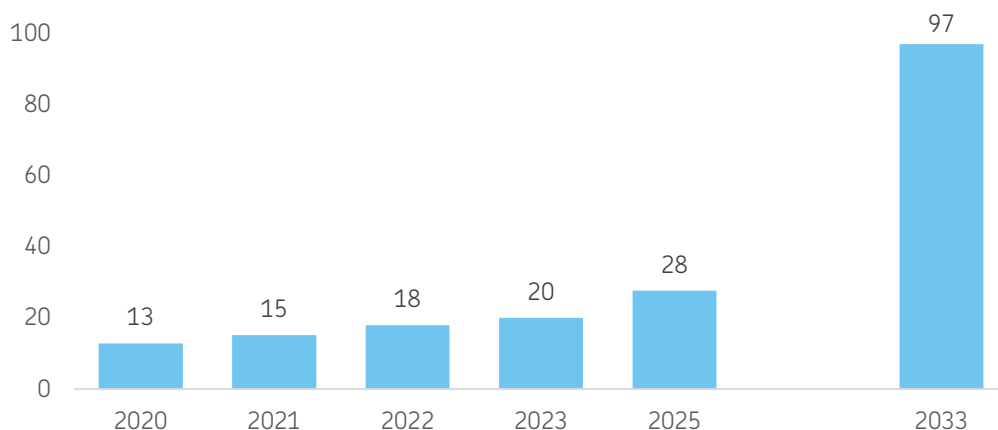
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

Таким образом, рынок аддитивных технологий находится на стадии активного роста. Мы полагаем, что кривая цикла отрасли будет находиться в фазе роста ещё несколько лет, а насыщение по технологиям АТ и выход на плато пока не прогнозируется.

1.7. Тренды развития рынка аддитивных технологий

Наиболее важный тренд рынка АТ – это, безусловно, его рост. За последние годы аддитивные технологии всё чаще внедряются для решения многих производственных задач. Ассоциация Wohlers прогнозирует, что промышленный рост продолжится относительно высокими темпами. Согласно последнему отчёту «Wohlers Report 2024», объём рынка АТ к 2033 году составит более 97 млрд долл.

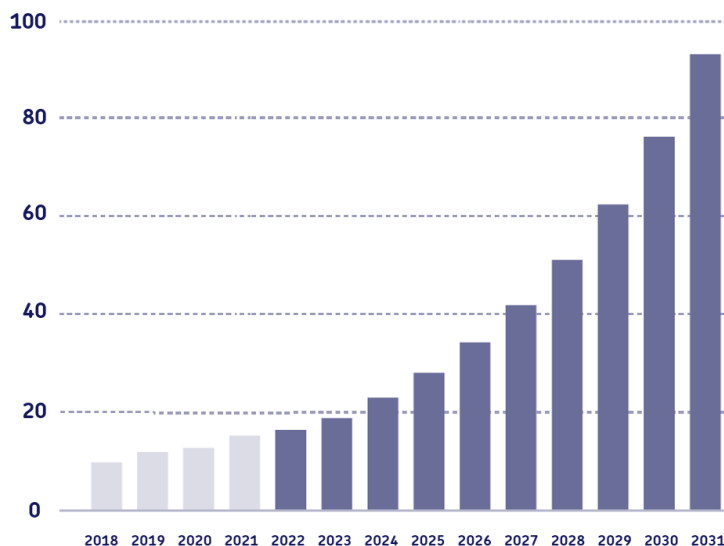
Рисунок 43. Прогноз мирового рынка АТ, млрд долл.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Wohlers Report [1], 2024

Схожие оценки приводит компания Desktop Metal, которая прогнозирует рост рынка до 100 млрд долл. к 2031 году. Согласно оценкам компании, темпы роста будут составлять около 20% в год.

Рисунок 44. Прогноз мирового рынка АТ по оценкам компании Desktop Metal, млрд долл.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Desktop Metal [23], 2024

Ещё одним трендом с точки зрения развития оборудования является увеличение устанавливаемых лазеров в промышленные системы АТ, то есть системы по итогам 2023 года чаще выполняются в “мультилазерном” исполнении. Компания SLM Solutions [24] оценивает, что к 2025 и 2026 годам в структуре продаж систем АТ около трети будет приходиться на 3D-принтеры с 3-4 лазерами и до 8% на системы с более 4 лазерами. Доля систем с 1 лазером заметно снизится. Таким образом, ожидается, что возрастет количество высокопроизводительных систем АТ – несколько лазеров, которые позволяют повысить скорость 3D-печати.

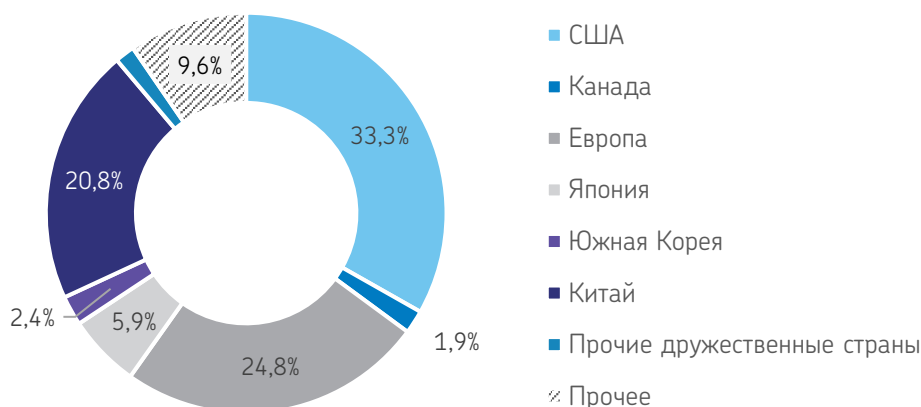
В качестве одного из трендов по итогам 2023 года можно отметить и изменения размеров камер построения оборудования АТ у различных производителей:

- Увеличение крупногабаритных систем АТ по металлу. Такие компании, как SLM Solutions, Farsoon, BLT, Eplus3D, уже предлагают заказчикам 3D-принтеры, которые имеют зону построения по высоте более 1,2–1,5 м. Технология PBF развивается в сторону не только увеличения производительности, но и в направлении увеличения размеров деталей, сделанных методами АТ.
- Развитие малогабаритных систем SLM и DED. Заказчику не всегда нужны среднегабаритные и крупные системы АТ. Для задач НИОКР, отработки режимов и исследований свойств материалов, а также для работы с мелкими деталями, например, в медицинских проектах, достаточно иметь на производстве небольшую установку. Она может иметь стоимость в разы ниже среднегабаритной системы.

Развитие новых материалов, в частности сплавов, привело к расширению возможного числа режимов для аддитивного оборудования. Многие производители усилили свои компетенции в области 3D-печати медью, алюминием и новыми сплавами на их основе.

Дополнительным трендом, который был выявлен в 2022 году и продолжался в 2023 году, является изменение географической структуры рынка, – усиление рынка Юго-Восточной Азии, а именно – увеличение доли рынка этого региона. По оценкам АРАТ, дополнительно был выделен периметр «дружественных» и «недружественных» стран. В качестве тренда наблюдается снижение доли недружественных стран и увеличение присутствия дружественных стран в первую очередь за счёт Китая, рынок которого вырос выше мирового. На графике (Рисунок 45) приводятся оценки мирового рынка АТ по географическим зонам.

Рисунок 45. Географическая структура мирового рынка АТ

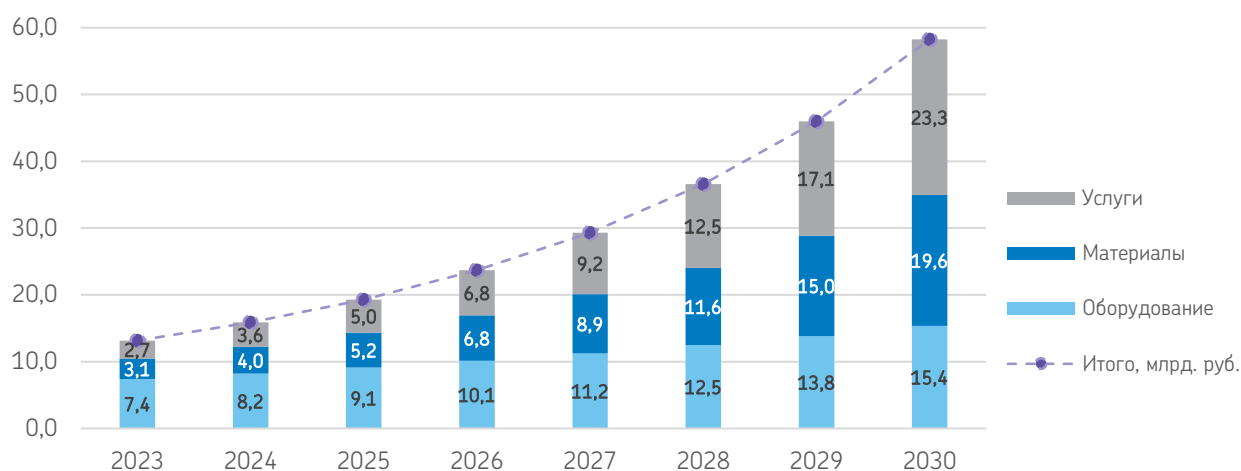


Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

Китай на текущий момент занимает уже около 21% всего мирового рынка АТ. Суммарно рынок России, Индии, Турции, Египта, Казахстана, Беларуси, Армении и Узбекистана не превышает 2% от мирового рынка АТ. На США и Европу приходится почти 60% рынка АТ.

Говоря о трендах российского рынка, можно ещё раз выделить и подчеркнуть его высокую динамику – он увеличился более, чем на 75% в 2023 году. Минпромторг РФ прогнозирует, что если отрасль аддитивных технологий будет развиваться по инновационному сценарию (это самый амбициозный прогноз), то объём рынка АТ к 2030 году превысит 58 млрд руб.

Рисунок 46. Прогноз российского рынка АТ согласно оценкам Минпромторга, млрд руб.



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Минпромторга [25], 2024

ГЛАВА 2. БАРЬЕРЫ, РИСКИ И НОРМАТИВНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РЫНКА АТ

Данная глава посвящена описанию основных барьеров на рынке АТ. Приводятся данные о потенциальных рисках, а также рассматриваются вопросы нормативного и правового регулирования развития рынка аддитивных технологий в рамках направления «Технет» НТИ.

2.1. Барьеры развития аддитивных технологий

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

- Достаточно высокая стоимость оборудования систем АТ по металлу. Особенно это проявляется при закупке высокопроизводительных систем с несколькими лазерами и с большой камерой построения. Стоимость таких систем может превышать 3–4 млн долл., что требует больших начальных вложений при организации производства и создания Центров Аддитивных Технологий (ЦАТ).
- Ограниченность спектра материалов для аддитивного производства, сложность их получения и, соответственно, дороговизна. Компании, производящие системы АТ по металлу, не только покупают уже готовые металлические порошки, но и организуют совместные проекты с производителями материалов, так как в некоторых случаях требуется обеспечить специальные параметры порошка непосредственно под конкретный 3D-принтер. Это требует проведения серии испытаний, отработки режимов, соответственно увеличиваются затраты и стоимость материала.
- Отсутствие знаний и навыков применения аддитивных технологий у конструкторов предприятий и технологов. Не все предприятия готовы внедрять АТ именно по техническим причинам, требуется усиление компетенций всего персонала: проектировщиков, конструкторов, технологов и т.д.
- Ограниченная на данный момент производительность систем АТ по металлу. В общем установленном парке систем доминируют решения с небольшими камерами. Они имеют меньшую производительность, что увеличивает время изготовления деталей, а также не позволяет выпускать изделия с крупными габаритами.
- 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 низким.

- 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 является малое количество перспективных разработок, которое ведется в России, где могли бы найти применение АТ, либо данные разработки не афишируются, поскольку производятся в рамках ОПК – в любом случае, институты и организации, специализирующиеся на исследованиях в области аддитивных технологий, пока не смогли массово коммерциализировать данное оборудование.

2.2. Риски развития аддитивных технологий

Согласно информационному ресурсу Statista опрошенные игроки рынка АТ отмечают следующие факторы, которые мешают больше использовать 3D-печать:

- 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.

Согласно опросам АРАТ, основными проблемами развития АТ 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, количество таких ВУЗов в России насчитывает уже более 25 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.
- Нормативная база. Для внедрения аддитивных технологий в производство необходимо сформировать отраслевую нормативную базу на основе комплексных испытаний материалов, изделий и применяемых технологий.

2.3. Нормативное правовое регулирование, в том числе анализ государственных программ поддержки развития направления аддитивных технологий по НИРам и НИОКРам

Для анализа возможности привлечения мер государственной поддержки были проанализированы нормативные правовые акты РФ в области мер поддержки правительством РФ:

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 10.08.2020 № 1206 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета производителям станкоинструментальной продукции в целях предоставления покупателям скидки при приобретении такой продукции».

Общее описание меры: субсидию могут получить производители отечественных станков и инструментальной продукции, предоставляющие скидки своим клиентам. Размер выплаты для каждого претендента определяется исходя из объема скидок, зафиксированного в договоре о реализации товара. Объем финансирования на 2024 г. – 1 млрд руб. На 2025 год – 1 млрд рублей.

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 12.12.2019 № 1649 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на компенсацию части затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по современным технологиям в рамках реализации такими организациями инновационных проектов и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации».

Общее описание меры: субсидия предоставляется российским организациям на компенсацию до 70% затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по современным технологиям в рамках реализации такими организациями инновационных проектов. Субсидии предоставляются организациям, прошедшим конкурсный отбор на право получения субсидии. Максимальный срок предоставления субсидии – 3 календарных года (начиная с первого года предоставления субсидии).

3. Решение о порядке предоставления субсидии № 24-64132-01596-Р от 24 июля 2024 г. (бывшее Постановление Правительства Российской Федерации от 22.02.2023 № 295 «О государственной поддержке организаций, реализующих инвестиционные проекты, направленные на производство приоритетной продукции»).

Общее описание меры: в рамках данного постановления промышленные предприятия, реализующие инвестиционные проекты, направленные на производство приоритетной продукции, могут претендовать на получение кредита с льготной процентной ставкой (ключевая ставка ЦБ РФ 0,3 + 3%) в течение льготного периода кредитования. В настоящее время процентная ставка после субсидирования составит 9,3% годовых.

4. Решение о порядке предоставления субсидии от 18.07.2024 № 24-60464-01473-Р о поддержке НИОКР предприятиями станкоинструментальной промышленности.

Общее описание меры: субсидия предоставляется заказчику на финансовое обеспечение 100 процентов затрат заказчика, включенного в реестр организаций ОПК, или не более 85 процентов затрат заказчика, не включенного в реестр организаций ОПК, связанных с реализацией комплексного проекта. Максимальный объем финансирования для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов составляет 2 млрд рублей, в остальных случаях – 1 млрд рублей.

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.04.2020 № 616 «Об установлении запрета на допуск промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных нужд, а также промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасности государства».

Общее описание меры: постановление устанавливает режим запретов и ограничений на госзакупку иностранной промышленной продукции и закрепляет приоритет российских товаров и товаров от производителей из стран-членов ЕАЭС: закупщик может закупить иностранную продукцию только при отсутствии отечественных аналогов или аналогов из стран-членов ЕАЭС.

6. Займы Фонда развития промышленности по программам «Проекты развития», «Приоритетные проекты», «Комплекующие изделия».

Общее описание меры: фонд развития промышленности предлагает льготные условия финансирования проектов, направленных на разработку новой высокотехнологичной продукции, импортозамещение, лизинг производственного оборудования, станкостроение, цифровизацию действующих производств, выпуск предприятиями ОПК высокотехнологичной продукции гражданского или двойного назначения, производство комплекующих, маркировку товаров и повышение производительности труда.

Суммы займов:

- Проекты развития – 0,1–1 млрд руб.;
- Приоритетные проекты – 0,5–2 млрд руб.;

Комплекующие изделия:

- 1 заем (инвестиционный 0,1–1 млрд руб.);
- 2 заем (заем на масштабирование производства 0,05–0,5 млрд руб., т.е. 50% от инвестиционного займа).

7. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.06.2021 № 931 «О государственной поддержке российских организаций на компенсацию части затрат в целях создания новой конкурентоспособной промышленной продукции, связанных с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и (или) омологацией (улучшение технических характеристик) существующей промышленной продукции для внешних рынков».

Общее описание меры: специальная программа направлена на поддержку российских организаций на компенсацию части затрат в целях создания новой конкурентоспособной промышленной продукции, связанных с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и (или) омологацией (улучшение технических характеристик) существующей промышленной продукции для внешних рынков. Поддержка предоставляется организациям в рамках реализации федерального проекта «Промышленный экспорт» национального проекта «Международная кооперация и экспорт» на компенсацию части затрат в целях создания новой конкурентоспособной промышленной продукции, связанных с проведением научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и (или) омологацией (улучшение технических характеристик) существующей промышленной продукции для внешних рынков.

Объем финансирования:

- 2024 год – 4,747 млрд руб.;
 - 2025 год – 4,753 млрд руб.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 1 августа 2020 г. № 1156 «Об утверждении Правил предоставления грантов в форме субсидий из федерального бюджета на реализацию проектов по созданию и развитию инжиниринговых центров на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций. (в ред. Постановления Правительства РФ от 11.02.2021 № 151).

Общее описание меры: концепция развития инжинирингового центра должна предусматривать привлечение не менее 30% со финансирования. Программа предоставления грантов направлена на создание инжиниринговых центров на базе научных и образовательных организаций любой ведомственной принадлежности. Эта мера направлена на поддержку вузов и научных организаций, обладающих достаточным потенциалом для оказания инженерно-консультационных услуг, помогает сформировать высокоэффективную систему подготовки квалифицированных кадров в области инжиниринга, а также обеспечить коммерциализацию и вывод на рынок результатов исследований и разработок.

9. Постановление Правительства Российской Федерации от 13 мая 2021 г. №729 «О мерах по реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Программа «Приоритет-2030» направлена на:

- повышение научно-технологического потенциала российских университетов для создания новых технологий, отраслей и конкурентоспособных продуктов;
- расширение межинституционального сетевого взаимодействия;

- интеграцию университетской науки с научными организациями и реальным сектором экономики;
 - развитие международного сотрудничества.
10. Решение о порядке предоставления субсидии от 21 июня № 23-60349-01062-Р 2024 г. «Компенсация расходов на сертификацию соответствия российской промышленной продукции требованиям внешних рынков» (бывшее Постановление Правительства Российской Федерации от 30.04.2021 № 687 «О государственной поддержке организаций на компенсацию части затрат, связанных с сертификацией продукции, в том числе продукции фармацевтической и медицинской промышленности, на внешних рынках»).

Общее описание меры: объем финансирования компаний составляет до 80% фактических расходов организации на сертификацию на внешних рынках продукции или лекарственных средств, но не более 300 млн рублей, при условии:

- расходы на сертификацию промышленной продукции на внешних рынках осуществлены не ранее года, предшествующего текущему, и не позднее 30 июня текущего года;
 - расходы на сертификацию лекарственных средств на внешних рынках осуществлены не ранее 3 календарных лет, предшествующих текущему году, и не позднее 30 июня текущего года;
 - если затраты были осуществлены в иностранной валюте, то их размер определяется в российских рублях по курсу, установленному ЦБ РФ на дату исполнения платежного поручения.
11. Постановление Правительства Российской Федерации от 3 мая 2019 г. № 550 «Об утверждении Правил предоставления субсидии из федерального бюджета Российскому фонду развития информационных технологий на поддержку проектов по разработке и внедрению российских решений в сфере информационных технологий».

Общее описание меры: субсидии (грант) предоставляются российским организациям для поддержки проектов в субъектах РФ по внедрению отечественных продуктов, сервисов и платформенных решений в целях ускорения их развития.

Объем финансирования: от 0,01 млрд руб. до 6 млрд руб.

12. База гарантированных свойств общепромышленных материалов, изготавливаемых методами 3D-печати, с целью ускорения внедрения аддитивных технологий в стратегические отрасли России.

Общее описание меры: для создания передовых подходов к получению новых перспективных материалов с контролируемыми свойствами и новых изделий с улучшенными потребительскими свойствами для ключевых отраслей промышленности планируется создание базы гарантированных свойств общепромышленных материалов в рамках Национального проекта по обеспечению технологического лидерства «Средства производства и автоматизации».

Цели и задачи создания базы:

- Консолидация информации о материалах, полученных по различным аддитивным технологическим процессам, и создание единой базы свойств для использования конструкторами, технологами, материаловедами, инженерами и др. специалистами, принимающими участие в проектировании и изготовлении изделий (полуфабрикатов) с применением технологий 3D-печати для ускорения их внедрения в стратегические отрасли России.
 - Сбор, анализ и систематизация данных по материалам, полученным по результатам научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и по результатам постановки продукции на производство с использованием аддитивных технологий в различных отраслях. Разработка информационного ресурса (базы), содержащего данные о физико-механических свойствах материалов, полученных с применением технологий 3D-печати, для широкого круга потребителей. Систематическое обновление содержания базы данных и расширение номенклатуры материалов и информации о них.
13. Национального проекта по обеспечению технологического лидерства «Средства производства и автоматизации».

Общие описание меры: обеспечение технологической независимости в области производства высокотехнологичных станков и повышение уровня промышленной роботизации.

Задачи Нацпроекта:

- обеспечение технологической независимости и формирование новых рынков по таким направлениям, как средства производства и автоматизации;
- увеличение к 2030 году уровня валовой добавленной стоимости в реальном выражении и индекса производства в обрабатывающей промышленности не менее чем на 40 процентов по сравнению с уровнем 2022 года;
- увеличение к 2030 году доли отечественных высокотехнологичных товаров и услуг, созданных на основе собственных линий разработки, в общем объеме потребления таких товаров и услуг в Российской Федерации в полтора раза по сравнению с уровнем 2023 года.

Целевой результат Нацпроекта: обеспечение технологической независимости производства средств производства.

Объем финансирования: в рамках Нацпроекта будут реализованы 4 федеральных проекта, общий объем финансирования которых до 31.12.2030 года составит 539,8 млрд рублей.

2.4. Национальный и международный нормативно-технический ландшафт

Международный опыт внедрения АТ в промышленность показал, что расширение нормативной базы является основным драйвером роста компаний, использующих АТ. Созданный комитет по стандартизации в области аддитивного производства 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 2023 года было выпущено 37 стандартов касающиеся процессов аддитивного формирования изделий и исходных материалов. Прирост за 2023 год составил 18 стандартов, а именно:

- ISO 17295:2023 Additive manufacturing – General principles – Part positioning, coordinates and orientation;
Перевод: «Аддитивное производство. Общие принципы. Позиционирование, координаты и ориентация деталей».
- ISO/ASTM 52902:2023 Additive manufacturing – Test artefacts – Geometric capability assessment of additive manufacturing systems;
Перевод: «Аддитивное производство. Образцы для испытаний. Оценка геометрических способностей систем аддитивного производства».
- ISO/ASTM TR 52905:2023 Additive manufacturing of metals – Non-destructive testing and evaluation – Defect detection in parts;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Неразрушающий контроль и оценка. Обнаружения дефектов в деталях».
- ISO/ASTM 52908:2023 Additive manufacturing of metals – Finished part properties – Post-processing, inspection and testing of parts produced by powder bed fusion;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Свойства готовых деталей. Последующая обработка, контроль и испытания деталей, изготовленных по технологии расплавления в заранее сформированном слое».
- ISO/ASTM 52911-3:2023 Additive manufacturing – Design – Part 3: PBF-EB of metallic materials;
Перевод: «Аддитивное производство. Проектирование. Часть 3. Электронно-лучевое расплавление металлических материалов в заранее сформированном слое (PBF-EB)».
- ISO/ASTM 52920:2023 Additive manufacturing – Qualification principles – Requirements for industrial additive manufacturing processes and production sites;
Перевод: «Аддитивное производство. Квалификационные принципы. Требования к процессам промышленного аддитивного производства и производственным площадкам».
- ISO/ASTM 52924:2023 Additive manufacturing of polymers – Qualification principles – Classification of part properties;
Перевод: «Аддитивное производство полимеров. Квалификационные принципы. Классификация свойств деталей».
- ISO/ASTM 52926-1:2023 Additive manufacturing of metals – Qualification principles – Part 1: General qualification of operators;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Принципы квалификации. Часть 1. Общая квалификация операторов».
- ISO/ASTM 52926-2:2023 Additive manufacturing of metals – Qualification principles – Part 2: Qualification of operators for PBF-LB;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Принципы квалификации. Часть 2. Квалификация операторов для PBF-LB».

- ISO/ASTM 52926-3:2023 Additive manufacturing of metals – Qualification principles – Part 3: Qualification of operators for PBF-EB;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Принципы квалификации. Часть 3. Квалификация операторов для PBF-EB».
- ISO/ASTM 52926-4:2023 Additive manufacturing of metals – Qualification principles – Part 4: Qualification of operators for DED-LB;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Принципы квалификации. Часть 4. Квалификация операторов для DED-LB».
- ISO/ASTM 52926-5:2023 Additive manufacturing of metals – Qualification principles – Part 5: Qualification of operators for DED-Arc;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Принципы квалификации. Часть 5. Квалификация операторов для DED-Arc».
- ISO/ASTM 52931:2023 Additive manufacturing of metals – Environment, health and safety – General principles for use of metallic materials;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Окружающая среда, здоровье и безопасность. Общие принципы использования металлических материалов».
- ISO/ASTM 52935:2023 Additive manufacturing of metals – Qualification principles – Qualification of coordination personnel;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Принципы аттестации. Аттестация персонала, занимающегося координацией».
- ISO/ASTM 52936-1:2023 Additive manufacturing of polymers – Qualification principles – Part 1: General principles and preparation of test specimens for PBF-LB;
Перевод: «Аддитивное производство полимеров. Принципы аттестации. Часть 1. Общие принципы и подготовка испытательных образцов для технологии PBF-LB (технологии лазерного расплавления в заранее сформированном слое)».
- ISO/ASTM 52939:2023 Additive manufacturing for construction – Qualification principles – Structural and infrastructure elements;
Перевод: «Аддитивные технологии в строительстве. Принципы квалификации. Элементы конструкции и инфраструктуры».
- ISO/ASTM 52945:2023 Additive manufacturing for automotive – Qualification principles – Generic machine evaluation and specification of key performance indicators for PBF-LB/M processes;
Перевод: «Аддитивное производство для автомобилестроения. Принципы квалификации. Общая оценка оборудования и спецификация ключевых показателей эффективности для процессов PBF-LB/M».
- ISO/ASTM TR 52952:2023 Additive manufacturing of metals – Feedstock materials – Correlating of rotating drum measurement with powder spreadability in PBF-LB machines;
Перевод: «Аддитивное производство металлов. Исходные материалы. Корреляция измерения вращающегося барабана со способностью к растеканию порошка в машинах PBF-LB».

В РФ на базе НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ создан технический комитет по стандартизации ТК 182, к концу 2023 года утвердил 46 стандартов в области АТ.

В них описываются базовые процессы, терминология, подготовка порошков, и пр. За 2023 год было утверждено 5 стандартов, а именно:

- ГОСТ Р 70907–2023 «Аддитивные технологии. Композиции металлопорошковые. Определение насыпной плотности с применением волюметра Скотта»;
- ГОСТ Р 70908–2023 «Аддитивные технологии. Композиции металлопорошковые. Определение формы частиц»;
- ГОСТ Р 70909–2023 «Аддитивные технологии. Композиции металлопорошковые. Определение размера частиц сухим просеиванием»;
- ГОСТ Р 70910–2023 «Аддитивные технологии. Композиции металлопорошковые. Определение текучести с помощью воронки Холла»;
- ГОСТ Р 71186–2023 «Аддитивные технологии. Композиции металлопорошковые из титановых сплавов. Общие технические условия».

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ИГРОКИ И ПРОЕКТЫ НА РЫНКЕ АТ НАПРАВЛЕНИЯ НТИ «ТЕХНЕТ»

Данная глава посвящена описанию основных игроков на рынке АТ. Приводятся данные о занимаемых долях рынка, новых продуктах и технологических решениях. Рассматриваются бизнес-модели, сделки M&A и создаваемые партнёрства.

3.1. Основные игроки направления аддитивных технологий: количество, рыночные доли, описание продуктов и разработок

В предыдущих отчетах НТИ «Технет» по аддитивным технологиям достаточно подробно описаны основные мировые лидеры АТ: **NIKON SLM Solutions**, **3D Systems**, **EOS gmbh**, **Desktop Metal**, **Farsoon Technologies**, **BLT** и др. В данном отчете приведены наиболее значимые события, которые имели место в 2023 году.

В своих материалах для инвесторов компания **NIKON SLM Solutions** приводит данные о среднесрочном плане развития, согласно которому выручка должна увеличиться в 5 раз за пятилетний период.

Рисунок 47. План компании NIKON SLM Solutions по выручке до 2025 года, млн евро

Среднесрочный план развития компании SLM Solutions “VISION” 2021 – 2025



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным NIKON SLM Solutions [24], 2024

Отмечается, что к 2025 году компания будет занимать позицию №1 на рынке, а объём продаж будет возрастать с CAGR более 30%, что выше CAGR рынка металлических систем аддитивного производства, т. е. в амбициях компании – расти «выше рынка». Продажи компании продолжали расти, достигнув 75 млн евро в 2021 году и 105 млн евро в 2022 году [26].

В 2023 году ситуация развивалась тоже благополучно, компания отмечала: «Продажи идут по намеченному пути. Даже после завершения сделки по слиянию и поглощению Nikon продолжит следовать этому амбициозному плану и оказывать мощную поддержку в качестве материнской компании». Компания планирует продолжить тесно сотрудничать с клиентами, которые широко используют АТ для таких областей применения, как аэрокосмическая, оборонная и автомобильная промышленность, а также для дальнейшего расширения продаж NXG XII 600, модели металлического 3D-принтера, который может изготавливать крупные детали и обеспечивает высокую рентабельность. Именно на крупногабаритные 3D-принтеры компания делает акцент в своих планах развития. По оценкам APAT выручка компании за 2023 год превысила 127 млн евро.

В области исследований и разработок уже осуществляется конкретное сотрудничество и совместные разработки, включая поставку оптических и измерительных систем, средств управления технологическими процессами и технологии калибровки от Nikon для систем SLM Solutions.

В качестве событий 2023 года можно выделить следующие:

- В конце 2023 года компания Nikon SLM Solutions сообщила, что продала свою 900-ю систему АТ во французский авиационный центр Safran. Речь идёт о поставке системы NXG XII 600. Safran – международная высокотехнологичная группа, работающая на рынках авиации (двигатели, оборудование и интерьеры), ОПК и космических технологий. Safran имеет глобальное присутствие, имея 83 000 сотрудников и объем продаж более 23 млрд евро в 2023 году. Современная система NXG XII 600 будет размещена в кампусе аддитивного производства Safran (SAMC) и будет иметь важное значение для серийного производства квалифицированных деталей, предназначенных для текущих и будущих программ по производству авиационных двигателей. Основной движущей силой этой стратегической инвестиции является уникально спроектированная, сложная алюминиевая деталь, она будет использоваться для интеграции демонстраторов авиационных двигателей следующего поколения. Выбранный материал – AlSi7Mg0.6 – F357. В совместных усилиях Safran и Nikon SLM Solutions разработали скрупулезный протокол, гарантирующий, что NXG XII 600 не только соответствует, но и последовательно поддерживает строгие спецификации Safran. Эти совместные усилия имеют потенциал для установления новых стандартов для аэрокосмической промышленности. Кроме того, параметры машины для алюминия AlSi7Mg0.6 были разработаны компанией Nikon SLM Solutions в соответствии со строгими стандартами Safran для деталей, сертифицированных для серийного производства. Всеобъемлющее соглашение об уровне обслуживания, сопровождающее NXG XII 600, повышает ценность поставки. Этот пакт охватывает полное покрытие и обязательство максимизировать время безотказной работы, гарантируя, что Safran сможет извлечь выгоду из последовательного и эффективного производства. Сэм О'Лири, генеральный директор Nikon SLM Solutions, прокомментировал это партнерство, заявив: «Эта поставка знаменует собой не просто сделку, но и свидетельство нашего общего видения будущего аддитивного производства. С NXG XII 600 мы позволяем Safran использовать рекордные производственные возможности, прокладывая путь для инновационных достижений в авиации» [27].

- GKN Aerospace заказала у Nikon SLM Solutions две современные машины для аддитивного производства NXG XII 600, ускоряя тем самым индустриализацию новаторских устойчивых решений для авиадвигателей – рисунок 48. Одна из систем будет использоваться для печати In 718, а другая – титан Ti64. Ожидается, что обширная зона печати NXG XII 600 и 12 лазеров позволят GKN Aerospace производить крупные детали с высокой производительностью. Это партнерство знаменует собой еще один значительный шаг вперед в революционном преобразовании аэрокосмической отрасли, предлагая более надежные и устойчивые альтернативы традиционным методам литья иковки. «Партнерство с Nikon SLM Solutions – это ключевая веха на нашем пути к созданию более качественной и устойчивой аэрокосмической продукции», – сказал Мартин Торден, вице-президент Permapova, недавно созданного бизнес-подразделения по материалам в GKN Aerospace. «Это сотрудничество обеспечивает нам доступ к передовым возможностям аддитивного производства». GKN Aerospace – ведущий мировой поставщик аэрокосмической продукции с 38 производственными предприятиями в 12 странах, обслуживает более 90% мировых производителей самолетов и двигателей. Компания является лидером в области технологий аддитивного производства уже более двух десятилетий, что отражает ее приверженность устойчивому развитию и инновациям в аэрокосмической отрасли [28].

Рисунок 48. Поставленная система NIKON SLM Solutions в центр GKN Aerospace



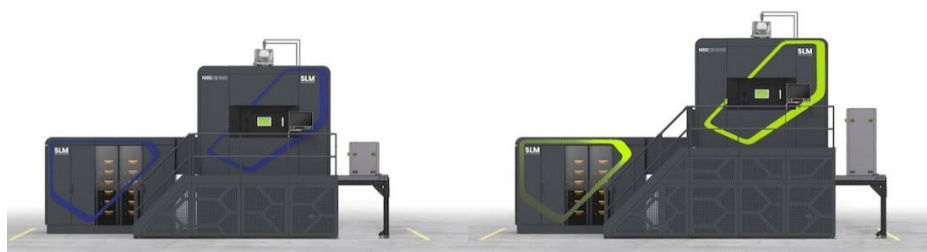
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным NIKON SLM Solutions [24], 2024

- В 2023 году было объявлено об экспансии NIKON на рынок США – открытии глобальной штаб-квартиры аддитивного производства в США. Было объявлено, что глобальная штаб-квартира ее нового подразделения Advanced Manufacturing Business Unit будет располагаться в Калифорнии, США, что позволит приблизить ресурсы и лиц, принимающих решения, к клиентам и партнерам компании. Nikon создала новую компанию Nikon Advanced Manufacturing, Inc. и начала работу в июле 2023 года.

Создание Nikon Advanced Manufacturing, Inc. в Калифорнии знаменует собой первый случай за 100 лет истории компании, когда глобальная штаб-квартира подразделения Nikon находится за пределами Японии. Nikon заявляет, что новая компания, возглавляемая Хамидом Заррингаламом в качестве генерального директора и Юичи Шибасаки в качестве его заместителя, объединит высококвалифицированную команду, нацеленную на успех организации и ее клиентов. Эксперты отмечают, что местоположение обеспечивает отличную близость к клиентам и партнерам, включая аэрокосмическую, космическую и оборонную отрасли [29].

Из последних разработок компании NIKON SLM Solutions можно отметить высокопроизводительную систему NXG XII 600E – в отличие от модели NXG XII 600, она имеет ещё больший размер камеры построения по вертикали, равный 1,5 метра.

Рисунок 49. Системы NXG XII 600 и NXG XII 600E от компании NIKON SLM Solutions



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным NIKON SLM Solutions [24], 2024

Технология селективного лазерного плавления, которую использует NIKON SLM Solutions, в частности, сплавление порошкового слоя с использованием лазерного луча (Laser beam – Powder Bed Fusion), остается доминирующей технологией в секторе аддитивного производства. Эта технология на сегодняшний день является наиболее развитой согласно оценкам AMPOWER из технологий аддитивного производства с широким промышленным применением [30] (Рисунок 50).

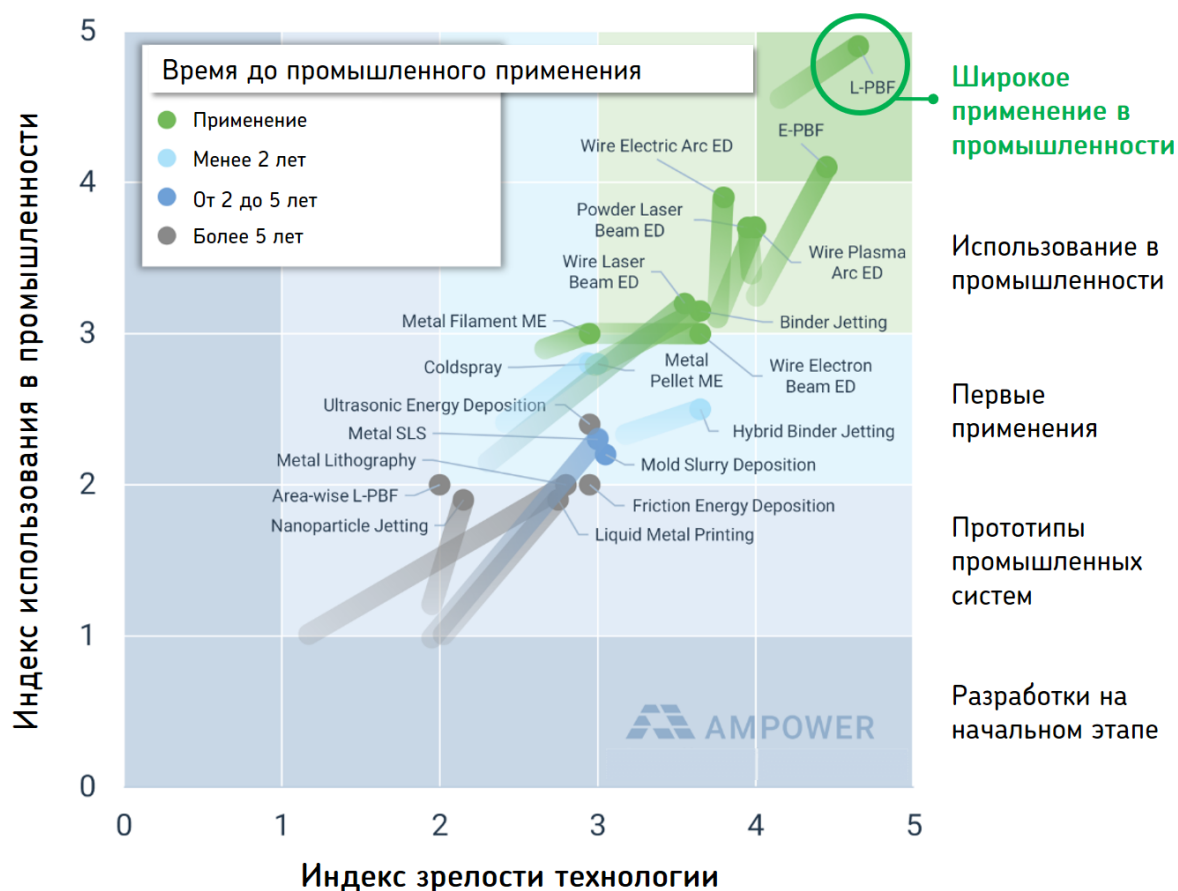
Компания **3D Systems** была основана в 1986 году, штаб-квартира располагается в Южной Каролине (США). 3D Systems является ведущим мировым поставщиком решений в области 3D печати, включающих персональные и профессиональные 3D принтеры. Оборудование 3D Systems используется более чем в 80 странах мира, в таких отраслях, как автомобилестроение, аэрокосмическая промышленность, машиностроение, медицина.

Основные технологии трехмерной печати, используемые американским производителем:

- SLS – выборочное лазерное спекание;
- SLA – стереолитография;
- DMP – прямое сплавление (спекание) металла.

По итогам 2023 года компания из США констатировала падение выручки. Выручка за год составила \$488,07 млн, что на 9,3% меньше выручки за 2022 год в размере \$538,03 млн. Падение было обусловлено замедлением продаж в стоматологической ортодонтии и более медленными продажами оборудования AT [31].

Рисунок 50. Уровень промышленной зрелости технологии SLM (L-PBF)



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным консалтинговой компании AMPOWER [30], 2024

«Если проанализировать 2023 год в целом, то наиболее влиятельным фактором, повлиявшим на наши показатели выручки, стала наша линейка стоматологической ортодонтической продукции, выручка которой снизилась на 39% по сравнению с уровнем 2022 года и, по сути, сократилась вдвое по сравнению с пиковым значением 2021 года», — заявил д-р Джеффри Грейвс, президент и генеральный директор 3D Systems. «Однако к давлению со стороны этого рынка добавилось общее замедление капитальных затрат на новые производственные мощности как со стороны наших клиентов из сферы здравоохранения, так и из сферы промышленности. Эти совокупные эффекты привели к значительному сдерживанию выручки в 2023 году». «В ответ на эту слабость мы предприняли комплексную инициативу по реструктуризации, чтобы сократить расходы, улучшить маржу за счет большей эффективности и удержать компанию на пути к устойчивой прибыльности и положительному операционному денежному потоку», — продолжил президент компании.

В качестве событий 2023 года можно выделить следующие:

- В 2023 году 3D Systems запускает новый восковой 3D-принтер MJP 300W для ювелирных изделий. Новый MJP 300W компании является самым передовым и гибким среди ее восковых 3D-принтеров, способным решать различные рабочие процессы производства ювелирных изделий с повышенной производительностью, эффективностью, качеством и свободой дизайна.

Кроме того, новый материал VisiJet Wax Jewel Ruby от 3D Systems – это прочный, устойчивый к температуре чистый воск, который обеспечивает оптимальное сочетание свойств гибкого материала и хорошей размерной стабильности в условиях высоких температур. В результате можно сохранять детали самых сложных ювелирных изделий в процессе формования, снижая вероятность поломки или деформации, что позволяет получить безупречное конечное изделие. Сочетание этой печатной платформы и материала позволяет производителям восковых ювелирных изделий – от производителей больших объемов до производителей ювелирных изделий на заказ – более эффективно создавать новые дизайны с большей свободой дизайна и улучшенной отделкой поверхности.

- 3D Systems представила новые материалы для улучшения портфолио SLA. Специалисты по материалам компании разработали новую химию на основе материалов Figure 4, что позволило создать первый в отрасли огнестойкий материал для SLA. В результате материал так же доступен как Figure 4 Tough FR V0 Black для использования с платформой Figure 4 от 3D Systems, что позволяет клиентам масштабировать размеры деталей и использовать системные преимущества, предоставляемые каждой платформой. Accura AMX Tough FR V0 Black обеспечивает улучшенное качество деталей и разрешение для SLA, которые ранее были достижимы только с помощью технологий селективного лазерного спекания (SLS) и моделирования методом послойного наплавления (FDM). Этот новый огнестойкий материал достигает рейтинга UL 94 V0 и занимает уникальное положение на рынке благодаря сочетанию модуля упругости при изгибе и непревзойденного удлинения при разрыве почти 35%.
- Компания 3D Systems усилила свои позиции в автоспорте. Команда BWT Alpine F1 приобретает четыре принтера 3D Systems SLA 750. После того, как стало ясно, что 3D-печать станет важной частью стратегии на сезон F1 2023/24, продемонстрировав системы Figure 4 на официальной презентации нового автомобиля, команда BWT Alpine F1 Team недавно приобрела четыре системы 3D-печати 3D Systems SLA 750, что позволило команде производить 25 000 деталей в год и ускорить инновации и скорость отслеживания. Команда решила приобрести системы после того, как тщательно протестировала продукт в бета-фазе. В настоящее время команда BWT Alpine F1 Team использует системы SLA 750 и материал Accura Composite PIV от 3D Systems для создания моделей для испытаний в аэродинамической трубе, включая сложные аэродинамические детали с отводами давления, а также небольшие композитные инструменты и высокотемпературные соединительные приспособления. Сообщается, что команда видит значительный рост производительности, что стало возможным благодаря сокращению времени сборки [32].

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. 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.

По оценкам Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ) выручка EOS GmbH в 2023 году составила около 415 млн долл. В качестве последних событий компании в 2023 году можно выделить следующие:

- Компания EOS запустила в 2023 году новую систему M300-4 по металлу с мощностью лазеров 1 кВт. Эта новая система аддитивного производства оснащена четырьмя мощными лазерами для удовлетворения производственных требований к изделиям из алюминия и меди, напечатанным на 3D-принтере, таким как алюминиевые кронштейны, держатели, антенны, теплообменники, а также теплообменники из меди или медных сплавов, индукторы, компоненты электромобилей и многое другое. Основные характеристики системы:
 - Объем камеры построения: 300 x 300 x 400 мм;
 - Четыре лазера мощностью один киловатт;
 - Надежные двухосевые сканирующие устройства для большей эффективности;
 - Толщина слоя: 80 мкм;
 - Скорость построения: $4 \times 38,5 \text{ мм}^3/\text{с} = 154 \text{ мм}^3/\text{с}$ ($555 \text{ см}^3/\text{ч}$).

Новая система M300-4 показана далее. На момент запуска EOS M 300-4 сообщалось, что система идеально подходит для применения в авиации, энергетике, государственном секторе и ОПК, а также в отраслях мобильности/транспорта, где используются AlSi10Mg, медь и медные сплавы [33].

Рисунок 51. Уровень промышленной зрелости технологии SLM (L-PBF)



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным компании EOS [33], 2024

- Компания EOS в 2023 году представила новый высокопрочный алюминиевый сплав EOS Al5X1. Компания впервые продемонстрировала детали, напечатанные из материала Al5X1, на мероприятии RAPID + TCT. Разработанный в рамках программы отбора материалов EOS, сплав EOS Al5X1 учитывает новые и более жёсткие требования клиентов. Материал обладает рядом преимуществ, включая возможность анодирования и электрополировки. EOS также подчеркивает удобство одного этапа термообработки и высокое удлинение сплава при разрыве.

По данным EOS, алюминиевый сплав Al5X1 обладает более высокой прочностью 410 МПа по сравнению с большинством других алюминиевых предложений на рынке аддитивного производства. Он также демонстрирует удлинение при разрыве в диапазоне от 15% до 18%. Эти характеристики способствуют превосходным усталостным характеристикам материала, привлекая интерес со стороны аэрокосмической, оборонной и потребительской электроники. По данным компании, многие производители дали положительные отзывы относительно прочности и удлинения материала. EOS подчеркивает привлекательность минимальных этапов термообработки, указывая, что достаточно простого шестичасового цикла при 400°C, что устраняет необходимость в дополнительных обработках, таких как термообработка T6, закалка в воде или закалка в масле [34].

Desktop Metal Inc. – это американская высокотехнологичная компания, занимающаяся разработкой и продажей оборудования для 3D-печати. Desktop Metal – пионер в области создания 3D-принтеров, которые печатают объекты из металла. Принтеры рассчитаны не только на решение сложных производственных задач, так как в каталоге компании есть исполнения для более простых применений. Принтеры способны работать с использованием около 200 сплавов, включая сталь, алюминий и титан. Большинство систем используют технологию Binder Jetting.

- В 2023 году мировой лидер объявил о дополнительном плане сокращения расходов на сумму 50 миллионов долларов США на 2023 год, который должен позволить расставить приоритеты в инвестициях и операциях в соответствии с получением доходов в краткосрочной перспективе, что позволит компании достичь своих долгосрочных финансовых целей. Ключевой частью плана по сокращению расходов является масштабная работа по оптимизации и консолидации нескольких локаций в Соединенных Штатах и Канаде. План по сокращению расходов также включает сокращение рабочей силы примерно на 15%.
- В октябре 2023 года Desktop Metal представил ETEC Pro XL – промышленный полимерный 3D-принтер, который обеспечивает новую доступность в премиальной технологии DLP по цене в два раза ниже своего предшественника. По данным компании теперь ETEC Pro XL доступен по цене менее 40 000 долларов США и обеспечивает исключительную точность, разрешение и качество поверхности [35].

Компания сообщила о снижении продаж в 2023 году: «Снижение на 9,2% по сравнению с 2022 финансовым годом обусловлено сложными рыночными условиями, снижением продаж продукции и удлинением циклов продаж. Фокус продаж был сосредоточен на продуктах с более высокой валовой прибылью и наибольшим потенциалом роста». Выручка по итогам 2023 года составила 189,7 млн долл.

Компания охарактеризовала 2023 год следующим образом: «Выручка за четвертый квартал 2023 года составила 2 миллиона долларов и отразила значительное сокращение поставок систем из-за более низких, чем планировалось, заказов во второй половине 2023 года и перехода компании на реорганизацию. За четвертый квартал 2023 финансового года выручка составила 77,6 млн долл. по сравнению с 80,8 млн долл. в 2022 году. Учитывая снижение заказов и сложные условия в отрасли, компания успешно внедрила ряд стратегических инициатив по продажам в четвертом квартале для стимулирования роста заказов» [35].

Компания ожидает последовательного улучшения выручки, валовой прибыли и операционных расходов на ежеквартальной основе в 2024 году. Компания также считает, что продолжение реализации стратегии реорганизации позволит ей достичь цели по безубыточности свободного денежного потока во второй половине 2024 года.

BLT (Xi'an Bright Laser Technologies) – китайский лидер в области аддитивных технологий. Компания была основана в 2011 году и на сегодняшний день является ведущим поставщиком решений для аддитивного производства в Китае и других странах. В компании работают более 1700 сотрудников, более 30% из них работают в отделении R&D [36].

По итогам 2023 года компания сообщила о росте выручки на 34% до 170 млн долларов, было реализовано 242 системы АТ, а объемы продаж материалов удвоились. Распределение выручки по отраслям показывает прочные позиции в ключевых секторах: аэрокосмическая и авиационная отрасли, составляющие 56,02%, промышленность с 37,32% и научно-исследовательские институты, вносящие 5,64%. Обширная инфраструктура компании, включающая более 440 комплектов оборудования для аддитивного производства и более 120 комплектов дополнительного и испытательного оборудования, укрепила ее позицию как крупнейшей в мире промышленной базы для аддитивного производства и предоставления услуг.

Чтобы удовлетворить существенный спрос со стороны аэрокосмической и авиационной промышленности на крупногабаритное оборудование для аддитивного производства металлов, подходящее для серийного производства, в 2023 году компания BLT представила новые платформенные решения. К ним относятся модели BLT-S615, BLT-S815 и BLT-S1500 с 26 лазерами и большой камерой построения [37]. Разработка крупноформатного оборудования отвечает разнообразным производственным требованиям клиентов аэрокосмической отрасли, обеспечивая производство как крупных, так и средних компонентов, а также мелкосерийное производство крупных компонентов.

В мае 2023 финансового года компания BLT провела церемонию закладки фундамента для своего масштабного проекта – новой производственной базы для аддитивного производства металлов. Целью проекта является создание высококачественных линий по производству порошков для 3D-печати металлом, а также эффективных и высокоточных линий по производству индивидуальных изделий методами АТ. Строительство будет масштабным – общая площадь составит около 163 200 квадратных метров. Производственная линия BLT приведена далее (Рисунок 52).

В 2023 году **Farsoon** сообщила об увеличении выручки на 33% до 605,7 млн CN¥ (85,2 млн долл. США), а чистая прибыль выросла на 35% до 133,5 млн CN¥ (18,8 млн долл. США). Несмотря на колебания рынка и конкурентную среду, Farsoon удалось сохранить стабильную норму прибыли в 22% [38]. Прибыль на акцию (EPS) выросла до 33 китайских юаней (около 4,6 центов США) с 27 китайских юаней (около 3,8 центов США) в 2022 году. В первой половине 2023 года операционный доход Farsoon в основном был получен от оборудования для 3D-печати, что составило 87,45% выручки.

Продажа порошковых материалов для 3D-печати принесла 7,81%, а послепродажное обслуживание и другие виды деятельности – 4,57%. К концу отчетного периода общие активы Farsoon выросли более чем вдвое, показав впечатляющий рост на 104% до 2,32 млрд юаней (327 млн долл.).

Рисунок 52. Производственная линия компании BLT



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным компании BLT [36], 2024

Эти финансовые победы были обусловлены фокусировкой Farsoon на своем основном бизнесе, постоянными технологическими инновациями и увеличением инвестиций в исследования и разработки. Компания разработала новое оборудование для удовлетворения потребностей заказчиков, оптимизировала свое программное обеспечение, элементы управления и процессы для повышения эффективности 3D-печати и активно занималась расширением рынка. Компания добилась значительных успехов в своих линейках продукции по металлу и пластикам, лидируя в технологиях, исследуя мировые рынки с высоким потенциалом и создавая международную экосистему. Более того, ее глобальные продажи клиентам превысили 1000 единиц, включая 500 3D-принтеров, проданных международным клиентам. Farsoon уже отмечала в 2023 году, что «зарубежные рынки составляют от 30% до 45% объема продаж компании» [39].

Основатель Farsoon доктор Сюй Сяошу сказал в интервью китайскому СМИ Antarctic Bear в прошлом году: «Тенденция развития 3D-печати достигла стадии быстрого восходящего роста. Ее быстрый рост можно объяснить двумя моментами: первый момент – это постепенная зрелость металлической 3D-печати, и ее цена постепенно снижается. Постоянное снижение цены превратило ее в инструмент, который фактически может использоваться в качестве инструмента массового производства. Это касается не только более важной аэрокосмической отрасли, но и других приложений. Второй момент заключается в том, что понимание отрасли 3D-печати постепенно углублялось в последние годы. В прошлом впечатление общественности о 3D-печати ограничивалось лишь проведением некоторых исследований» [39].

Farsoon и BLT, представив отчеты о сильном росте в 2023 году, подчеркивают потенциал китайской индустрии 3D-печати. Их финансовые отчеты также отражают тенденции и возможности на китайском рынке 3D-печати. По мере продвижения вперед их подходы к инновациям и глобальной экспансии продолжают привлекать внимание инвесторов и отраслевых наблюдателей, требуя от них еще больших результатов. Это окажет достаточное давление на Farsoon и BLT, чтобы они продолжали адаптироваться к меняющимся требованиям рынка и гарантировать, что они останутся на передовой индустрии 3D-печати.

Таким образом, китайские компании растут быстрее ряда компаний США и Европы. Доля китайских компаний на мировом рынке АТ увеличивается в настоящее время.

Компания **Lithoz**, занимающаяся 3D-печатью керамикой, зафиксировала рост продаж 3D-принтеров на 30% в 2023 году по сравнению с предыдущим годом, а производство материалов увеличилось вдвое. Компания утверждает, что «серийное производство внесло очевидный вклад» в этот рост, при этом большая часть проданных принтеров была установлена существующими клиентами.

Далее приводятся сводные оценки по выручке лидирующих мировых компаний в сфере аддитивных технологий по итогам 2023 года.

Таблица 4. Сводные оценки по выручке рассматриваемых мировых игроков АТ

Компания	2022	2023	Валюта	Динамика продаж
Nikon SLM Solutions	105,7	127,2	млн €	20,3%
3D Systems	538,0	488,1	млн \$	-9,3%
EOS Gmbh	375,0	415,5	млн \$	10,8%
Desktop Metal	209,0	189,7	млн \$	-9,2%
Markforged	101,0	93,8	млн \$	-7,1%
VEL03D	80,8	77,6	млн \$	-4,0%
BLT	127,0	170,0	млн \$	33,9%
Farsoon Technologies	67,8	85,2	млн \$	25,7%
Stratasys	651,5	627,6	млн \$	-3,7%
Voxeljet	27,8	33,3	млн €	19,8%

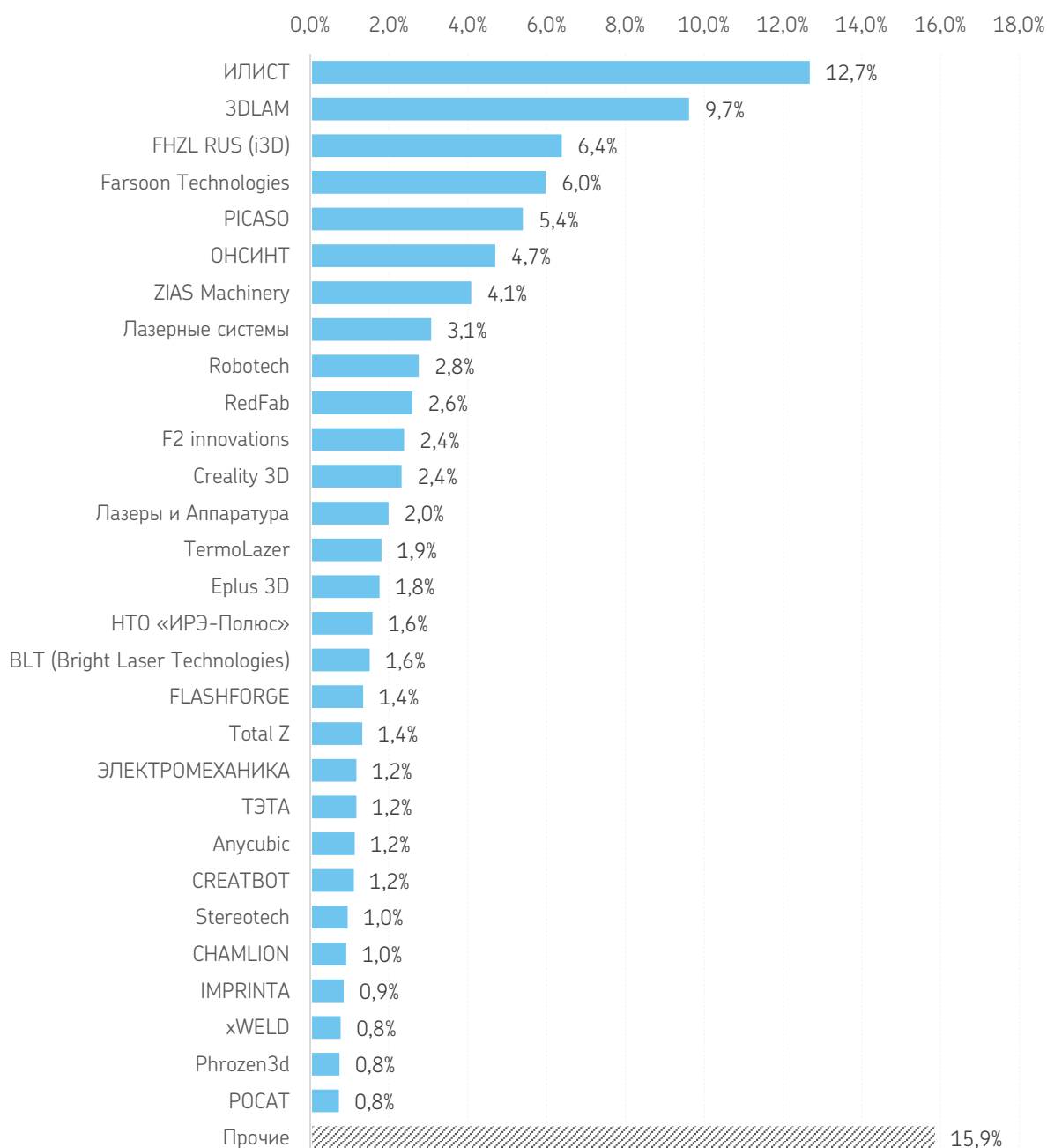
Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

На российском рынке основные компании, которые производят системы АТ, с оценками их долей рынка представлены на графике (Рисунок 53).

Компании, которые производят системы АТ по металлу, с оценками их долей рынка представлены на графике (Рисунок 54).

Как можно заметить, лидирующую позицию на рынке занимает компания ИЛИСТ с долей более 25%, она предлагает заказчикам решения по технологии DED. Институт лазерных и сварочных технологий проводит исследования и разработки в области лазерных и гибридных лазерно-дуговых технологий обработки материалов. На сегодняшний день это одна из крупнейших в Европе структур в области лазерных технологий. Уникальный опыт, кадровый потенциал и научно-техническая база позволяют Институту выстраивать и поддерживать надежные и компетентные партнерские отношения с предприятиями и научными организациями, как в рамках российских, так и международных проектов.

Рисунок 53. Доли рынка производителей оборудования АТ в России, %

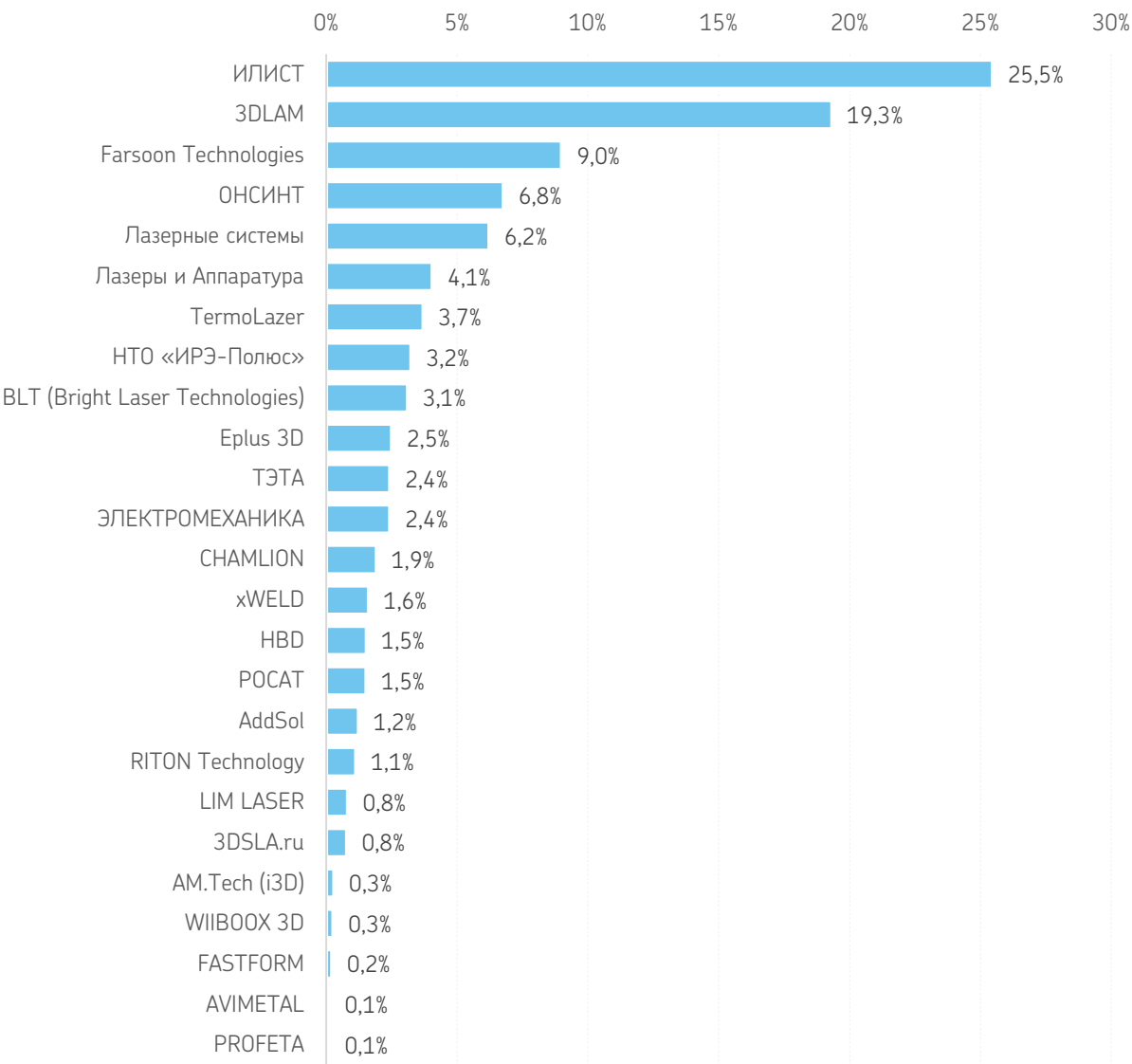


Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

Касательно технологии SLM, то наиболее крупной компанией является 3DLAM с долей около 19%. Компания 3DLAM из Санкт-Петербурга является частью ЗАО «Биоград», основанного в 1992 году.

Бренд 3DLAM появился в 2018 году, когда компания начала осваивать и развивать современное направление аддитивных технологий. Этому предшествовал большой опыт в разработке и модернизации высокотехнологичного оборудования, поэтому новое направление 3D печати опиралось на уже имеющиеся разработки в области механики, электроники, ПО и особенностей работы с металлами.

Рисунок 54. Доли рынка производителей оборудования АТ по металлу в России, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

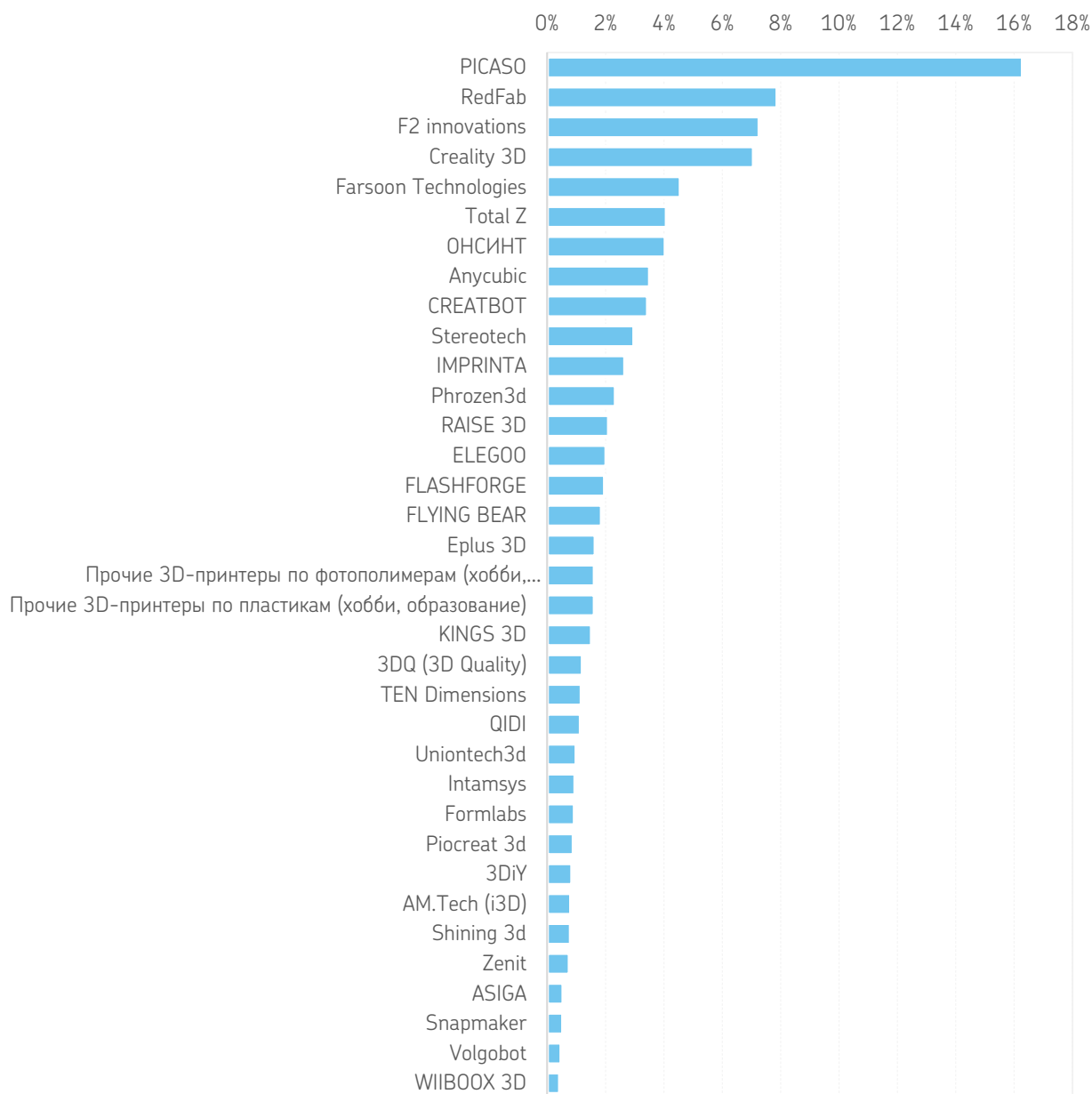
С точки зрения локального производства и импорта систем по металлу, то мы оцениваем долю отечественного оборудования почти в 80%, а на импорт приходится около 20%.

Компании, которые производят системы АТ по пластику и фотополимерам, с оценками их долей рынка представлены на графике (Рисунок 55).

Можно отметить, что в периметре систем АТ по пластикам и фотополимерам лидирующие позиции занимают отечественные компании: PICASO, RedFab, F2 Innovations.

В целом на локальных игроков приходится около 53% рынка, на импорт 47%.

Рисунок 55. Доли рынка производителей оборудования АТ (пластики, фотополимеры) в России, %



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным APAT, 2024

3.2. 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.

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.

Общее количество дистрибьюторов 3D-принтеров в мире на сегодня очень большое. Эта бизнес-модель (канал сбыта продукции) 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.

3.3. Инвестиции, сделки M&A, кооперация

Активность M&A продолжалась в 2023 году на рынке аддитивных технологий. Так, было объявлено, что японская транснациональная компания по производству оптического, метрологического и электронного оборудования Nikon завершила поглощение немецкого производителя 3D-принтеров по металлу SLM Solutions. Первоначально согласованная сделка 2022 года завершилась в середине 2023 года и позволила Nikon приобрести 100% акций SLM Solutions по цене €20,00 за акцию, а общая сумма сделки составила €622 млн. По словам генерального директора компании Nikon Тошиказу Уматате, этот шаг позволяет двум компаниям предоставлять «комплексные решения ускоренными темпами клиентам в различных отраслях по всему миру». «Мы очень рады, что наша сделка прошла успешно, и мы с нетерпением ждем партнерства с SLM», – сказал Тошиказу Уматате.

«Мы ценим возможности SLM в сфере аддитивного производства металлов и с нетерпением ждем расширения и роста нашего цифрового производственного бизнеса, который, как мы уверены, приведет к революции в мировом массовом производстве» [24]. За последние четыре года SLM Solutions превратилась из компании, выручка которой в 2019 финансовом году падала на 31,7% в годовом исчислении, в процветающую за счет растущего спроса в аэрокосмическом и автомобильном секторах. Переломить ситуацию удалось с января 2021 года, когда новый генеральный директор SLM Solutions Сэм О'Лири возглавил компанию. Продажи компании стали заметно увеличиваться благодаря поставкам в аэрокосмическую отрасль, основными заказчиками стали Rolls Royce и BBC США. Теперь, когда поглощение компанией Nikon завершено, О'Лири говорит, что он ожидает дальнейшего роста клиентской базы SLM Solutions, поскольку она начинает осваивать рынки своей материнской компании.

Ещё одной сделкой на мировом рынке в 2023 году стало слияние Markforged и Formlabs. Markforged и Formlabs зарекомендовали себя в сфере 3D-печати. Markforged имеет всемирную репутацию благодаря своим инновационным высококачественным металлическим и композитным 3D-принтерам, материалам и программным решениям. Между тем, Formlabs сыграл важную роль в популяризации технологии SLA, внедрив промышленные технологии на настольные компьютеры, сохранив при этом превосходное качество. Formlabs стал синонимом настольной SLA-печати. Преимущества слияния этих двух компаний могут быть значительными. Прежде всего, это может привести к более обширному и разнообразному портфелю продуктов.

Объединение опыта Formlabs в области SLA с опытом Markforged в области печати металлами и композитами может предоставить клиентам комплексное решение для различных потребностей в 3D-печати, от быстрого прототипирования до деталей для конечного использования. Важно, что их взаимодополняющие портфели продуктов означают, что обе команды могут продолжать нацеливаться на своих клиентов, не ставя под угрозу или не исключая продукты, что было распространенной ловушкой во многих недавних слияниях и поглощениях. Эта стратегия расширяет их охват и предоставляет больше возможностей для удовлетворения потребностей клиентов в домашнем, офисном и заводском производстве.

Также было объявлено, что компания Nexa3D, специализирующаяся на сверхбыстром оборудовании для 3D-печати полимеров, завершила сделку по приобретению компании Addifab, создателя технологии литья под давлением Freeform – запатентованного цифрового процесса изготовления оснастки, который сочетает в себе свободу проектирования 3D-печати с механическими характеристиками литья под давлением с использованием тысяч конструкционных 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, по оценкам АРАТ, в перспективе потенциально можно ожидать новые партнёрства и сделки M&A как в Российской Федерации, так и за рубежом.

3.4. Новые крупные проекты: участники, планы, суммы привлеченных инвестиций

Отдельный интерес представляет объём финансовых затрат, который производители оборудования 3D-печати ежегодно тратят на научные исследования и новые разработки (англ. R&D). Согласно последнему отчёту Wohlers Report 2024 [1] были опрошены восемьдесят два производителя систем АТ. В 2023 году эти компании тратили на НИОКР в среднем 25,4% своего годового оборота. Этот показатель в 2022 году составлял 30,6 % и 36,8% в 2021 году.

Такой относительно высокий процент согласно Wohlers объясняется тем, что в опросе участвовало много относительно молодых производителей. Они все ещё находятся на ранней стадии развития и тратят на НИОКР больше, чем более зрелые компании. По данным информационного ресурса Statista, а также финансовой отчётности компаний и оценок APAT, затраты на R&D лидирующих игроков рынка приведены в таблице Таблица 5.

Таблица 5. Затраты на R&D лидирующих игроков рынка в 2023 году

Компания	R&D затраты, млн	% от выручки	Валюта
Nikon SLM Solutions	21,5	16,9%	млн €
3D Systems	89,5	18,3%	млн \$
Desktop Metal	85,1	44,8%	млн \$
Markforged	40,7	43,3%	млн \$
Stratasys	94,4	15,0%	млн \$
VELO3D	42,0	54,1%	млн \$
Voxeljet	6,15	18,4%	млн €

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным APAT, 2024

Как можно заметить, наибольшая доля затрат на R&D от годового оборота 2023 года выявлена у компаний Velo 3D, Desktop Metal, Markforged. Высокие показатели относительных затрат R&D связаны с активными фазами разработки, которые требуют финансирования. Часто компании используют не только свои собственные средства, но и привлекают внешние источники.

На сформированных и устоявшихся рынках доля R&D затрат, как правило, ниже и не превышает 5–10% от выручки компании.

Говоря о крупных вложениях в России, в 2023 году можно выделить следующие события на рынке аддитивных технологий:

- По данным “Коммерсантъ” в октябре 2023 года было объявлено, что АО «Лазерные системы» инвестируют в новый Центр аддитивных технологий (ЦАТ) на базе собственного производства на площадке «Нойдорф» ОЭЗ в Стрельне. Номенклатура заявлена достаточно широкая: от запчастей для импортного оборудования до деталей для двигателей, газотурбинных агрегатов и космических аппаратов. Запуск производства – 2024 год. Инвестиции в проект оцениваются в 400 млн рублей.

Центр аддитивных технологий будет ориентирован на контрактное производство заготовок и деталей по технологии селективного лазерного сплавления металлических порошков (SLM) по конструкторской документации и техническому заданию заказчика. Общая площадь помещений ЦАТ составит около 3 тыс. кв. м. Центр будет включать сам цех аддитивного производства с линейкой 3D-принтеров и несколько участков: механической постобработки, металлографической и испытательной лаборатории, подразделение реверс-инжиниринга, учебный класс для обучения и практических занятий [40].

- Состоялась официальное открытие Московского цифрового завода – сообщает портал 3DToday. Московский цифровой завод – это проект научно-производственного объединения «3Д-Интеграция», работающего под брендом i3D. Проект реализуется при поддержке Министерства промышленности и торговли РФ с целью развития инновационных технологий и представляет собой промышленную площадку для разработки отечественных технологий аддитивного производства и локализации зарубежных, а также выполнения проектов по импортозамещению, обратному проектированию и промышленной 3D-печати. Московский цифровой завод (МЦЗ) включает три подразделения [41]:
 - AM.TECH выполняет задачи по производству и конструированию, связанные с разработкой отечественных и локализацией зарубежных промышленных 3D-принтеров;
 - FHZL RUS – российско-китайское предприятие по локализации сборки 3D-принтеров для печати литейных форм песчаными смесями;
 - «СПИН» – аддитивное производство полного цикла с оказанием услуг 3D-печати по различным инновационным технологиям, а также услуг автоматизированного контроля и обратного инжиниринга с использованием метрологических 3D-сканеров и координатно-измерительных машин.

На МЦЗ сосредоточены выдающиеся специалисты и инженеры, сотрудничающие в разработке и внедрении инновационных продуктов аддитивного производства в различные отрасли промышленности. На МЦЗ имеются инновационные 3D-принтеры, используемые для промышленной 3D-печати различными материалами – полимерами, металлами, керамикой и композитами. Создание компанией «3Д-Интеграция» Московского цифрового завода – существенный вклад в развитие промышленности Москвы, импортозамещение и достижение российского технологического суверенитета. Компания также ведет просветительскую деятельность в области развития аддитивных технологий в России. На площадке МЦЗ планируется проведение образовательных проектов, форумов, семинаров и научных конференций. В настоящее время МЦЗ размещается на площади в 1300 квадратных метров, к 2025 году компания планирует инвестировать четыреста миллионов рублей в расширение производственных площадей до трех тысяч квадратных метров [42].

- «Росатом» открыл третий центр аддитивных технологий.

«Росатом» открыл центр аддитивных технологий на площадке ОКБМ им. Африкантова в Нижнем Новгороде – уже третий в отрасли. Будут и другие. Развитая сеть ЦАТ поможет обеспечить доступность продуктов и услуг 3D-печати для широкого круга заказчиков, уверены в госкорпорации. «Развивая технологии 3D-печати и региональную сеть центров аддитивного производства,

«Росатом» содействует решению государственных задач в укреплении технологического суверенитета. Цель госкорпорации – к 2030 году войти в тройку ведущих компаний России в области аддитивных технологий», – сказал на церемонии открытия первый заместитель гендиректора, директор блока по развитию и международному бизнесу «Росатома» Кирилл Комаров. Он добавил, что широкое использование технологий 3D-печати позволит кратно сократить сроки и стоимость производства, поможет преодолеть барьеры в области импортозамещения. Центр на площадке ОКБМ обустроили всего за 2,5 года, отметил руководитель машиностроительного дивизиона Игорь Котов. «Потенциал этого направления для «Атомэнергомаша» очевиден: уже первые тестовые проекты показали, что применение аддитивных технологий способно в разы увеличить скорость производства не просто при сохранении высокого качества изделий, но и с улучшением их технических характеристик», – прокомментировал Игорь Котов. Уже сейчас специалисты нижегородского ЦАТа отрабатывают технологии создания компонентов реакторной установки РИТМ-200, добавил глава ОКБМ Дмитрий Зверев. Их используют в современных атомных ледоколах, плавучих и наземных малых АЭС [43].

3.5. 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). Чтобы решить вопрос финансирования, многие производители оборудования и материалов часто идут по пути IPO, т.е. стараются привлечь внешние средства инвесторов на развитие. Привлечение собственных средств в развитие зачастую затруднительно, так как показатели по прибыли могут не позволять осуществлять дорогие работы по НИОКР. Более успешным может быть модель, когда периметр АТ для компании является дополнительным (сопутствующим).

Так, например, станкостроительные компании TRUMPF, DMG MOGI, Georg Fisher имеют существенную выручку продаж и прибыль от реализации станков, а компании Sandvik, Höganas в дополнение к порошкам имеют традиционный прибыльный бизнес по металлургии. Таким образом, периметр АТ может финансироваться за счёт других направлений производителя.

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ НА РЫНКЕ АТ НАПРАВЛЕНИЯ «ТЕХНЕТ» НТИ

Данная глава посвящена описанию основных технологий, применяемых на рынке АТ, приводятся данные и обзор ключевых научных разработок в России и мире по результатам библиометрического и патентного анализа.

4.1. Основные технологии, применяемые на рынке аддитивных технологий

Как уже отмечалось ранее, наиболее известными и используемыми технологиями 3D-печати являются:

- MEX (экструзия материала);
- VPP (фотополимеризация в ванне);
- MJT (струйное нанесение материала);
- BJ (струйное нанесение связующего);
- PBF (синтез на подложке);
- DED (прямой подвод энергии и материала);
- SHL (листовая ламинация).

Согласно данным Wohlers и прочим оценкам экспертов, основными технологиями и под технологиями 3D-печати являются следующие технологии (Таблица 6).

Таблица 6. Основные технологии 3D-печати

Технологии	Субтехнологии		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	Козэкструзия композитного волокна (Carbon Fibre Composite)	композиты
	DIW	Прямое нанесение/робокастинг (Direct Ink Writing/Robocasting)	керамика
	LDM	Жидкостное моделирование (Liquid Deposition Modeling)	керамика (глина)
	3DCP	Строительная печать (Construction Printing)	бетон

Технологии	Субтехнологии		Материал
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 затверждение (Lubricant Sublayer Photocuring)	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, композиты, биоматериалы
	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

Технологии	Субтехнологии		Материал
	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 Shaping)	металл
	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

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по материалам АРАТ, 2024

Зачастую производитель фокусируется на одной или двух технологиях, так как эффективно развивать много технологий одновременно не представляется возможным как по финансовым причинам, так и в связи с отсутствием большого ресурса R&D.

Развитие каждой технологии требует больших финансовых вложений, большого числа испытаний, профессиональных технических специалистов. Затраты времени на отработку режимов и выхода технологии в серийное производство могут составлять несколько лет.

Далее представлены лидирующие компании-производители оборудования АТ на российском рынке и используемые ими технологии 3D-печати в России. Данный срез сформирован по итогам поставок в 2023 году.

Таблица 7. Производители оборудования АТ и используемые технологии 3D-печати в России

Компания \ Технология	PBF	DED	MEX	VPP	BJ	MJT	SHL	BIO
POCAT (Росатом)	✓	✓	✓	-	-	-	-	-
ИЛИСТ	-	✓	-	-	-	-	-	-
3DLAM	✓	-	-	-	-	-	-	-
FHZL RUS (i3D)	-	-	-	-	✓	-	-	-
Farsoon Technologies	✓	-	-	-	-	-	-	-
PICASO	-	-	✓	-	-	-	-	-
ОНСИНТ	✓	-	-	-	-	-	-	-
ZIAS Machinery	-	-	-	-	✓	-	-	-
Лазерные системы	✓	-	-	-	-	-	-	-
Robotech	-	-	-	-	✓	-	-	-
RedFab	-	-	✓	-	-	-	-	-
F2 innovations	-	-	✓	-	-	-	-	-
Creality 3D	-	-	✓	✓	-	-	-	-
Лазеры и Аппаратура	✓	✓	-	-	-	-	-	-
TermoLazer	-	✓	-	-	-	-	-	-
Eplus 3D	✓	-	-	✓	-	-	-	-
НТО «ИРЭ-Полюс»	-	✓	-	-	-	-	-	-
BLT	✓	-	-	-	-	-	-	-
FLASHFORGE	-	-	✓	-	-	✓	-	-
Total Z	✓	-	✓	-	-	-	-	-
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА	✓	-	-	-	-	-	-	-
ТЭТА	-	✓	-	-	-	-	-	-
Anycubic	-	-	✓	✓	-	-	-	-
CREATBOT	-	-	✓	-	-	-	-	-
Stereotech	-	-	✓	-	-	-	-	-
CHAMLION	✓	-	-	-	-	-	-	-
IMPRINTA	-	-	✓	-	-	-	-	-
xWELD	-	✓	-	-	-	-	-	-
Phrozen3d	-	-	-	✓	-	-	-	-
HBD	✓	-	-	-	-	-	-	-
RAISE 3D	-	-	✓	-	-	-	-	-
ELEGOO	-	-	✓	✓	-	-	-	-
FLYING BEAR	-	-	✓	-	-	-	-	-
AM.Tech (i3D)	✓	-	-	✓	✓	-	-	-
AddSol	✓	-	-	-	-	-	-	-
RITON Technology	✓	-	-	✓	-	-	-	-
KINGS 3D	-	-	-	✓	-	-	-	-
3DSL.ru	✓	-	-	✓	-	-	-	-
LIM LASER	✓	-	-	-	-	-	-	-

Компания \ Технология	PBF	DED	MEX	VPP	BJ	MJT	SHL	BIO
3DQ (3D Quality)	-	-	✓	-	-	-	-	-
TEN Dimensions	-	-	-	✓	-	-	-	-
QIDI	-	-	✓	✓	-	-	-	-
Smart Build	-	-	✓	-	-	-	-	-
Uniontech3d	-	-	-	✓	-	-	-	-
AMT	-	-	✓	-	-	-	-	-
Intamsys	-	-	✓	-	-	-	-	-
Formlabs	-	-	-	✓	-	-	-	-
Cellink	-	-	-	-	-	-	-	✓
Piocom 3d	-	-	✓	✓	-	-	-	-
3DiY	-	-	✓	✓	-	-	-	-

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

4.2. Обзор ключевых научных разработок в России и мире по результатам библиометрического и патентного анализа

Для оценки библиометрического и патентного анализа по направлению Аддитивные технологии был выбран ряд ключевых слов, максимально характеризующих указанное направление, по которым производился поиск.

Таблица 8. 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 сплавление	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

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным АРАТ, 2024

Библиометрический и патентный поиск проводился на электронных площадках Elibrary [44] и Google.Scholar [45] (в связи не возможностью использования база данных Scopus для российских пользователей) для российский и английских ключевых слов соответственно.

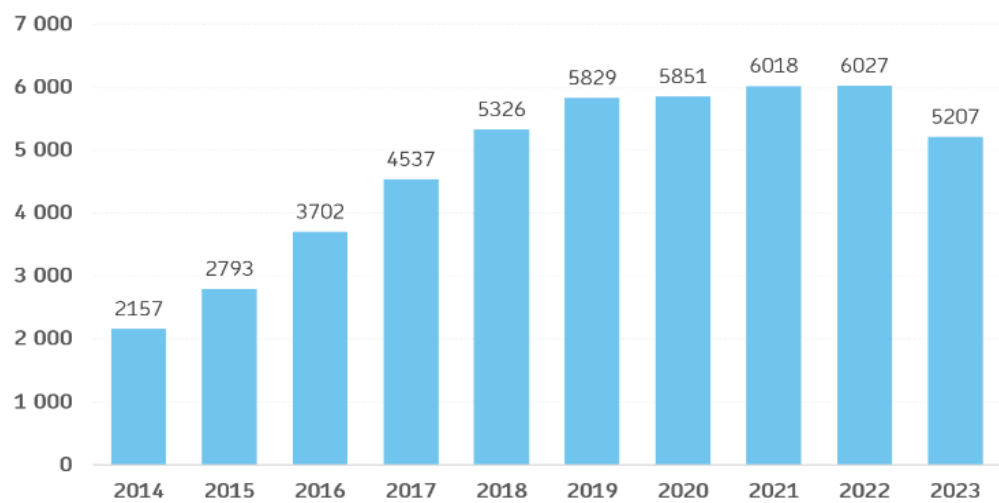
Таблица 9. Результаты библиометрического и патентного поиска (на основе анализа в базе данных Google.scholar и Elibrary)

Результаты международного библиометрического и патентного поиска			
Публикации, шт.		РИД, шт.	
2019 год	3090	2019 год	880
2020 год	4080	2020 год	1150
2021 год	5660	2021 год	1460
2022 год	6690	2022 год	1740
2023 год	6290	2023 год	1380
Результаты российского библиометрического и патентного поиска			
Публикации, шт.		РИД, шт.	
2019 год	1205	2019 год	163
2020 год	1071	2020 год	180
2021 год	1064	2021 год	194
2022 год	1222	2022 год	355
2023 год	1401	2023 год	437

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Google.scholar и Elibrary, 2024

Анализ результатов показывает, что интерес научного сообщества к аддитивным технологиям увеличивается из года в год. Не стабильную тенденцию по публикационной активности показывает российский библиометрический поиск. Скорее всего это связано с переориентацией подачи статей с зарубежных изданий на российские (после 2022 года). Стоит отметить активную регистрацию РИД в РФ в период 2022–2023 гг., что может быть связано с курсом импортозамещения в российском сегменте АТ.

Рисунок 56. Регистрация РИД за последние 10 лет, ед.

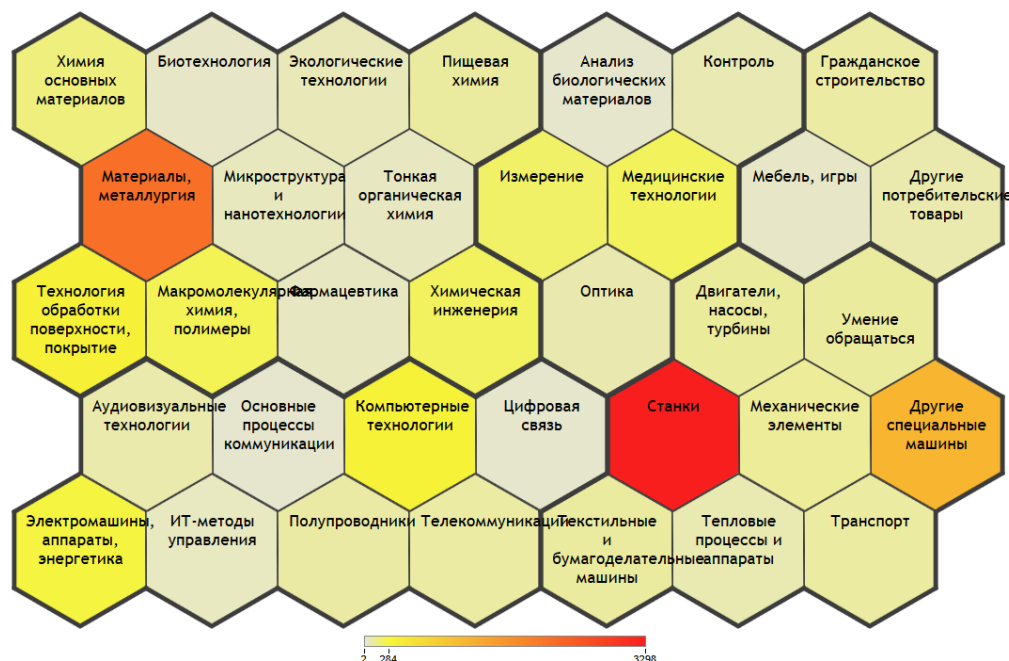


Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Orbit [46], 2024

В тоже время, за 2023 год по данным [46] зарегистрировано только 5207 патента, связанных с аддитивными технологиями, включая полезные модели и способы получения. Эти данные сильно разнятся с поиском по базе Google.scholar, так как Orbit проводит поиск по всем базам, а не только по международным. Далее представлен график регистрации РИД по годам. Стоит отметить, что РФ зарегистрировала 32 РИД в 2023 году, в то время как за 2022 год их было всего лишь 5.

Далее представлено распределение по технологическим областям зарегистрированных РИД.

Рисунок 57. Распределение по технологическим областям зарегистрированных РИД



Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Orbit [46], 2024

Анализ публикационной активности показывает, что наиболее цитируемые статьи являются обзорными, которые обобщают развитие АТ в той или иной области применения (медицине, машиностроении и т. д.). Отдельно можно выделить авторов, которые проводят исследования 3D печати новыми материалами, в частности высокоэнтропийными сплавами.

Анализ патентов [46] показывает, что больше половина из них (3324 шт.) приходится на изготовление каких-либо деталей. Еще одно большое направление (2165 шт.) – приходится на материалы. В РФ тенденция сохраняется. Большая часть (359 шт.) направлены на изготовление деталей и изделий. Остальные (за малым исключением) направлены на получение новых материалов.

Результаты анализа направлений регистрации РИД ожидаемые, так как все основные принципы аддитивного формирования изделий практически исчерпали себя, и исследователи направили свои усилия на поиск материалов, которые, с учетом особенностей послойного синтеза, могут представлять интерес реального сектора экономики (например, повышенные механические и эксплуатационные свойства).

ГЛАВА 5. ПОКАЗАТЕЛИ ПО КОМПАНИЯМ «ТЕХНЕТ» НТИ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИХСЯ НА РАЗРАБОТКЕ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВОВЛЕЧЕННЫМ В РЕАЛИЗАЦИЮ НАПРАВЛЕНИЯ НТИ

Данная глава посвящена описанию основных технологий, применяемых на рынке АТ, приводятся данные и обзор ключевых научных разработок в России и мире по результатам библиометрического и патентного анализа

5.1. Количество компаний НТИ

По данным портала [47] в настоящий момент насчитывается 16 рынков НТИ: «Аэронет», «Авто-нет», «Эконет», «Эдунет», «Энерджинет», «Фуднет», «Геймнет», «Хелснет», «Хоумнет», «Спэйснет», «Маринет», «Нейронет», «Сейфнет», «Спортнет», «Технет», «Веарнет», в реестре которых насчитывается 3840 компаний.

В соответствии с данными с radar.leader-id [48] по направлению «Аддитивные технологии» задействованы 122 компании самыми крупными из которых (с выручкой более 100 млн руб.) являются 9 компаний:

- АО «РОББО», Санкт-Петербург;
- ООО «Пикасо 3Д», Москва;
- ООО «Брейн Девелопмент», Санкт-Петербург;
- ООО «Айтел», Москва;
- ООО «ИРС лазер Технолоджи», Свердловская область;
- ООО «Дрэгонфлай», Свердловская область;
- ООО «ВК Электроникс», Москва;
- ООО "Научно-производственный центр магнитной гидродинамики", Красноярский край;
- ООО «Смартсервис», Республика Татарстан.

Распределение по рынкам НТИ происходит следующим образом: «Аэронет» – 33 компании; «Авто-нет» – 17 компании; «Эконет» – 18 компаний; «Эдунет» – 29 компаний; «Энерджинет» – 21 компания; «Фуднет» – 5 компаний; «Геймнет» – 7 компаний; «Хелснет» – 25 компаний; «Хоумнет» – 12 компаний; «Маринет» – 14 компаний; «Нейронет» – 18 компаний; «Сейфнет» – 7 компаний; «Спэйснет» – 9 компаний; «Спортнет» – 9 компаний; «Технет» – 59 компаний; «Веарнет» – 9 компаний.

5.2. Краткое описание продуктов и услуг компаний НТИ

В таблице 10 представлены краткое описание продуктов и услуг компаний НТИ по направлению «Технет» в области аддитивных технологий. Выборка проводилась только по тем компаниям, которые имеют положительную выручку за 2023 год.

Таблица 10. Описание продуктов и услуг компаний НТИ по направлению «Технет» в области аддитивных технологий

Компания	Описание
ООО "МИП "ДИВА-ЗД"	Занимается выпуском уникальное аддитивного оборудования для производства крупных деталей из пластика.
ООО "СТАДИКЕЙС"	StudyCase – дополнительное образование детей и взрослых по теме предпринимательства, а также разработка цифровых сервисов для обучения.
ООО "НДМ"	Компания ООО «Новые дисперсные материалы» занимается разработкой промышленной технологии с целью производства мелкодисперсных металлических и неметаллических порошков с использованием плазмы. Компания создает современные уникальные материалы – элементарные и композиционные порошки металлов ультра- и наноразмера. Одно из применений разработанных порошковых материалов – это изготовление сверхпрочных изделий любой конструкции с использованием технологии лазерного спекания. Вместе с компаниями, использующими данные материалы, «Новые дисперсные материалы» бросает вызов устаревшему производству и открывает дверь в будущее материаловедения.
ООО "РЕВАЛТ"	Разработка компьютерного программного обеспечения, консультационные услуги в данной области и другие сопутствующие услуги.
ООО "КОРВИКУЛ"	Квалифицирована АНО «Платформа НТИ» как перспективная и готовая для взаимодействия с потенциальными инвесторами компания. Функциональные защитные покрытия. Компания CORVICUL помогает предприятиям машиностроения улучшить физико механические свойства изделий при помощи покрытий вольфрамом и карбидом вольфрама методом химического газозащитного осаждения.
ООО "ИНТЕГРИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ"	Разработка программного обеспечения для автоматизации предприятий, управления производственным оборудованием, а также программного обеспечения для высокоточных систем автоматизированного контроля качества геометрии деталей.
ООО "ПИКАСО ЗД"	Программно-аппаратная платформа, которая позволяет повысить скорость ремонта и изготовления тех. оснастки, мелкосерийное производство, объединение в единую «ферму», подключенную к управляющему компьютеру.
ООО "ТАКО Лайн"	Компания занимается разработкой и поставкой комплектующих для подводной робототехники. Имеется собственная линейка серийной продукции для подводных аппаратов: – движители; – манипуляторы; – грузовые захваты; – лебёдки.
ООО "ИРС ЛАЗЕР ТЕХНОЛОДЖИ"	Компания «IRS LaserTech» была основана в 2017 году. Она специализируется на разработке и широком применении технологии лазерной наплавки металла, лазерном поверхностном термоупрочнении и механической обработке. Станочный парк компании оснащён современными роботизированными наплавочными комплексами, а также шлифовальной, токарной и фрезерной группой с ЧПУ. Реновационные технологии, применяемые компанией, позволяют восстанавливать детали машин и механизмов, подверженные различным видам износа. В компании работает коллектив высококвалифицированных специалистов, которые регулярно решают нестандартные задачи, связанные с ремонтом, упрочнением и приданием поверхности новых служебных

	свойств. Благодаря опыту компании и передовым технологиям сроки простоя оборудования минимизируются, а бюджеты на ремонт эконо- мятся.
ООО "НАНОТЕХ ВГ"	ООО «Нанотех ВГ» занимается научными исследованиями и разработ- ками в сфере нанотехнологий. Компания проводит комплексные иссле- дования, связанные с изменением свойств различных материалов путём внедрения наночастиц. Основные виды деятельности предприятия: раз- работка новых композитных материалов с улучшенными физико-механи- ческими свойствами; создание материалов для защиты от радиации; производство фотокаталитических материалов.
ООО "Компания "РиМ"	Производство уникальных прыгающих электросамокатов. Электросамо- кат РИМ сочетает три компонента: алюминиевую раму для небольшого веса, рессоры из углеродного волокна, позволяющие совершать прыжки, и мощную батарею с мотором для оптимальной скорости. Эти компоненты позволяют райдеру проехать по любому покрытию и вы- брать маршрут, объезжая пробки. Небольшой вес и складной руль удобны для перевозки и хранения.
ООО "РЭМ"	Компания ООО «РЭМ» разрабатывает, проектирует и изготавливает электродвигатели различного назначения. Участвует во многих россий- ских проектах, сотрудничаем с крупными заводами-изготовителями электродвигателей и генераторов. Есть технологии изготовления еди- ничных и недорогих электродвигателей. Компания имеет опыт создания электродвигателей для БПЛА и проектирования двигателей разной мощности.
ООО "СМАРТМЕ- ТАЛ"	Комплекс автоматической сварки неповоротных стыков труб вместе с программно-аппаратным комплексом дистанционного наблюдения за процессом сварки и наплавки. Комплекс автоматической наплавки внутри замкнутых пространств для оказания услуг ремонта и восстано- вления наплавкой, в предельно сжатые сроки.
ООО "ВВСТ"	VVST – экономичные покрытия для снижения расхода графитированных электродов. Для защиты графитированных электродов нами предлага- ется высокопроизводительная (до 1 тонны электродов в час) и эконо- мичная и (стоимость покрытия ~ 10% от стоимости электродов) техноло- гия дуговой металлизации покрытий из порошковых проволок.
ООО "ФИДЕСИС"	Квалифицирована АНО «Платформа НТИ» как перспективная и готовая для взаимодействия с потенциальными инвесторами компания.
ООО "РОБОЛЁТ"	Модульная авиаплатформа РОБОЛЁТ. Роболёт – беспилотный летатель- ный аппарат вертикального взлета и посадки. Квадрокоптер с гибрид- ной или электрической силовой установкой. Основа лётного модуля - винт изменяемого шага в кольце. Взлетная масса – 320 кг, полезная нагрузка – до 150 кг. Назначение: логистика, сельское хозяйство, поиско- во-спасательные операции, мониторинг, строительно-монтажные ра- боты.
ООО "СМАРТСЕР- ВИС"	ООО «СмартСервис» – ведущее научно-производственное предприятие России, которое специализируется на разработке и создании объёмно- армированных цельнотканых преформ из угле- и стекловолокна. Эти преформы используются для производства изделий из полимерно-ком- позиционных материалов.

	Благодаря уникальному опыту, современной научно-исследовательской базе и автоматизированному ткацкому комплексу, компания «СмартСервис» может решать самые сложные задачи в таких отраслях, как автомобилестроение, судостроение, строительство и медицина. Бизнес-модель предприятия основана на сотрудничестве с клиентами, что позволяет достигать высоких результатов в совместной работе.
--	--

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Единой витрины поиска компаний, экспертов, инвестиций и мер поддержки, объединяющей сервисы НТИ «RADAR» [48], 2024

5.3. Объемы выручки от продаж продуктов и услуг компаний НТИ в рамках сегментов направления НТИ

В таблице 11 представлена выручка от продаж продуктов и услуг компаний НТИ по направлению «Технет» в области аддитивных технологий.

Таблица 11. Выручка от продаж продуктов и услуг компаний НТИ по направлению «Технет» в области аддитивных технологий

Компания	Выручка за 2022 год, млн руб.	Выручка за 2023 год, млн руб.
ООО "МИП "ДИВА-ЗД"	0,9	5,4
ООО "СТАДИКЕЙС"	0,2	2
ООО "НДМ"	51,8	73
ООО "РЕВАЛТ"	22,3	26,5
ООО "КОРВИКУЛ"	0,5	48,4
ООО "ИНТЕГРИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РЕШЕНИЯ"	19,6	49,6
ООО "ПИКАСО ЗД"	291,9	377,6
ООО "ТАКО Лайн"	0,6	1
ООО "ИРС ЛАЗЕР ТЕХНОЛОДЖИ"	195,3	326,8
ООО "НАНОТЕХ ВГ"	124,8	236,5
ООО "Компания "РиМ"	0,594	1,4
ООО "РЭМ"	27,8	27,1
ООО "СМАРТМЕТАЛ"	91	86
ООО "ВВСТ"	0,6	8,3
ООО "ФИДЕСИС"	29,1	32
ООО "РОБОЛЁТ"	97,4	82,7
ООО "СМАРТСЕРВИС"	5,2	2

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным Единой витрины поиска компаний, экспертов, инвестиций и мер поддержки, объединяющей сервисы НТИ «RADAR» [48], 2024

5.4. Количество компаний НТИ, имеющих экспортную выручку по направлению

Анализ открытых источников информации показывает, что компании не осуществляли экспорт услуг и изделий, связанных с аддитивными технологиями. Введённые санкции и ограничения добавили сложностей в возможности расширения аддитивного рынка АТ в РФ.

5.5. Объем экспортной выручки компаний НТИ

Анализ открытых источников информации показывает, что компании не осуществляли экспорт услуг и изделий, связанных с аддитивными технологиями. Тем не менее, развитие внутреннего рынка АТ дает определенные перспективы выхода на зарубежные рынки, как компаний с государственным участием (ГК «Росатом»), так и частным (3DLAM).

5.6. Количество прав РИД, зарегистрированных компаниями НТИ

По данным портала Единой витрины поиска компаний, экспертов, инвестиций и мер поддержки, объединяющей сервисы НТИ «RADAR» [48] компании, приведенные в таблице (Таблица 10), не имеют результатов интеллектуальной деятельности. Дополнительный поиск по базам Федерального института промышленной собственности [49] установил, что патентами обладает только 1 компания: ООО "ПИКАСО ЗД" (4 РИД).

- Способ калибровки стола 3D-принтера, № 2671374 от 30.10.2018;
- Способ контроля печати первого слоя на 3D принтере, № 2714332 от 14.02.2020;
- Устройство контроля печати первого слоя на 3D принтере, №2714333 от 14.02.2020;
- Способ и устройство очистки печатающей головки 3D принтера и очиститель устройства очистки печатающей головки 3D, № 2678006 от 22.01.2019.

5.7. Количество реализуемых проектов с фокусировкой на развитие аддитивных технологий по отдельному направлению НТИ

Анализ проектов проводился на основании открытых тендеров [50] на выполнение услуг и НИОКР в области аддитивных технологий за 2023 год. Всего было проведено 68 тендеров. Самые крупные из них (более 10 млн руб.) приведены далее (Таблица 12).

Таблица 12. Тендеры на выполнение НИОКР и оказание услуг по направлению аддитивных технологий

№	Заказчик	Наименование услуги и/или НИОКР	Стоимость, млн руб.
1	ФГБОУ ВО "УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ"	Поставка установки аддитивного селективного лазерного сплавления для нужд Уфимского университета	78

2	ФГБОУ ВО "МГТУ "СТАНКИН"	Поставка автоматизированного комплекса аддитивного формирования высокоточных мастер-моделей и оснастки, включающего систему фрезерования для нужд ФГБОУ ВО "МГТУ "СТАНКИН"	14,3
3	ФГБОУ ВО "МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"	Выполнение составной части опытно-конструкторской работы «Разработка материалов эскизного проекта на комплекс технических средств управления установки аддитивного производства многослойных печатных плат» Шифр «Аддитив-У»	60
4	ФГБОУ ВО "МИРЭА - РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"	Разработка корпуса установки аддитивного производства многослойных печатных плат и изготовление опытного образца установки	250
5	АО "ГОСУДАРСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО "РАДУГА" ИМЕНИ А.Я.БЕРЕЗНЯКА"	Установка селективного лазерного сплавления по проектной документации 529–1009/2019/ОКС	190
6	ФГБОУ ДПО "ИНСТИТУТ РАЗВИТИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ"	Поставка системы сплавления металла для оснащения лаборатории по компетенции «Аддитивное производство» Центра повышения квалификации кадров среднего профессионального образования в г. Калуге	109,8

Источник: ИЦ «Технет» СПбПУ по данным zakupki.gov [50], 2024

В настоящее время у организаций, входящих в санкционный список, есть возможность проводить закрытые тендеры и запросы котировок, которые невозможно отследить по открытым источникам.

Помимо данных zakupki.gov [50] дополнительно для поиска была использована база ЕГИСУ НИ-ОКТР. Существенное количество тендеров носило комплексный характер, где АТ составляли важную, но не основную часть. Так, Правительство РФ заказало Курчатовскому Институту работу «Фундаментальные исследования и разработки в области создания новых материалов, включая электронную компонентную базу, и развития аддитивных технологий».

Согласно распоряжению председателя правительства России М.В. Мишустина от 6 февраля 2023 г. № 263-р [51] в области АТ будут осуществлены в период 2023–2027 гг. следующие работы:

- адаптация существующих и создание новых металлических, полимерных, керамических и металлокерамических материалов применительно к аддитивным технологиям;
- создание полимерных композиционных и функциональных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками;
- технологии получения термопластичных суперконструкционных полимеров;

- технологии изготовления биосовместимых суперконструкционных полимеров класса полиарилэфиркетонов (ПАЭК) и композитов на их основе для изготовления изделий при помощи аддитивных технологий послойного наплавления, в том числе для медицины;
- технологии изготовления изделий из полимеркерамических и металлополимерных композиций методом аддитивных технологий послойного наплавления;
- разработка технологических режимов печати непрерывным углеродным волокном в сочетании с суперконструкционными полимерами.

Частное Учреждение «Наука и Инновации» (структура ГК «Росатом») заказало за 116 млн руб. АО «НИИ НПО «Луч» работу на тему «Разработка комплексной лабораторной технологии аддитивного производства с лазерным источником концентрированной энергии для получения заготовок изделий с управляемым уровнем свойств. Этап 2023–2024 годов» [52].

РНФ заказал за 108 млн руб. НИР «Разработка новых функциональных материалов, интеллектуальных конструкций и технологий их создания методами аддитивного производства на основе современных подходов моделирования и прогнозирования свойств»; исполнитель – Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого [53].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wohlers Report 2024 3D Printing and Additive Manufacturing Global State of the Industry.
2. Предприятие Роскосмоса освоило аддитивную технологию для создания двигателей ракет «Ангара» URL: <https://www.roscosmos.ru/38696/> (Дата обращения: 04.11.2024).
3. Быстрее, дешевле и легче: аддитивные технологии в АО «РЕШЕТНЕВ» URL: https://up-pro.ru/library/modernization/modernization_technology_upgrade/additivnye-tehnologii-v-reshetnev/ (Дата обращения: 04.11.2024).
4. Университет Решетнева провел первые огневые испытания 3D-печатного ракетного двигателя URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/universitet-resetneva-provel-pervye-ognevye-ispytaniya-3d-pecatnogo-rakelnogo-dvigatelya> (Дата обращения: 04.11.2024).
5. Развитие аддитивных технологий в ракетно-космической промышленности URL: https://metal2021.gate1.campuz.org/sites/metal2021.gate1.campuz.org/files/assets/documents/pudkov_d.v._roscosmos.pdf (Дата поиска: 05.11.2024).
6. Напечатать самолёт – 3D-печать в авиастроении URL: <https://rt-3d.ru/3d-v-aviacii-2/> (Дата обращения: 20.11.2024).
7. Проекты АО «ЦАТ» URL: <https://rt-3d.ru/proekty/> (Дата обращения: 04.11.2024).
8. Аналитический отчет по исследованию российского гражданского рынка беспилотных авиационных систем (БАС) URL: https://aeronext.aero/UserFiles/ContentFiles/2023-12-29_16-40-56_%D0%9E%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82_%D0%A0%D1%8B%D0%BD%D0%BE%D0%BA%20%D0%91%D0%90%D0%A1_2023_8.pdf (Дата обращения: 04.11.2024).
9. Росатом собирается испытать 3D-печатную деталь в ядерном реакторе URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/rosatom-sobiraetsya-ispytat-3d-pecatnuyu-detal-v-yadernom-reaktore> (Дата обращения: 04.11.2024).
10. В НОЦ «ТулаТЕХ» обсудили последние достижения аддитивных технологий в атомной энергетике URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/v-noc-tulatex-obsudili-poslednie-dostizeniya-additivnyx-tehnologii-v-atomnoi-energetike> (Дата обращения: 04.11.2024).
11. Росатом успешно испытал инновационное ядерное топливо ТВС-2М с антидебризным фильтром нового поколения URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/09/14/138730> (Дата обращения: 04.11.2024).
12. Портал о строительной печати 3Dpulse.ru Источник: <https://www.3dpulse.ru/about/> URL: <https://www.3dpulse.ru/> (Дата обращения: 04.11.2024).
13. В Росатоме на 3D-принтере впервые напечатана деталь для ядерного объекта URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/v-rosatome-na-3d-printere-vpervye-napecatana-detal-dlya-yadernogo-obekta> (Дата обращения: 04.11.2024).
14. Попов В.В., Муллер-Камский Г.В., Степанов С.И., Логинов Ю.Н., Кудрявцева Е.В. Аддитивные технологии в медицине: учебное пособие. Аддитивные технологии в медицине/Accepted: 2023-07-25T06:23:28Z. – б. и., 2023.
15. Сайт компании Pozvonoq URL: <https://pozvonoq.com/> (Дата обращения: 20.11.2024).
16. Производство без тормозов: всё о 3D-печати металлом в автопроме URL: <https://blog.iqb.ru/3d-metal-printing-automotive/> (Дата обращения: 04.11.2024).
17. ПАО «КАМАЗ» запустило в эксплуатацию 3D-принтер для печати литейной оснастки URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/pao-kamaz-zapustilo-v-ekspluatatsiyu-3d-printer-dlya->

pecati-liteinoi-osnastki (Дата обращения: 04.11.2024).

18. Применение 3D-технологий в нефтегазовой промышленности URL: <https://dprom.online/oilngas/primenenie-3d-tehnologij-v-neftegazovoj-promyshlennosti/> (Дата обращения: 25.11.2024).
19. Центры 3D-печати СИБУРа изготовили более 22 тыс. деталей для промышленного оборудования URL: <https://www.sibur.ru/ru/press-center/news-and-press/tsentry-3d-pechat-sibura-izgotovili-bolee-22-tys-detaley-dlya-promyshlennogo-oborudovaniya/> (Дата обращения: 04.11.2024).
20. «Газпром нефть» запустила 3D-печать для оборудования нефтепромыслов URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-zapustila-3d-pechat-dlya-oborudovaniya-neftepromyslov/> (Дата обращения: 04.11.2024).
21. Инновации в деталях URL: https://ufaprojects.kommersant.ru/innovacii_v_detalyah (Дата обращения: 04.11.2024).
22. World Bank Open Data | Data. - URL: <https://data.worldbank.org/> (Дата обращения: 04.11.2024).
23. Сайт компании desktopmetal URL: <https://www.desktopmetal.com> (Дата обращения: 04.11.2024).
24. Your Partner in Selective Laser Melting | SLM Solutions. - URL: <https://www.slm-solutions.com/> (Дата обращения: 04.11.2024).
25. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 г. № 1913-р URL: <http://government.ru/docs/all/135700/> (Дата обращения: 04.11.2024).
26. Сайт компании SLM-Solutions URL: <https://slm-solutions.com/> (Дата обращения: 04.11.2024).
27. Nikon SLM Solution sells 900th metal 3D printer with Safran installing NXG XII 600 machine URL: <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/metal-additive-manufacturing-news/nikon-slm-solution-sells-900th-metal-3d-printer-safran-nxg-xii-600/> (Дата обращения: 04.11.2024).
28. GKN Aerospace orders two NXG XII 600 3D printers from Nikon SLM Solutions URL: <https://www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/metal-additive-manufacturing-news/gkn-aerospace-orders-two-nxg-xii-600-3d-printers-nikon-slm/> (Дата обращения: 04.11.2024).
29. Nikon Establishes New Company in the United States to Transform the Future of Digital Manufacturing URL: https://www.nikon.com/company/news/2023/0426_01.html (Дата обращения: 04.11.2024).
30. <https://ampower.eu/reports/> URL: <https://ampower.eu/reports/> (Дата обращения: 04.11.2024).
31. 3D Systems Reports Fourth Quarter and Full Year 2023 Financial Results URL: <https://www.3dsystems.com/press-releases/3d-systems-reports-fourth-quarter-and-full-year-2023-financial-results-unaudited> (Дата обращения: 04.11.2024).
32. BWT Alpine F1 Team purchases four 3D Systems SLA 750 3D printers to optimize wind tunnel testing URL: <https://3dprintingindustry.com/news/bwt-alpine-f1-team-purchases-four-3d-systems-sla-750-3d-printers-to-optimize-wind-tunnel-testing-221001/> (Дата обращения: 04.11.2024).
33. EOS M 300-4 URL: <https://www.eos.info/metal-solutions/metal-printers/eos-m-300-4> (Дата обращения: 04.11.2024).

34. EOS to Launch High-Strength Aluminum Alloy URL: <https://metalswire.net/news-of-the-week/eos-to-launch-high-strength-aluminum-alloy/> (Дата обращения: 25.11.2024).
35. Desktop Metal Announces Fourth Quarter and Full Year 2023 Financial Results URL: <https://ir.desktopmetal.com/news/press-releases/detail/179/desktop-metal-announces-fourth-quarter-and-full-year-2023> (Дата обращения: 04.11.2024).
36. Сайт компании BLT URL: <https://www.xa-blt.com/en/> (Дата обращения: 04.11.2024).
37. BLT sees revenue increase to \$170 million in 2023 URL: <https://www.metal-am.com/blt-sees-revenue-increase-to-170-million-in-2023/> (Дата обращения: 20.11.2024).
38. Сайт компании Farsoon URL: <https://www.farsoon.com/> (Дата обращения: 04.11.2024).
39. 3D Printing Financials: Unpacking Farsoon and BLT's 2023 Performance URL: <https://3dprint.com/308414/3d-printing-financials-unpacking-farsoon-and-blts-2023-performance/> (Дата обращения: 04.11.2024).
40. «Лазерные системы» тянутся к космосу URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6283639> (Дата обращения: 04.11.2024).
41. Состоялась официальное открытие Московского цифрового завода URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/sostoyalas-oficialnoe-otkrytie-moskovskogo-cifrovogo-zavoda> (Дата обращения: 04.11.2024).
42. Пост-релиз официального открытия Московского Цифрового Завода URL: <https://industry3d.ru/at-news/post-reliz-oficialnogo-otkrytiya-moskovskogo-cifrovogo-zavoda/> (Дата обращения: 04.11.2024).
43. «Росатом» открыл третий центр аддитивных технологий URL: <https://strana-rosatom.ru/2023/02/03/rosatom-otkryl-tretij-centr-additi/> (Дата обращения: 04.11.2024).
44. Научная электронная библиотека Elibrary URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp?> (Дата обращения: 20.11.2024).
45. Академия Google URL: <https://scholar.google.com/> (Дата обращения: 20.11.2024).
46. Orbit Intelligence URL: <https://www.orbit.com/> (Дата обращения: 20.11.2024).
47. АНО «Платформа НТИ» URL: <https://platform.nti.work/> (Дата обращения: 20.11.2024).
48. Единая витрина для поиска технологических компаний, инвесторов, корпораций, мер поддержки, экспертов, мероприятий и инвестиционных сделок URL: <https://radar.leader-id.ru/companies?query=%D0%B0%D0%B4%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5+%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D0%B8&skip=250&limit=10/> (Дата обращения: 25.11.2024).
49. Федеральный институт промышленной собственности URL: <https://www.fips.ru/> (Дата обращения: 25.11.2024).
50. ЕИС Закупки URL: <https://zakupki.gov.ru/> (Дата обращения: 25.11.2024).
51. Постановление правительства № 263-п от 06.02.2023 URL: <http://static.government.ru/media/files/7MLzSX1hQbAajQhRuqNzSZAY21vMGtIE.pdf> (Дата обращения: 25.11.2024).
52. Домен «Наука и инновации» URL: <https://gisnauka.ru/> (Дата обращения: 20.11.2024).
53. Информационно-аналитическая система РНФ URL: <https://ias.rscf.ru/> (Дата обращения: 20.11.2024).

НАШИ ИЗДАНИЯ



Функциональные характеристики отечественных систем автоматизированного проектирования (CAD-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 214 с.



Функциональные характеристики отечественных систем инженерного анализа (CAE-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 228 с.



Функциональные характеристики отечественных систем управления оборудованием с числовым программным управлением (CAM-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 188 с.





Функциональные характеристики отечественных систем управления жизненным циклом изделия (PLM-систем). Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на март 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 174 с.



Направления и формы сотрудничества отечественных разработчиков индустриального программного обеспечения с системой образования. Экспертно-аналитический доклад (по состоянию на апрель 2024 года): монография / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.] – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 132 с.



Тренды и сценарии развития рынка авиационных двигателей, включая двигатели беспилотных летательных аппаратов, в 2023 году. Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 204 с.

Авторы: А. И. Боровков, Е. Р. Мартынец, Л. А. Щербина, Н. И. Прытков, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин





Тренды и сценарии развития рынков решений в области цифровой трансформации промышленных компаний в рамках направления «Технет» НТИ в 2023 году.

Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков [и др.] ; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 116 с.

Авторы: А. И. Боровков, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Н. И. Прытков, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин



Тренды и сценарии развития рынков, относящихся к «цифровой фабрике», по направлению «Технет» НТИ в условиях новой экономической реальности. Экспертно-аналитический доклад: монография / А. И. Боровков [и др.]; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. – 108 с.

Авторы: А. И. Боровков, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Н. И. Прытков, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин



Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: монография / под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. – 492 с.

Авторы: А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина, Е. Р. Мартынец, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, К. В. Кукушкин, А. А. Гамзикова





Цифровые двойники: вопросы терминологии /
А. И. Боровков [и др.]. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021.
– 28 с.

Авторы: А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин,
Ю. А. Рябов



Передовые производственные технологии: возможности для России. Экспертно-аналитический доклад:
монография / А. И. Боровков [и др.]; под ред. А. И. Боровкова. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 436 с.

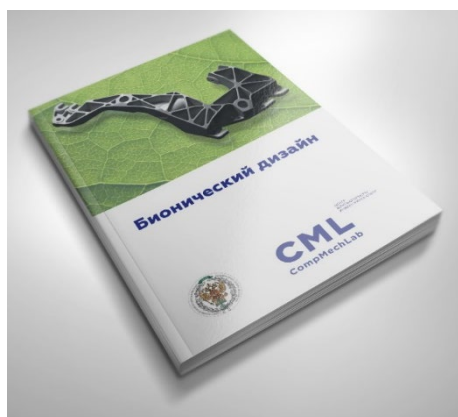
Авторы: А. И. Боровков, К. В. Кукушкин, А. А. Корчевская, А. Т. Хуторцова, Л. А. Щербина, Ю. А. Рябов, С. В. Салкуцан, Е. О. Касяненко, И. С. Метревели, К. О. Вишневский, Ю. В. Туровец, М. С. Липецкая, Д. В. Санатов, Н. С. Андреева, Е. А. Римских, В. А. Пас-тухов, Н. В. Гоголь, М. А. Королькова



Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. Краткий доклад (сентябрь 2019 года) /
А. И. Боровков [и др.]. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019.
– 62 с.

Авторы: А. И. Боровков, А. А. Гамзикова, К. В. Кукушкин,
Ю. А. Рябов





Бионический дизайн: монография / А.И. Боровков [и др.]. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 92 с.

Авторы: А. И. Боровков, В. М. Марусева, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина



Современное инженерное образование: / А. И. Боровков [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 80 с.

Авторы: А. И. Боровков, С. Ф. Бурдаков, О. И. Клявин, М. П. Мельникова, В. А. Пальмов, Е. Н. Силина



Компьютерный инжиниринг: / А. И. Боровков [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с.

Авторы: А. И. Боровков, С. Ф. Бурдаков, О. И. Клявин, М. П. Мельникова, А. А. Михайлов, А. С. Немов, В. А. Пальмов, Е. Н. Силина



ОБ ИНФРАСТРУКТУРНОМ ЦЕНТРЕ НТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ТЕХНЕТ» СПБПУ

Инфраструктурный центр НТИ по направлению «Технет» СПбПУ (далее – Инфраструктурный центр «Технет» СПбПУ) создан в ноябре 2022 года по итогам конкурсного отбора инфраструктурных центров направлений Национальной технологической инициативы (НТИ).

Деятельность Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ направлена на поддержку проектов, популяризацию технологий, разработку нормативных правовых актов, а также проведение аналитических исследований, в том числе в области цифровой трансформации промышленных компаний.

Программа Инфраструктурного центра «Технет» СПбПУ реализуется с целью формирования и развития институциональной среды, обеспечивающей устойчивое формирование комплекса ключевых компетенций, обеспечивающих интеграцию отечественных передовых производственных технологий (ППТ) и бизнес-моделей для их распространения в качестве «Фабрик Будущего» первого и последующего поколений и нацеленных на создание глобально конкурентоспособной кастомизированной / персонализированной продукции нового поколения для рынков НТИ и высокотехнологичных отраслей промышленности в контексте национальных стратегических приоритетов импортонезависимости и технологического суверенитета РФ.

Достижению поставленной цели способствует выполнение следующих задач:

1. Поэтапное совершенствование нормативной правовой базы в целях устранения барьеров для использования передовых технологических решений и создания системы стимулов для их внедрения.
2. Развитие системы профессиональных сообществ и популяризация Национальной технологической инициативы.
3. Организационно–техническая и экспертно–аналитическая поддержка, информационное обеспечение Национальной технологической инициативы.
4. Создание механизмов акселерации компаний Национальной технологической инициативы и механизмов экспортного продвижения создаваемых продуктов.

