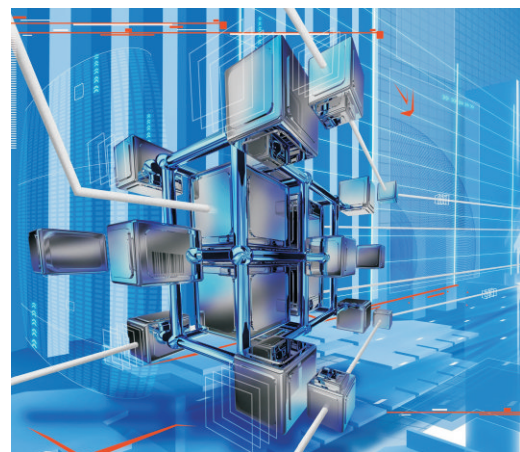
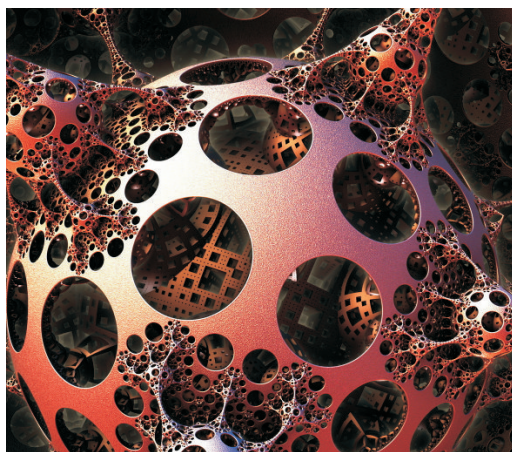


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

С. В. НОВИКОВ, К. Н. РАМАЗАНОВ

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ



Уфа 2022

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

С. В. НОВИКОВ, К. Н. РАМАЗАНОВ

## **АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

*Допущено Редакционно-издательским советом УГАТУ  
в качестве учебного пособия для студентов очной и заочной форм  
обучения, обучающихся по направлению подготовки  
магистратуры 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительного производства*

Учебное электронное издание сетевого доступа

© УГАТУ  
ISBN 978-5-4221-1577-8

Уфа 2022

*Рецензенты:*

*зав. кафедрой ТМО УГНТУ д-р техн. наук И. Р. Кузеев;*

*зав. кафедрой информационных технологий СамГТУ*

*д-р техн. наук А. Е. Колоденкова*

**Новиков С. В., Рамазанов К. Н.**

Аддитивные технологии: состояние и перспективы : учебное пособие [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2022. – URL: [https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El\\_izd/2022-41.pdf](https://www.ugatu.su/media/uploads/MainSite/Ob%20universitete/Izdateli/El_izd/2022-41.pdf)

Содержит дидактический материал для вводного курса по дисциплине «Аддитивные технологии в машиностроении». Текст пособия подготовлен по материалам исследований и официальных документов, содержащихся в обширной базе источников, составленной на основе интернет-ресурсов за период с 2010 г.

Предназначено для преподавателей, бакалавров, магистрантов машиностроительных вузов.

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Авторы: *Новиков Сергей Владимирович*  
*Рамазанов Камиль Нуруллаевич*

Редактирование и верстка *О. А. Соколова*  
Программирование и компьютерный дизайн *О. М. Толкачёва*

*Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.*

Подписано к использованию: 18.03.2022

Объем: 11,50 Мб.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»  
450008, Уфа, ул. К. Маркса, 12.  
Тел.: +7-908-35-05-007  
e-mail: rik@ugatu.su



## ВВЕДЕНИЕ

Современная экономика характеризуется высокой межстрановой конкуренцией, сменой факторов экономического роста, экономических моделей и внедрением инновационных технологий, к которым по праву относятся и аддитивные технологии, или так называемая трехмерная печать.

Трехмерная печать, появившись в 1980-е гг., прошла за это короткое время колоссальный эволюционный путь, разделившись на два основных направления – быстрое создание моделей и аддитивное производство. Отцом техники аддитивной печати считают Ч. Халла – человека, сконструировавшего первый стереолитографический 3D-принтер, работающий на SLA-технологии. Вскоре другой инженер С. Крамп смог спроектировать и создать FDM-принтер. Несмотря на то, что данные технологии печати несколько отличаются друг от друга, их объединяет один принцип – послойное выращивание трехмерной модели. К концу 90-х гг. обе технологии начали применяться в промышленности. Чуть позже 3D-технология была внедрена двумя студентами Массачусетского института в настольные принтеры, и сегодня аддитивные технологии, технологии 3D-моделирования широко используют не только в производстве, но и в быту.

Аддитивные технологии производства (далее – АТ) позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. Такой процесс создания объекта также называют «выращиванием» из-за постепенности изготовления. Если при традиционном производстве вначале мы имеем заготовку, от которой отсекаем все лишнее либо деформируем ее, то в случае с АТ из ничего (а точнее, из аморфного расходного материала) выстраивается новое изделие. В зависимости от технологии объект может строиться снизу-вверх или, наоборот, получать различные свойства.

В настоящее время технологии цифрового производства применяются в строительстве, архитектуре, медицине, космонавтике, машиностроении и других сферах деятельности. Так, например, АТ в машиностроении позволяют создавать качественные прототипы моделей, помогающих изучить все характеристики будущего изделия или агрегата. При создании прототипов чаще всего применяется стереолитографический метод АТ-печати, при котором слои жидкого

полимера отвердевают благодаря использованию лазера. Методика позволяет получать прототипы сложнейших объектов с множеством мелких элементов, в том числе нестандартной формы.

Применение АТ решает такие задачи цифровых производств как модернизация и автоматизация действующих и проектирование новых эффективных машиностроительных производств различного назначения, средств и систем их оснащения, а также производственных и технологических процессов с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства.

# ГЛАВА 1. КОНКУРЕНТНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. РЫНКИ АДДИТИВНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

## 1.1. Конкурентные преимущества АТ

Детали в рамках АТ изготавливаются непосредственно по компьютерному файлу, содержащему виртуально нарезанную на тонкие слои 3D-модель и передающемуся в систему аддитивного производства для послойного формирования конечного изделия. АП-технологии обеспечивают гибкость, позволяющую быстрое производство сложной кастомизированной продукции и запасных частей, которые либо не могут быть изготовлены с помощью традиционных производственных технологий, либо требуются в малых объемах. Сложная конфигурация (например, наличие в детали внутренних каналов охлаждения), которую нельзя получить станочной обработкой, может быть легко воспроизведена селективным нанесением материала.

К преимуществам цифровых моделей относится не только произвольность формы, но и возможность их моментальной передачи в любую точку мира, что позволяет организовать локальное производство в мировых масштабах. Еще одной важной особенностью технологий аддитивного производства является близость получаемой формы изделия к заданной, что существенно сокращает расходы материала и отходы производства.

Совместное исследование European Aeronautic Defense and Space Company (Бристоль, Великобритания) и EOS Innovation Center (Уорвик, Великобритания) показало, что экономия сырья при аддитивном производстве может достигать 75 %. Благодаря всем этим качествам аддитивное производство, в сравнении с традиционными производственными технологиями, обладает значительным потенциалом в том, что касается сокращения затрат, энергосбережения и снижения вредных выбросов в атмосферу. К наиболее важным преимуществам АТ относятся:

– **улучшенные свойства готовой продукции.** Благодаря послойному построению изделия обладают уникальным набором свойств. Например, детали, созданные на металлическом 3D-принтере, по своему механическому поведению, плотности,

остаточному напряжению и другим свойствам превосходят аналоги, полученные с помощью литья или механической обработки;

– **значительная экономия сырья.** АТ используют практически то количество материала, которое нужно для производства вашего изделия. Тогда как при традиционных способах изготовления потери сырья могут составлять до 80–85 %;

– **возможность изготовления изделий со сложной геометрией.** Оборудование для АТ позволяет производить предметы, которые невозможно получить другим способом. Например, деталь внутри детали. Или очень сложные системы охлаждения на основе сетчатых конструкций (этого не получить ни литьем, ни штамповкой);

– **мобильность производства и ускорение обмена данными.** Больше никаких чертежей, замеров и громоздких образцов. В основе АТ лежит компьютерная модель будущего изделия, которую можно передать в считанные минуты на другой конец мира и сразу начать производство. Индустриальные эффекты от внедрения АТ представлены на рис. 1.

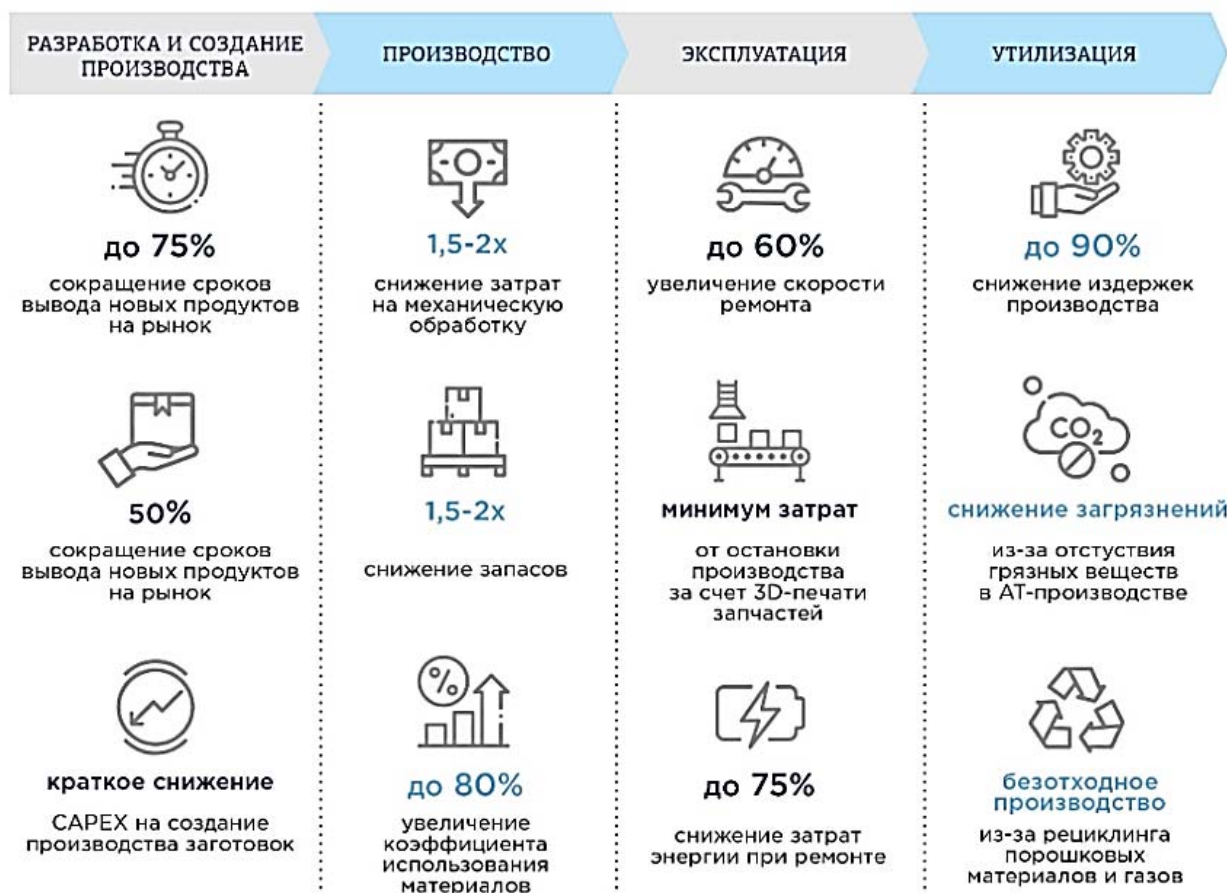


Рис. 1. Индустриальные эффекты от внедрения аддитивных технологий



Уникальные возможности аддитивного производства обеспечивают следующие преимущества:

- сокращение сроков и стоимости запуска изделия в производство благодаря отсутствию необходимости в специализированной инструментальной оснастке;
- возможность и экономическая целесообразность мелкосерийного и кастомизированного производства;
- возможность внесения оперативных изменений в проект на этапе производства; персонализация дизайна;
- сокращение потерь и отходов производства;
- возможности для упрощения логистики, сокращения времени поставок, уменьшения объемов складских запасов.

## 1.2. Рынки аддитивных технологий

Основные технологические рынки АТ можно разделить на следующие категории:

- **традиционные рынки** – сформировавшиеся и технологически зрелые рынки;
- **новые рынки** – новые сегменты традиционных рынков, проходящие стадии активного роста, формирования собственной структуры и, как следствие, постепенного выделения в качестве самостоятельных рынков;
- **формирующиеся рынки будущего** – технологии и решения, не сформированные в качестве отдельных рынков, но потенциально способные в перспективе обеспечить значительный объем потребления.

К перспективным традиционным рынкам применения, выделяемым в производственном процессе, относятся оснастка, формы и модели для литья, прототипирование, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, изготовление экспериментальных образцов.

К новым рынкам, выделяемым в производственном процессе, относится изготовление серийного производства полнофункциональных аналогов деталей и промышленной продукции, а также производство промышленной продукции с характеристиками, реализация которых традиционными методами производства весьма затруднительна.

К формирующимся рынкам будущего относятся 3D-печать зданий и электронных комплектующих, 3D-биопечать органов, лекарств и пищевых продуктов, автономное производство в космосе, изготовление серийного производства крупногабаритных полнофункциональных аналогов деталей и промышленной продукции.

Мировой рынок АТ с 2014 по 2020 гг. рос со среднегодовыми темпами в 19,3 %, достигнув к 2020 г. объема почти в 12 млрд дол. Согласно отчету Global Data, в настоящее время на долю рынка 3D-печати приходится менее 0,1 % от общего мирового производственного рынка, который оценивается в 12,7 трлн дол. (рис. 2).

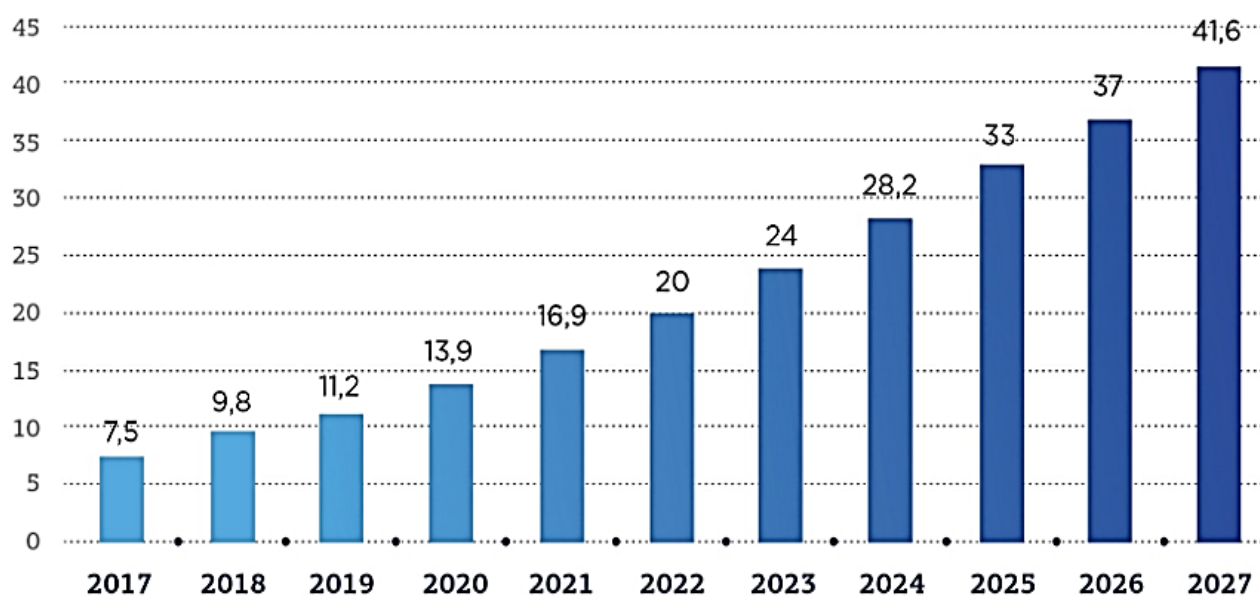


Рис. 2. Состояние и прогноз объема мирового рынка АТ, млрд дол.  
Источник: Exponential technologies in manufacturing

Рынок АТ складывается из сегментов оборудования, материалов, услуг и программного обеспечения:

- оборудование для 3D-печати – серийное изготовление станков и комплектующих;
- материалы для 3D-печати – универсальные порошки, в том числе для ответственных изделий;
- программное обеспечение для 3D-печати – единая цифровая платформа для разработки и производства;
- услуги 3D-печати – комплексное предложение по аутсорсингу изделий.

Основной оборот отрасли дают услуги с быстро растущими сегментами продажи материалов и оборудования. По прогнозам мировых экспертов, мировой рынок АТ к 2027 г. достигнет показателя в 41,6 млрд дол., высокий спрос будут иметь именно услуги 3D-печати (рис. 3).

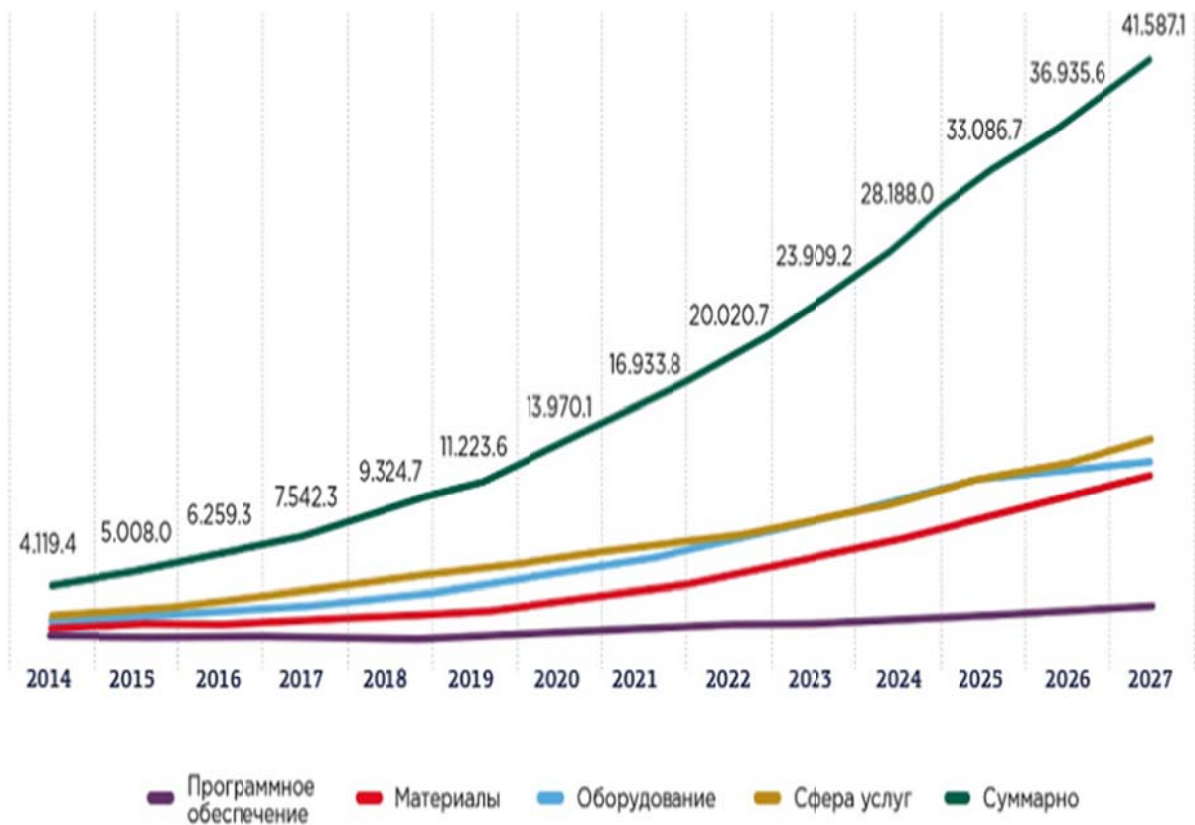


Рис. 3. Динамика и прогноз общего объема рынка аддитивных технологий (по областям применения), млрд дол. Источник: Smar Tech Publishing

К 2020 г. объем мирового рынка 3D-печати достиг почти 12 млрд дол. По прогнозам Global Data к 2025 г. глобальный рынок аддитивных технологий составит 32 млрд дол., а к 2030 г. – 60 млрд дол. Frost & Sullivan прогнозирует рост рынка до 21,5 млрд дол. к 2025 г. Ежегодные темпы роста мирового рынка аддитивных технологий составляют 15 %. По мнению аналитиков, к тому времени до 51 % рынка будет приходиться на авиационную промышленность, сферу здравоохранения и автомобилестроение. Отрасли, в которых в 2025 г. будет наиболее заметно использование технологий АП, указаны на рис. 4.

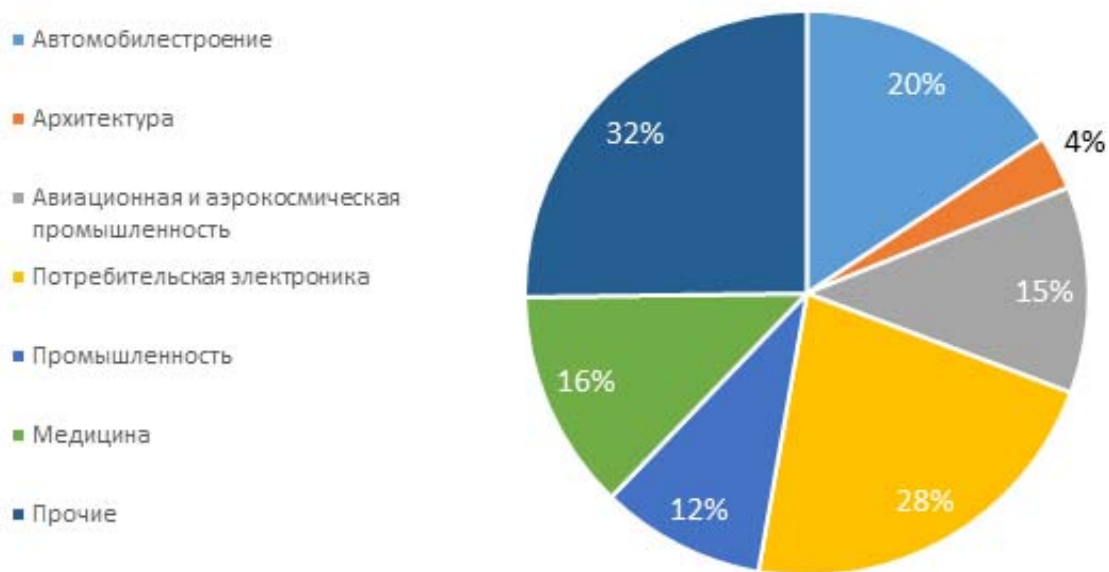


Рис. 4. Отраслевые рынки АТ. Сегмент «Прочие» включает энергетическую и пищевую промышленность, строительную отрасль и др.

Источник: Frost & Sullivan

В странах Северной Америки технологии 3D-печати активно внедряются в аэрокосмической, оборонной и автомобильной отраслях. В последние годы резко увеличилось количество стартап-проектов как в этих, так и других сферах.

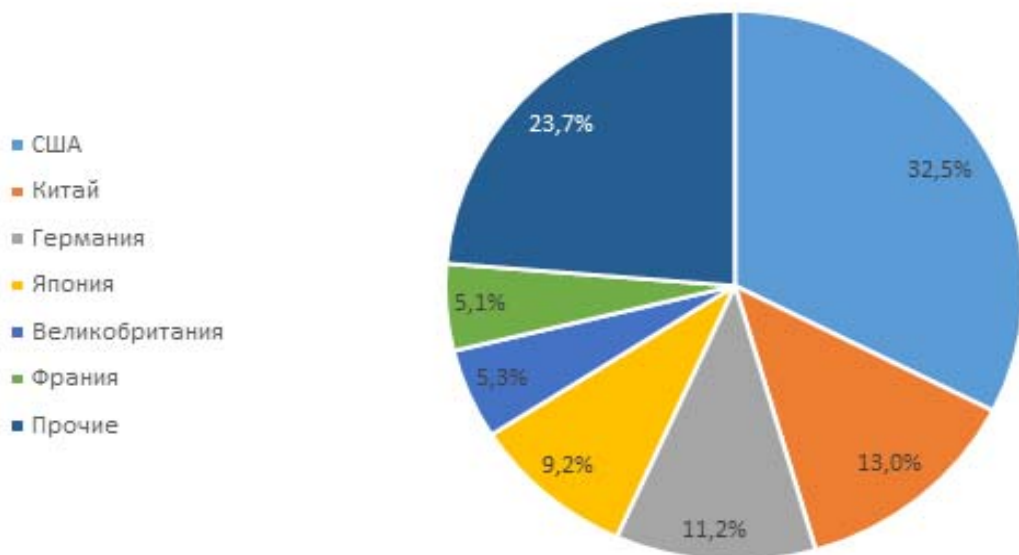


Рис. 5. Мировые рынки АТ. Сегмент «Прочие» включает Индию, страны Латинской Америки, Россию, Австралию, Швецию, Италию, Бельгию, Испанию и Нидерланды. Источник: Frost & Sullivan



Внедрение АТ в Европе и на Ближнем Востоке происходит медленнее, чем в странах Северной Америки. Основной фокус здесь делается на использование 3D-печати на основе лазерных технологий в судостроительной отрасли промышленности. В то же время в последние годы отмечается рост инвестиций в технологии 3D-печати со стороны автомобилестроительных компаний.

Китай широко применяет 3D-печать в массовом производстве компонентов для аэрокосмической промышленности. Прогнозируемое снижение стоимости производства позволит стране в ближайшие годы нарастить объемы выпускаемой продукции.

В настоящее время прогнозируется активный рост мировых разработок и внедрения АТ в авиакосмической и оборонной отраслях, электронике и автомобильной промышленности (рис. 6).

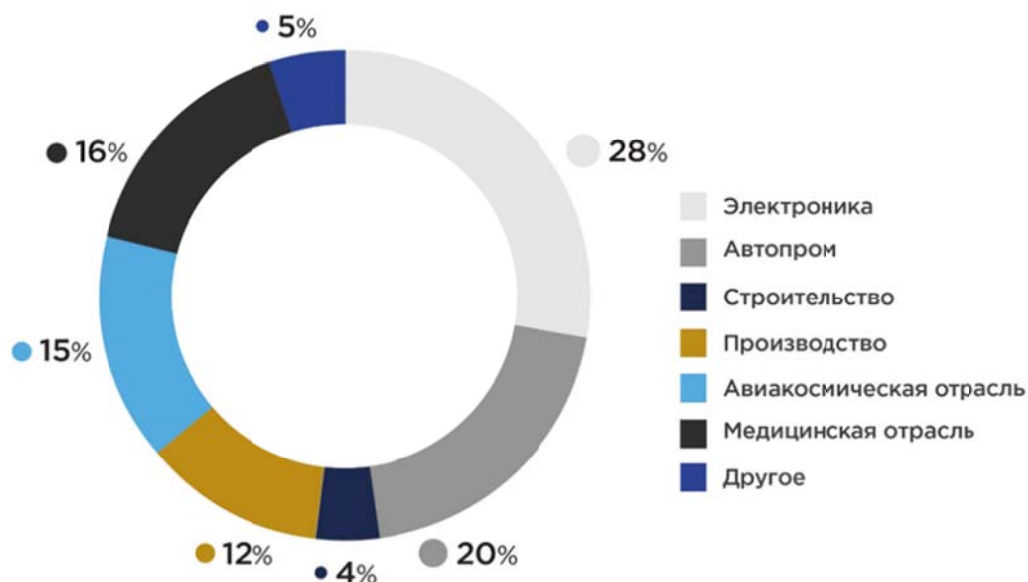


Рис. 6. Уровень внедрения 3D-печати по отраслям к 2025 г.  
Источник: Global Additive Manufacturing Market, Forecast to 2025

Прогнозируется также, что самыми крупными областями применения АТ будут аэрокосмическая и оборонная промышленность. Следом активно будет развиваться аддитивное производство в сфере автомобильной промышленности, а также в стоматологии и производстве медицинских имплантатов. Вкупе указанные отрасли будут занимать более 50 % рынка (рис. 7).

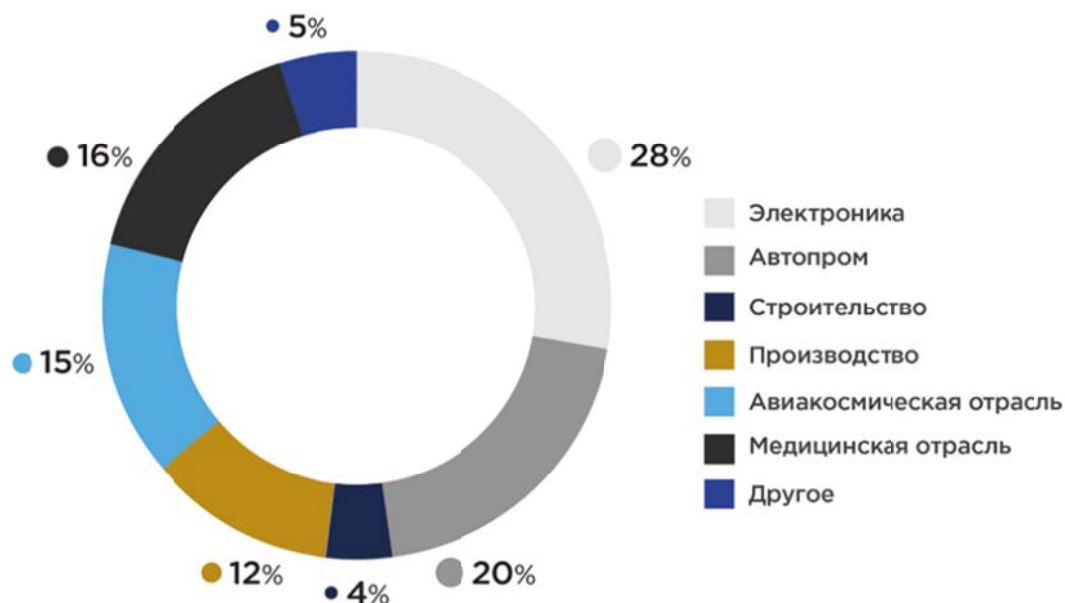


Рис. 7. Прогноз отраслевой сегментации рынка аддитивных технологий (доля сегмента к 2025 г., процент от выручки от продаж на мировом рынке аддитивных услуг). Источник: Global Additive Manufacturing Market, Forecast to 2025

Крупнейшие игроки рынка, а значит, и основные мощности, сосредоточены в Северной Америке и Европе, однако самые высокие темпы ежегодного прироста в последние годы показывал Азиатско-Тихоокеанский регион. Европа лидирует в области аддитивного производства металлических объектов, а Америка опережает остальной мир в аддитивном производстве полимерных объектов.

Конкуренция на рынке 3D-печати растет с каждым годом, особенно с приходом на него китайских компаний. Тем не менее, прежние игроки рынка продолжают удерживать свои позиции. Основными мировыми производителями аддитивных технологий являются:

- EOS (Германия);
- SLM Solutions (Германия);
- Stratasys (США);
- EnvisionTEC (США-Германия);
- ExOne (США);
- Voxeljet (Германия)
- Arcam (Швеция).

Структура отрасли АД в мире представлена на рис. 8.

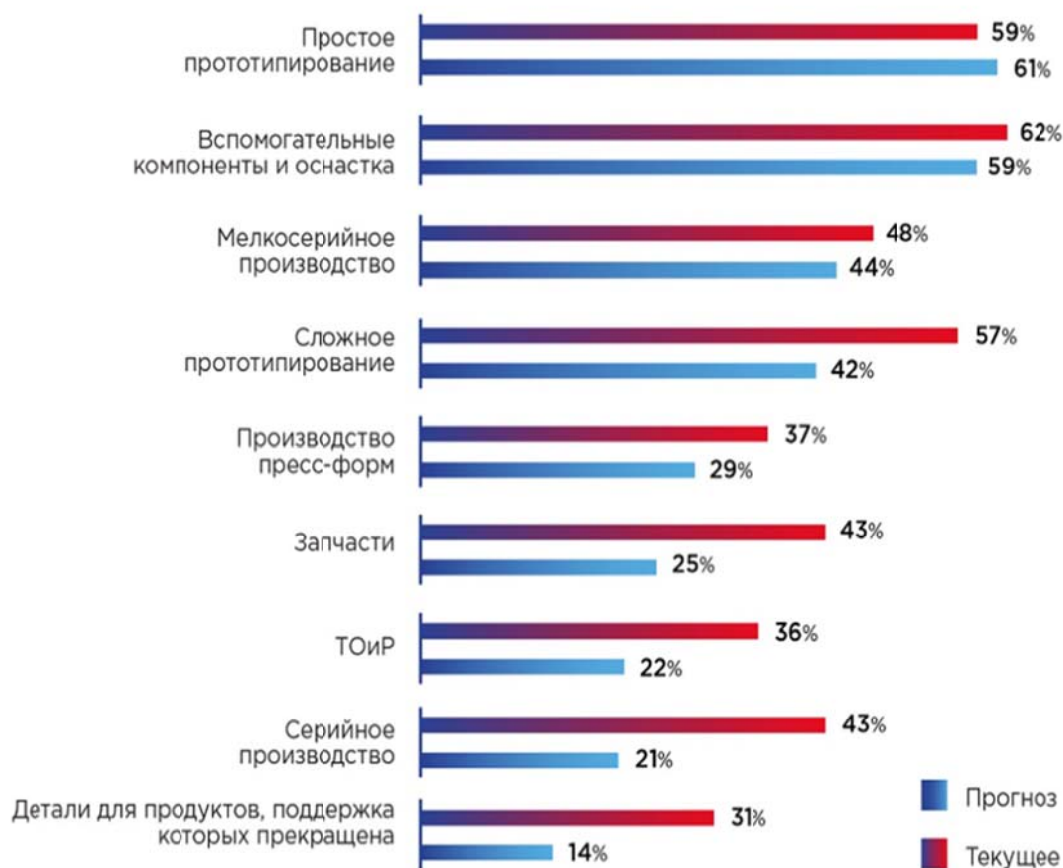


Рис. 8. Структура отрасли АТ. Текущее применение / ожидаемое в будущем применение. Источник: опрос Dimensional Research 3D Systems (США)

Лидерами на рынке 3D-принетров с доходом более 1 млрд дол. по состоянию на 2019 г. стали три компании: Carbon (1,7 млрд дол.), Desktop Metal (1,5 млрд дол.) и Formlabs (1,06 млрд дол.), которые разработали и коммерциализировали собственные технологии 3D-печати.

## ГЛАВА 2. АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### 2.1. Технологический процесс.

#### Особенности методов, материалы, оборудование

Аддитивные технологии как одно из направлений цифрового производства являются мощнейшим инструментом ускорения НИОКР и вывода новой продукции на рынок. Как процесс объединения материала с целью создания объекта из данных 3D-модели, в частности, с помощью 3D-принтера данные технологии позволяют быстро конструировать и воспроизводить объекты с высокой трудоемкостью создания в условиях обычного традиционного производства (от мельчайших деталей, например, в аэрокосмической отрасли и медицине, до крупных промышленных конструкций).

По существу, 3D-печать – это полная противоположность стандартным методам производства и обработки, таким как фрезерование и точение, где обработка осуществляется путем удаления лишней части заготовки (рис. 9).

#### Традиционное производство



#### Аддитивное производство



Рис. 9. Сравнение традиционного и аддитивного производств

Под аддитивным производством понимают процесс выращивания изделий на 3D-принтере по САD-модели. Этот процесс считается инновационным и противопоставляется традиционным способам промышленного производства. Различия в традиционном



и аддитивном производстве представлены на следующей схеме (рис. 10).

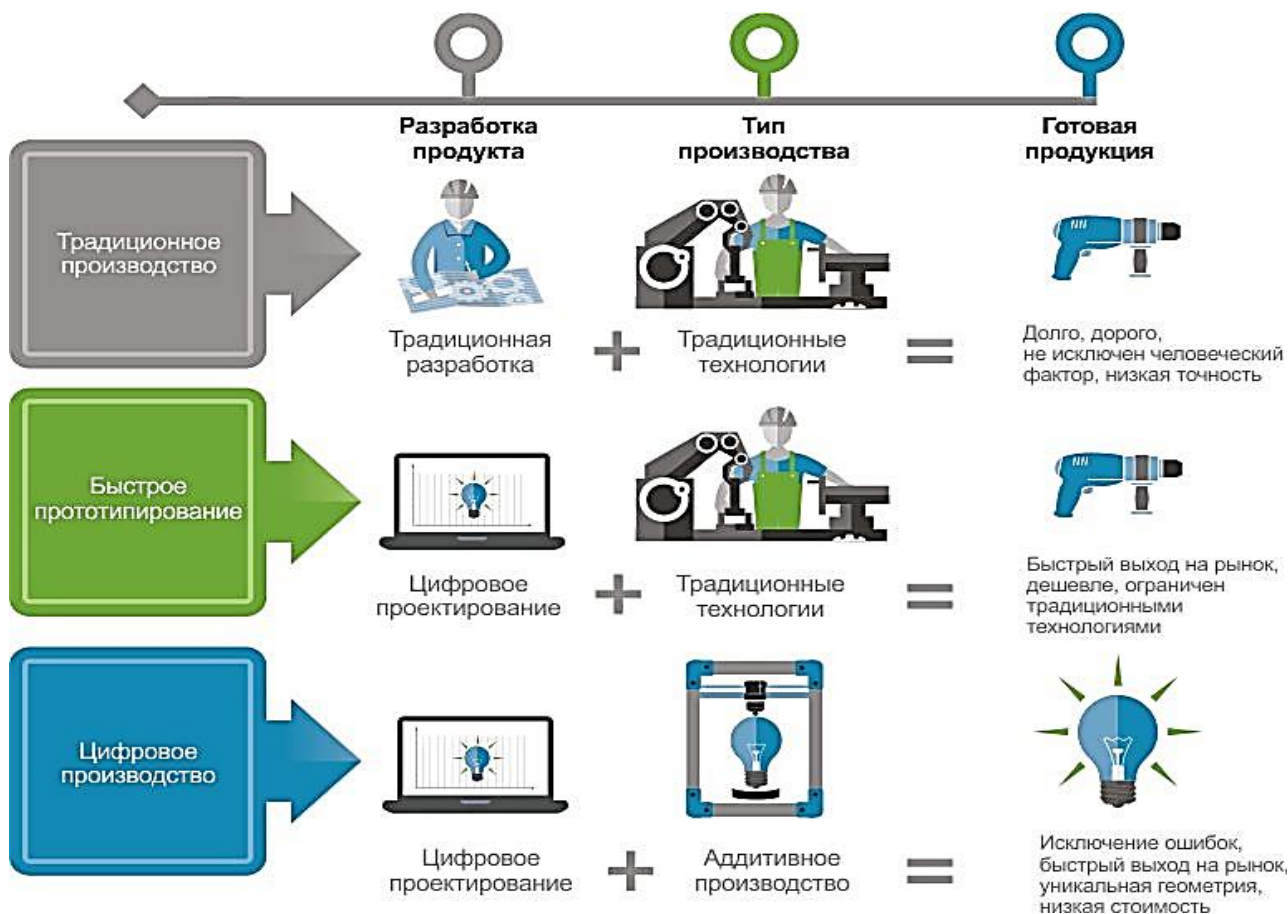


Рис. 10. Сравнительная схема традиционного и аддитивного производства

Первая классификация аддитивных технологических методов производства деталей была приведена в стандарте ASTM F2792.1549323-1 (США), за последние двадцать лет в связи с бурным развитием технологического оборудования она значительно устарела. В 2015 г. приказом Росстандарта создан технический комитет «Аддитивные технологии» для разработки терминов, определений и стандартов, относящихся к ним.

Разработка классификации АТ с учетом разнообразия применяемых методов, материалов и оборудования является достаточно сложной задачей. В международном сообществе так же, как и в России устоявшаяся классификация АТ пока не принята.

*По принципу формирования детали (нанесения слоя) следует выделить два направления развития АТ.*

*Первое направление – формирование деталей путем объединения материала, распределенного на рабочей поверхности*

платформы технологического оборудования (Bed deposition) (рис. 11). После окончания процесса изготовления остается некоторый объем материала, который может использоваться для формирования следующей детали. Процессы объединения материала, распределенного на платформе, заложены в основу различных видов технологического оборудования для производства деталей методами аддитивных технологий:

- SLA – Stereolithography Apparatus;
- SLM – Selective Laser Melting;
- DMLS – Direct Metal Laser Sintering;
- EBM – Electron Beam Melting;
- SHS – Selective Heat Sintering;
- MIM – Metal Injection Molding;
- Ink-Jet или Binder Jetting;
- UAM – Ultrasonic Additive Manufacturing;
- LOM – Laminated Object Manufacturing.

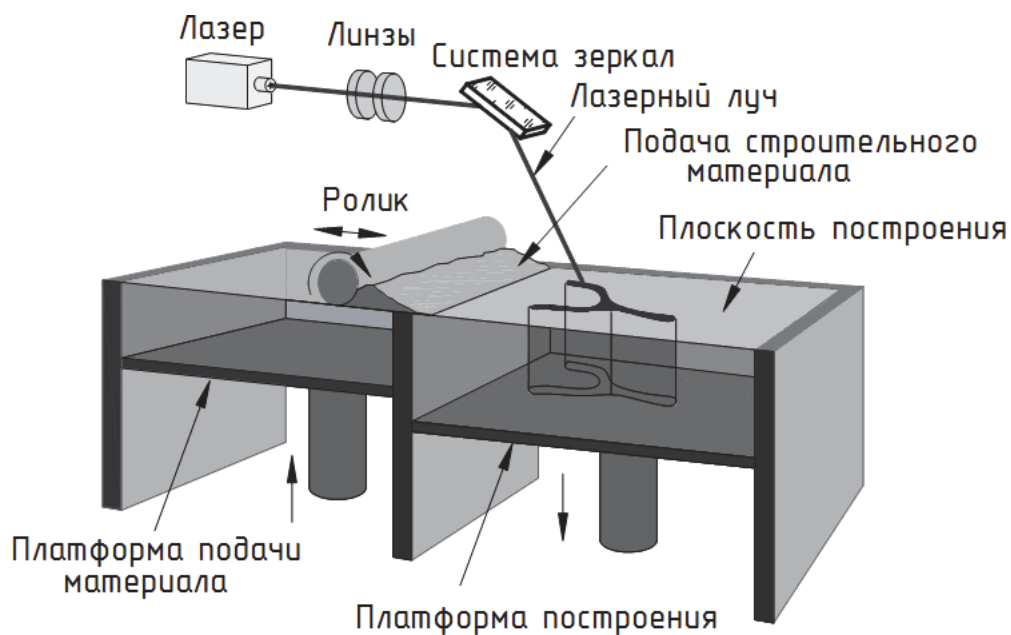


Рис. 11. Схема получения детали путем объединения материала, распределенного на рабочей поверхности

*Второе направление* – формирование деталей путем прямого осаждения материала (Direct Deposition). В этом случае изделие формируется послойно непосредственно из разогретого до необходимой температуры материала, поступающего на рабочую платформу из специального распределяющего устройства (рис. 12).

На принципе прямого осаждения материала построены следующие виды технологического оборудования для производства деталей методами аддитивных технологий:

- CLAD – Construction Laser Additive Directe;
- EBDM – Electron Beam Direct Manufacturing;
- MJS – Multiphase Jet Solidification;
- BPM – Ballistic Particle Manufacturing;
- MJM – Multi Jetting Material.

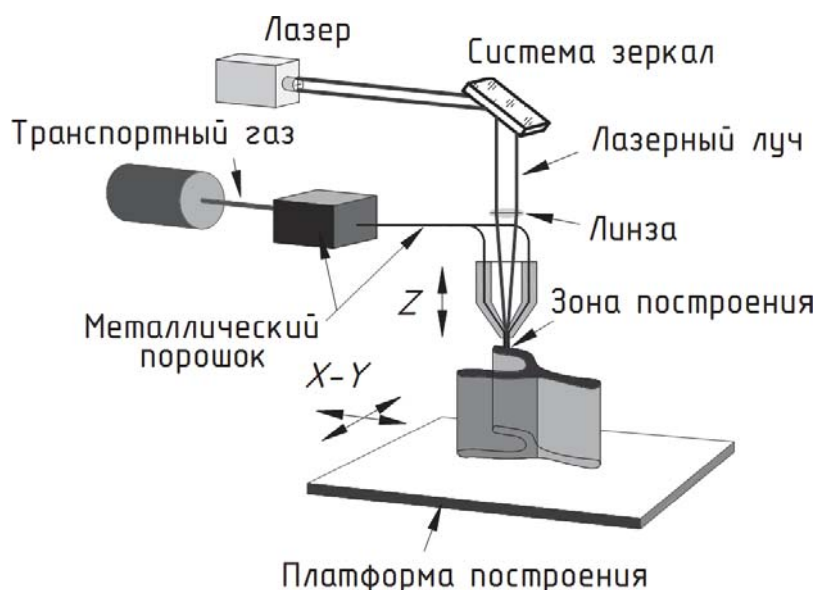


Рис. 12. Схема формирования детали путем прямого осаждения материала

По методу фиксации слоя выделяются три способа: фотополимеризация, сплавление (спекание) и склеивание (рис. 13).

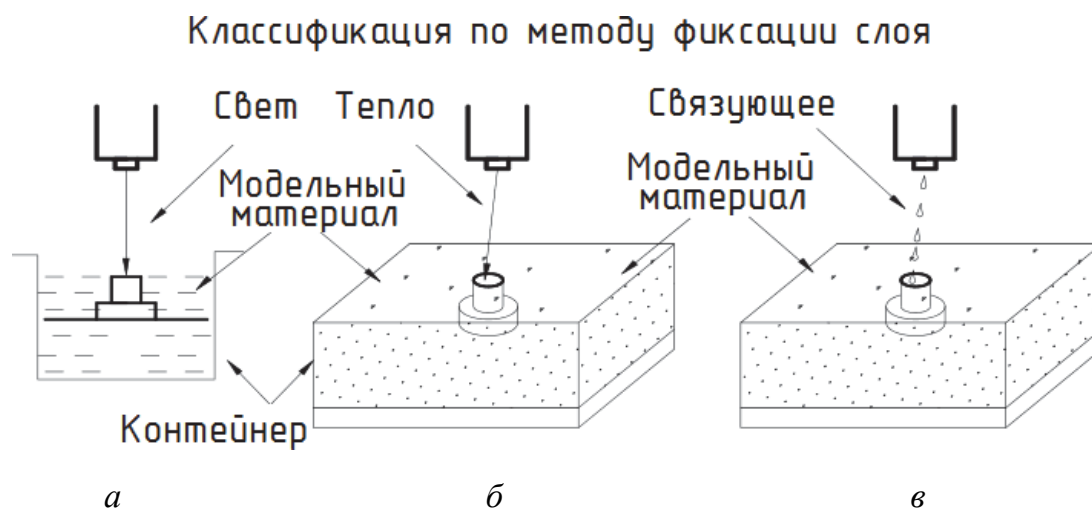


Рис. 13. Классификация аддитивных технологий по способу фиксации слоя: а – фотополимеризация (свет); б – сплавление (тепло); в – склеивание (связующее)

*Фотополимеризация.* По данному методу выделяют несколько технологий получения изделия.

Стереолитография (SLA-технология). Принтеры, работающие по данному принципу, имеют платформу, которую погружают в бак с жидким фотополимером. Лазер проходит по поверхности, в результате чего слой фотополимера затвердевает. Затем платформа опускается на глубину одного слоя, и процесс повторяется до тех пор, пока объект полностью не построится. Материал, использующийся в SLA-технологиях, – фотополимерная смола.

Технология PolyJet. Нанесение материала происходит с помощью струйных головок. Жидкий фотополимер отвердевает под действием светового излучения. После окончания нанесения всего слоя зону печати подвергают мощному ультрафиолетовому излучению для полного отвердевания материала, после чего наносится следующий слой. С помощью современных 3D-принтеров Object 350 в данной технологии могут применяться до семи различных фотополимеров, отличающихся физическими свойствами.

*Сплавление (спекание).* В качестве примера можно рассмотреть селективное лазерное спекание (SLS-технологии). В принтерах, работающих по такой технологии, сначала формируется слой материала, после чего происходит выборочное спекание порошка лазером, при котором частички порошка связываются в соответствии с текущим сечением исходной модели. В качестве исходного материала SLS-технологии используются полимерные и керамические порошки и термопластики. Так как плавление материала происходит выборочно по заданной траектории, то достоинством этой технологии является возможность одновременного производства нескольких деталей, что повышает производительность всего аддитивного процесса.

Применяемые материалы различаются по следующим типам:

- жидкие (фотополимеры акриловые и эпоксидные);
- сыпучие (полимеры, песок, металлический порошок);
- прутковые, нитевидные (полимеры, металлы);
- листовые, пленочные (ПВХ-пленки, фольга, листовой прокат).

## 2.2. Классификация видов аддитивного производства

На сегодняшний день можно выделить следующие технологии аддитивного производства:

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

**SLM** (Selective laser melting) – селективное лазерное сплавление металлических порошков. Самый распространенный метод 3D-печати металлом. С помощью этой технологии можно быстро изготавливать сложные по геометрии металлические изделия, которые по своим качествам превосходят литейное и прокатное производство. Основные производители систем SLM-печати – немецкие компании.

**SLS** (Selective laser sintering) – селективное лазерное спекание полимерных порошков. С помощью этой технологии можно получать большие изделия с различными физическими свойствами (повышенная прочность, гибкость, термостойкость и др.). Крупнейшим производителем SLS-принтеров является американский концерн 3D Systems.

**SLA** (сокращенно от Stereolithography) – лазерная стереолитография, отверждение жидкого фотополимерного материала под действием лазера. Эта технология аддитивного цифрового производства ориентирована на изготовление высокоточных изделий с различными свойствами. Крупнейшим производителем SLA-принтеров является американский концерн 3D Systems. В отдельную категорию стоит вынести технологии быстрого прототипирования. Это способы 3D-печати, предназначенные для получения образцов для визуальной оценки, тестирования или мастер-моделей для создания литейных форм.

**MJM** (Multi-jet Modeling) – многоструйное моделирование с помощью фотополимерного или воскового материала. Эта технология позволяет изготавливать выжигаемые или выплавляемые мастер-модели для литья, а также – прототипы различной продукции. Используется в 3D-принтерах серии ProJet компании 3D Systems.

**PolyJet** – отверждение жидкого фотополимера под воздействием ультрафиолетового излучения. Используется в линейке 3D-принтеров Objet американской компании Stratasys. Технология используется для получения прототипов и мастер-моделей с гладкими поверхностями.

**CJP** (Color jet printing) – послойное распределение клеящего вещества по порошковому гипсовому материалу. Технология 3D-печати гипсом используется в 3D-принтерах серии ProJet x60 (ранее называлась ZPrinter). На сегодняшний день – это единственная промышленная технология полноцветной 3D-печати. С ее помощью изготавливают яркие красочные прототипы продукции для тестирования и презентаций, а также различные сувениры, архитектурные макеты.

**DMD (Direct Metal Deposition)** – прямое или непосредственное осаждение (материала), т.е. непосредственно в точку, куда подводится энергия, и где происходит в данный момент построение фрагмента детали. С помощью этой технологии возможно создание крупных изделий сразу из нескольких видов сплавов, а также производство ремонта таких дорогостоящих компонентов как лопатки турбин авиадвигателей.



## **ГЛАВА 3. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РОССИИ**

### **3.1. Российский опыт внедрения аддитивных технологий**

У истоков стереолитографии стоял Советский Союз: в 1970-х гг. в стране велись работы по созданию технологических лазеров. Но после распада СССР из-за дефицита финансирования многие проекты были свернуты, и к настоящему времени наблюдается значительное отставание России от мировых лидеров.

Россия в настоящее время занимает одиннадцатое место в мире по производству и внедрению технологий 3D-печати. Доля отечественного рынка в этой сфере составляет 2 %, но при этом российский рынок АТ за последние восемь лет вырос в десять раз. Экономика России соответствует IV технологическому укладу (фактически, эпоха нефти и машиностроения). Выход на VI уклад (уровень Европы и США) невозможен без внедрения аддитивных технологий.

Первым крупным проектом в области АТ в России стало АО «Центр аддитивных технологий», основанное в мае 2014 г. Сегодня происходит процесс формирования отрасли АТ как организованной системы. Курирует процесс Департамент развития станкостроения, аддитивных технологий и робототехники Министерства промышленности и торговли РФ. Координатором действий назначена Государственная корпорация «Ростех» в лице АО «Станкопром». Ответственность за разработку и создание отечественного аддитивного оборудования берет на себя АО «Центр аддитивных технологий», создание сырьевой базы и сертификации возлагается на ФГУП «ВИАМ» и ОАО «ВИЛС».

По информации Frost & Sullivan, с точки зрения вклада в общий рынок АТ Россия пока отстает от стран-технологических лидеров. Причем отставание отмечается по всем основным направлениям: производству оборудования для 3D-печати, сырья и вспомогательных материалов, масштабам применения технологий в ключевых промышленных отраслях и т.д.

Потребность России в металлических порошках для 3D-принтеров, а также в оборудовании покрывается преимущественно за счет импорта продукции. Основные объемы поставок сырья приходятся на Германию и Великобританию.

Среди крупнейших потребителей порошковых материалов на российском рынке в Frost & Sullivan назвали АО «ОДК-Авиадвигатель» и НПО «Сатурн» (в обоих случаях – разработка газотурбинных технологий и двигателей), а также АО «Новомет-Пермь» (производство погружных электроцентробежных насосов для добычи нефти). Значительную работу по развитию и продвижению аддитивных технологий проводят госкорпорации «Росатом» и «Роскосмос».

По мнению аналитиков, стимулирование разработок в области аддитивного производства в России необходимо поддерживать как с помощью государственного субсидирования (компенсации затрат предприятий на производство и НИОКР), так и за счет прямых инвестиций. Одним из крупнейших игроков, оказывающих финансовую поддержку проектам в сфере АТ, является Фонд развития промышленности, выдающий компаниям льготные займы.

Отечественные предприятия с каждым годом все более активно используют системы 3D-печати в производственных и научных целях. Оборудование для аддитивного производства, грамотно встроенное в производственную цепочку, позволяет не только сократить издержки и сэкономить время, но и начать выполнять более сложные задачи.

Компания Globatek.3D с 2010 г. занимается поставкой в Россию новейших систем 3D-печати и 3D-сканирования. Оборудование, установленное отечественными специалистами, работает в крупнейших университетах (МГТУ им. Баумана, МИФИ, МИСИС, Приволжском, СГАУ и других) и на промышленных предприятиях, учреждениях ВПК и аэрокосмической отрасли.

Специалисты GLobatek.3D оказывают помощь профессионалам различных отраслей подобрать 3D-оборудование, которое будет максимально эффективно решать задачи, стоящие перед предприятием.

*Субтрактивные и аддитивные методы изготовления плат, сравнительная характеристика.*

В *субтрактивных* методах (от лат. substratio – отнимание) проводящий рисунок образуется путем удаления фольги с незащищенных участков поверхности. Для этого на медную фольгу диэлектрика наносится рисунок схемы, а незащищенные участки фольги стравливаются. К недостаткам субтрактивного химического

метода относятся значительный расход меди и наличие бокового подтравливания элементов печатных проводников, что уменьшает адгезию фольги к основанию.

Указанного недостатка лишен *аддитивный* (от лат. additio – прибавление) метод изготовления печатных проводников, основанный на избирательном осаждении химической меди на нефольгированный диэлектрик. При этом используют диэлектрик с введенным в его состав катализатором и адгезивным слоем на поверхности. Платы, изготовленные аддитивным методом, имеют высокую разрешающую способность (проводники шириной до 0,1 мм), затраты на производство таких плат снижаются на 30 % по сравнению с субтрактивными методами, экономятся медь, химикаты для травления и улучшается экологическая обстановка на предприятиях. Однако применение аддитивного метода в массовом производстве ограничено низкой производительностью процесса химической металлизации, интенсивным воздействием электролитов на диэлектрик, недостаточной адгезией проводников.

Цифровое производство с использованием аддитивного метода заключается в послойном создании объекта любой сложности. Аддитивные технологии принципиально отличаются от тех, которыми пользовались до недавнего времени. Их главное отличие в том, что они являются не вычитающими, как, например, метод ЧПУ-обработки, а собирательными. Иными словами, происходит собирание изделия из изготовленных порошковой композицией деталей. По сравнению с техникой литья, штамповки или ЧПУ-обработки данная технология повышает производительность до тридцати раз, но – самое главное – она дает возможность получить детали, которые невозможно было создать традиционными способами.

Инновационные 3D-аддитивные технологии позволяют создавать модели любых форм и размеров, так как послойный процесс синтеза происходит слой за слоем. Данный способ производства пользуется таким методом как прототипирование, что дает возможность создавать не готовый объект, который можно использовать для конкретных целей, а его прототип, позволяющий оценивать возможности и характеристики модели, ее внешние данные и т.д.

Прототипы можно представлять заказчикам, а также использовать в маркетинговых целях. К примеру, на автомобильных выставках часто используются модели, созданные с помощью быстрого прототипирования, для того чтобы представить их потенциальным заказчикам. Данная технология позволяет производить прототипы быстро, а главное – недорого по сравнению со стандартными методами производства.

Технологии аддитивного производства широко используются для уменьшения затрат при проектировании за счет определения возможных ошибок на ранних стадиях проектирования. Кроме того, данная технология сокращает время выхода продукта на рынок за счет усиления связи между заказчиком и проектировщиком. Она практически полностью исключает трудоемкий и длительный этап изготовления опытных образцов.

Прогнозы развития АТ затрагивают все элементы данного производства:

- применение гранул и порошковых материалов в 3D-печати позволит отказаться от использования треугольных и цилиндрических форм при изготовлении изделий;

- применение углеродистого (графитового) волокна и металлопорошков позволит улучшить механические, химические и термические характеристики изделий (в частности, для нефтегазовой и оборонной отраслей);

- производители систем компьютерного проектирования и моделирования (CAD, CAE) ведут разработки решений для 3D-печати, которые позволят снизить погрешность при изготовлении изделий и повысить точность производства;

- оптимизация характеристик и развитие АТ позволит повысить точность, скорость и качество 3D-печати. К 2020 г. скорость работы 3D-принтеров увеличится вдвое;

- одним из ключевых направлений развития сервисных услуг на рынке 3D-печати станет лизинг 3D-принтеров;

- развитие получит производство 3D-принтеров, позволяющих создавать крупногабаритные изделия с высокой точностью;

- материал «графен», известный своими физическими и электрическими свойствами, будет применяться для производства металлических жил (волокон) и элементов питания.

Энергопотребление и влияние на окружающую среду в рамках аддитивного производства требует специального анализа.

Исчерпывающее сравнение аддитивного производства и других производственных процессов с точки зрения энергопотребления, расходования водных ресурсов, захоронения отходов и использования первичных материалов проведено к 2016 г. в рамках проекта ATKINS. Результаты проекта указывают на то, что с точки зрения влияния на окружающую среду аддитивное производство имеет явные преимущества, однако энергопотребление по этой технологии (13,1 кг CO<sub>2</sub> на изделие) значительно выше показателей технологии литья (1,9 кг CO<sub>2</sub>). Впрочем, другие исследования потребления энергии в различных процессах аддитивного производства ведут к заметным расхождениям в данных, что указывает на необходимость дальнейшего, более углубленного изучения этой проблемы.

Аналогичным образом у технологий аддитивного производства есть значительный потенциал в вопросе снижения выброса парниковых газов посредством оптимизации дизайна изделий и сокращения потерь материала. Результаты проекта ATKINS приводят к заключению, что оптимальный дизайн должен приводить к 40 % уменьшению веса и экономии материала. Выполненный в рамках проекта анализ показывает, что снижение веса магистрального самолета на 100 кг на протяжении всего жизненного цикла влечет за собой экономию 2,5 млн дол. на топливных расходах и сокращает выбросы углекислого газа на 1,3 млн т.

Однако многие вопросы остаются неразрешенными, и точная оценка экологических последствий аддитивного производства требует дальнейших исследований. При этом очевидно, что наибольший потенциал в вопросах снижения влияния на окружающую среду имеют изделия, спроектированные таким образом, чтобы в полной мере задействовать уникальные возможности по снижению веса, предлагаемые технологиями аддитивного производства.

### 3.2. Ресурсное обеспечение отрасли АТ в России

Отрасль АТ в 2010–2020 гг. показала положительную динамику развития и достигла следующих показателей в 2020 г.:

– объем российского рынка АТ (аддитивного оборудования и комплектующих, материалов для аддитивной печати, услуг и программного обеспечения) составил 3 560 млн руб.;

– объем российского рынка аддитивного оборудования и комплектующих составил 2 053,8 млн руб.; объем продаж российских компаний на внутреннем рынке аддитивного оборудования и комплектующих составил 804,3 млн руб.;

– объем продаж российских компаний на внешнем рынке аддитивного оборудования и комплектующих составил 40,3 млн руб.

Инвестиции в основной капитал российских предприятий, осуществляющих производство аддитивного оборудования и комплектующих, составляют 177,4 млн руб.

В отрасли АТ сформирован кадровый ресурс специалистов по АТ.

Для обеспечения кадрового резерва специалистов в отрасли АТ образовательными организациями Российской Федерации осуществляется подготовка кадров по направлениям «Аддитивные технологии» и «3D-моделирование для компьютерных игр» (далее – направление «Аддитивные технологии») в рамках 5 основных профессиональных образовательных программ по специальностям среднего профессионального образования.

Общее количество образовательных организаций, реализующих указанные программы в Российской Федерации по направлению «Аддитивные технологии», составляет 848 головных организаций и 42 их филиала. Общее количество организаций высшего образования, реализующих указанные программы в Российской Федерации по направлению «Аддитивные технологии», составляет 76 головных организаций и 74 их филиала.

Общее количество контрольных цифр приема по направлению «Аддитивные технологии» в 2020 г. составило 1110 мест, в 2021 году – 1278 мест.

Прием по этому направлению подготовки в 2019/20 учебном году в образовательные организации, реализующие указанные программы, составил 22 879 человек.

Общая численность студентов в 2019/20 учебном году, обучающихся по всем формам обучения по направлению



«Аддитивные технологии», составила 77 778 человек. Выпуск обучающихся 2019 г. составил более 19 056 человек.

Некоторые организации высшего образования в Российской Федерации самостоятельно разработали и утвердили образовательные программы в области АТ.

Кадровой проблемой отрасли является неполное соответствие профессиональных компетенций работников предъявляемым квалификационным требованиям по всем существующим направлениям АТ.

Текущая численность работников в отрасли аддитивных технологий в Российской Федерации составляет около 2000 человек, в том числе одна треть – работники субъектов малого и среднего предпринимательства.

## ГЛАВА 4. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Созданный научно-технологический задел по базовым направлениям АТ в основном соответствует предъявляемым требованиям и ориентирован на решение широкого спектра задач отрасли АТ, а также на их применение в различных отраслях промышленности.

Имеется значительный потенциал роста, прежде всего в части профессионального и промышленного аддитивного оборудования.

Научно-исследовательский комплекс, нормативно-техническая база регулирования и сертификация продукции АТ не обеспечивают в полной мере решение отраслевых задач.

Исследования в области аддитивного производства ведутся преимущественно в специализированных исследовательских центрах, которые создаются в университетах при масштабной поддержке от промышленности и правительства (как федерального, так и местного). Все чаще вовлекаются в эту деятельность национальные исследовательские институты и лаборатории Министерства обороны. «Дорожная карта» развития аддитивного производства описывает приоритеты исследований по основным направлениям аддитивного производства.

### **Проектирование:**

– разработка концептуальных методов проектирования, которые помогут определить границы и провести исследование пространства проектных решений, открываемого АП-технологиями;

– разработка новых принципов работы для систем автоматизированного проектирования с целью преодолеть ограничения существующих подходов к объемному моделированию в том, что касается представления сложных геометрических структур и одновременного использования нескольких материалов;

– разработка многоуровневой методологии процесса моделирования и обратного проектирования, позволяющей ориентироваться в сложной системе соотношений «процесс – структура – свойства»;

– создание методов моделирования и проектирования с вариативностью параметров: форма, процесс, свойства.

### **Моделирование и управление процессом:**

- разработка предсказательных моделей для связей «процесс – структура – свойства», интегрированных в системы автоматизированного проектирования, конструирования и производства (CAD/E/M);
- создание адаптивной и саморегулирующейся системы управления с возможностями прямой и обратной связи. Алгоритмы системы управления должны опираться на предсказательную модель реакции системы на изменения в процессе;
- создание новых датчиков (sensors), способных функционировать в рабочих камерах установок АП, и разработка методов обработки информации, полученной от набора различных датчиков (sensor fusion).

### **Процессы в материалах и установки:**

- достижение более полного понимания физики АП-технологий, которое учитывает сложное взаимодействие различных физических явлений;
- разработка масштабируемых и скоростных методов линейной и поверхностной обработки материалов для увеличения производительности оборудования;
- создание для АП-установок контроллеров с открытой архитектурой и переналаживаемых модулей;
- реализация уникальных особенностей аддитивного производства в производстве эпитаксиальных металлических структур, выпуске деталей, состоящих из нескольких материалов и градиентных материалов;
- разработка методологии определения того, почему некоторые материалы могут быть обработаны методами аддитивного производства, а некоторые – нет;
- разработка инструментов для поэтапного аддитивного производства структур и устройств и для проектирования нанопроизводства;
- разработка экологичных («зеленых») материалов, в том числе биоразлагаемых, подлежащих вторичной переработке и повторному использованию.

Еще одним направлением развития является интеграция методов автоматизированного контроля в CAD/CAE/CAM-системы, что поможет в вопросах анализа изделий *in situ* непосредственно в ходе изготовления, при условии, что в рабочую область АП-установки

можно установить соответствующие датчики. Количественное сопоставление номинальных проектных характеристик изделия (геометрии и состава материала) с реальными непосредственно в процессе изготовления может открыть дополнительные возможности для создания управляющей обратной связи.

Одно из самых значительных направлений исследования обусловлено необходимостью достичь более полного и фундаментального понимания физических основ каждого процесса АП. В частности, одной из ключевых задач является более глубокое понимание деталей взаимодействия различных источников энергии с материалами.

Необходимо обратить более пристальное внимание на системы аддитивного производства смешанного типа. Такие системы могут открыть новые возможности обработки, в том числе использование множественных аддитивных процессов, совмещение послойных технологий с другими, совмещение аддитивного и вычитающего производства, интеграцию элементов изделия при помощи автоматизированной вставки компонентов. Примером смешанной системы такого рода может служить набор АТ, способных создавать конструкционные 3D-материалы с электронными компонентами, размещенными путем внедрения и прямой записи, что вкупе с автоматизированным внедрением предварительно произведенных компонентов позволяет изготовить полностью интегрированное электромеханическое изделие как целостную систему.

Производство аддитивного оборудования осуществляется преимущественно с использованием импортных комплектующих.

Основным проблемным вопросом производственно-технологического характера в отрасли остается мелкосерийное производство российского аддитивного оборудования и его комплектующих, что оказывает существенное влияние на освоение производства конкурентоспособной аддитивной продукции и в ряде случаев делает невозможным создание рентабельного производства аддитивного оборудования.

Существуют проблемы обеспечения организаций аддитивной промышленности отдельными видами материалов и комплектующих для аддитивного производства.

## **ГЛАВА 5. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ**

Правительством Российской Федерации принято Распоряжение от 14 июля 2021 г. № 1913-р «Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года».

### **5.1. Цель, ключевые направления и задачи развития отрасли аддитивных технологий**

**Целью** развития отрасли АТ является обеспечение роста объема российского рынка АТ (аддитивного оборудования и комплектующих, материалов для аддитивной печати, услуг и программного обеспечения).

**Основными направлениями** развития отрасли АТ должны стать создание конкурентоспособного аддитивного оборудования и материалов на базе российских технических решений и программного обеспечения, обеспечивающего реализацию национальных проектов, а также доминирование на внутреннем рынке АТ с существенным увеличением экспорта аддитивного оборудования и комплектующих.

Достижение указанной цели и целевых значений показателей развития отрасли АТ будет обеспечено за счет комплексного решения задач по ключевым направлениям развития отрасли аддитивных технологий, а также специализированных задач в интересах различных отраслей промышленности.

#### **Основные задачи развития отрасли аддитивных технологий:**

– по ключевому направлению «Научно-техническое развитие» – обеспечение развития и импортонезависимости аддитивного оборудования и материалов по направлениям, критически значимым для национальных интересов и перспективным с точки зрения обеспечения лидирующих позиций;

– по ключевому направлению «Производство» – обеспечение необходимой материально-технической базы ключевых процессов разработки, производства и сервисного обслуживания аддитивного оборудования и материалов;

– по ключевому направлению «Отраслевые стандарты и метрологическое обеспечение» – обеспечение конкурентоспособности отрасли аддитивных технологий через инструменты технического и отраслевого регулирования;

- по ключевому направлению «Кадры» – ликвидация кадровых проблем, препятствующих достижению цели развития отрасли АТ;
- по ключевому направлению «Кооперация» – обеспечение эффективности технологических процессов отрасли АТ за счет разделения труда и комплексного планирования работ;
- по ключевому направлению «Экономическая эффективность» – обеспечение информационной базы (аналитика и ситуационный прогноз) для принятия решений, а также обеспечение создания и вывода на рынки востребованного и конкурентоспособного аддитивного оборудования, услуг и материалов отрасли АТ.

## **5.2. Ключевые мероприятия для реализации Стратегии**

В части ключевого направления «**Научно-техническое развитие**» планируется разработать и промышленно освоить ключевые АТ:

- печать изделий методом селективного лазерного сплавления, микроволнового излучения, электронно-лучевого плавления, прямого выращивания с различными источниками энергии, плазменного выращивания и дуговых процессов;

- производство универсальных материалов (в том числе металлических и интерметаллидных) для аддитивного производства изделий со сложной геометрией; печати и последующей обработки изделий медицинского применения (включая медицинские инструменты, изделия для имплантации, ортопедии, хирургии, протезирования и общемедицинского применения);

- печать особо ответственных изделий, в том числе для авиационно-космической атомной и радиоэлектронной промышленности, с обеспечением гарантированного уровня свойств; синтеза изделий со сложной геометрией и их последующей обработки с обеспечением гарантированного уровня свойств;

- создание крупногабаритных металлических изделий диаметром более одного метра из различных источников сырья (порошок, проволока, легкосплавные материалы);

- производство различных материалов для аддитивного производства в различных формах (прутка, порошка, филамента);

- система прогнозирования, мониторинга и моделирования процесса синтеза изделий в аддитивном производстве;



– реализация биопечати (печати биологических объектов, компонентов и тканей);

– постобработка изделий АП, в том числе для обработки внутренних поверхностей и каналов, термической и термомеханической, горячей изостатической обработки;

– реализация концепции автономного производства в космосе (создание конструкций из металла в космическом пространстве и в условиях напланетной инфраструктуры, печать зданий для напланетных баз из реголита, аддитивные технологии для добычи полезных ископаемых, 3D-биопечать в условиях открытого космоса и напланетных баз);

– автоматизированный ремонт изделий методами аддитивных технологий (в том числе с применением технологий машинного зрения и обучения);

– автоматизированное возведение жилых домов, зданий и других объектов, а также изделий строительного назначения.

Необходимо внедрить практику постоянной актуализации перечня перспективных АТ в формате ежегодного отраслевого технологического прогноза.

В части ключевого направления «**Производство**» планируется создать:

– серийное производство на территории Российской Федерации комплектующих для аддитивного оборудования (оптических сканаторов, лазеров, систем контроля);

– серийное производство материалов (в том числе металлических и интерметаллидных) для аддитивного производства;

– серийное производство оборудования для печати изделий аддитивными методами производства, включая оборудование для печати по технологиям селективного лазерного сплавления, лазерной стереолитографии, порошковой струйной печати, многоструйного сплавления, микроволнового излучения электронно-лучевого плавления, прямого выращивания, плазменного выращивания и дуговых процессов;

– серийное производство оборудования для постобработки изделий аддитивного производства;

– серийное производство оборудования для ремонта изделий методами АТ;

– серийное производство оборудования для изготовления, физико-механической обработки, рециклинга, восстановления и утилизации металлических порошков для 3D-печати;

– серийное производство оборудования для неразрушающего контроля деталей и изделий, изготовленных на аддитивном оборудовании;

– серийное производство оборудования для строительной 3D-печати.

Необходимо обеспечить локализацию изготовления материалов для аддитивного оборудования, самого аддитивного оборудования и его компонентов.

В части ключевого направления **«Отраслевые стандарты»** планируется:

– модернизировать отраслевую систему стандартов и метрологического обеспечения в соответствии с существующими и перспективными международными требованиями к аддитивному оборудованию, аддитивными технологиями и организационным процессам;

– обеспечить разработку по перспективным видам аддитивного оборудования национальных стандартов с последующей их трансформацией в международные.

В части ключевого направления **«Кадры»** предусматривается:

– повысить привлекательность отрасли для профессиональных кадров, молодежного кадрового резерва и завершающих подготовку в учебных заведениях;

– внедрить средне- и долгосрочное планирование и ежегодный мониторинг кадровых потребностей отрасли АТ;

– содействовать актуализации, разработке и дальнейшему развитию системы профессиональных и образовательных стандартов в отрасли АТ;

– содействовать развитию кадрового потенциала системы подготовки специалистов в области АТ.

В части ключевого направления **«Кооперация»** планируется:

– расширить использование производственных, научных и инженерных ресурсов, привлекаемых по кооперации отраслевыми организациями, включая партнерство с иностранными компаниями;

– повысить информированность о существующих кооперационных, производственных и инженерных возможностях, в том числе за счет использования цифровых платформ;

– исключить регуляторные и организационные барьеры, препятствующие развитию кооперации.

В части ключевого направления **«Экономическая эффективность»** планируется:

– обеспечить участие отрасли в реализации мероприятий национальных и федеральных проектов и программ;

– внедрить практику регулярного анализа и прогноза развития рынков АТ в интересах системного планирования развития отрасли; стимулировать спрос на аддитивное оборудование российского производства;

– обеспечить государственную поддержку приоритетных отраслевых проектов и формирование производственных консорциумов;

– обеспечить вывод аддитивного оборудования российского производства на мировые рынки, в том числе по линии поддержки экспорта;

– исключить регуляторные и организационные барьеры, препятствующие развитию экспорта аддитивных технологий;

– обеспечить использование российских АТ в наиболее перспективных сферах;

– обеспечить внедрение актуальных бизнес-моделей в отрасли АТ;

– сформировать и развить отраслевые базы данных, в том числе производителей и экспортеров российского аддитивного оборудования, компетенций и мощностей, технологических решений, а также результатов испытаний образцов изделий, произведенных с помощью методов аддитивного производства, свойств материалов для аддитивного производства и изделий из них.

### 5.3. Этапы реализации Стратегии

Стратегия реализуется в 3 этапа.

**Первый этап (2021–2022 гг.)** включает увеличение доли российского аддитивного оборудования, услуг и материалов отрасли АТ на внутреннем рынке в основном за счет традиционных рынков и участия в реализации национальных проектов; формирование нормативной базы сертификации и стандартизации для внедрения АТ в производственные процессы; формирование нормативной базы для применения, контроля качества и приемки продукции и материалов, изготовленных с применением АТ; подготовку активного продвижения на международные рынки, включая такие аспекты, как технологический базис, правила игры, бизнес-модели, продуктово-сервисные предложения, диверсификация инвестиций.

**Второй этап (2023–2025 гг.)** включает продвижение российской продукции и услуг отрасли АТ на существующие рынки и выход на новые международные рынки, включая комплексные предложения и зарубежные партнерства, а также увеличение масштабов инвестиционных проектов.

**Третий этап (2026–2030 гг.)** включает:

- устойчивый рост отрасли АТ и обеспечение ее лидирующих позиций на перспективных рынках;
- обеспечение глобального технологического лидерства и акцент на приоритетных аспектах развития.

Реализация Стратегии связана с наличием макроэкономических, социальных и операционных рисков.

**Основной вектор развития отрасли АТ** заключается в формировании следующих институтов, которые обеспечат достижение стратегических целей развития данной отрасли:

- центры технологических компетенций – организации, владеющие результатами научно-исследовательских разработок в области использования АТ для создания на их базе прикладных решений в области АТ (могут быть самостоятельной организацией или структурным подразделением);
- организации-отраслевые чемпионы – организации, обладающие технологиями создания продукции в рамках одного или нескольких приоритетных с точки зрения реализации Стратегии рынков, а также занимающие на этом рынке значительную долю;

– центры коллективного проектирования – организационные единицы (организации или их подразделения), обеспеченные оборудованием и кадрами для осуществления этапов проектирования, прототипирования и тестирования изделий вплоть до передачи на фабрики конструкторской документации и иных материалов для серийного производства аддитивного оборудования и продукции, произведенной методом аддитивного производства;

– консорциумы – объединения научно-производственных, сбытовых организаций и потребителей, создаваемые для реализации проектов по разработке, производству, выводу на рынок и развитию аддитивного оборудования и продукции, произведенной методом аддитивного производства (в состав консорциума могут входить образовательные и научные организации, разработчики компонентной базы и программного обеспечения, производители изделий, институты развития, венчурные компании, потребители и иные заинтересованные организации, в том числе с иностранным участием);

– стратегические альянсы;

– центры технологических компетенций и организации – отраслевые чемпионы будут сформированы по всем перспективным технологическим направлениям.

Организации – отраслевые чемпионы будут разрабатывать наиболее технологически сложные и капиталоемкие прикладные решения.

Центры технологических компетенций должны стать источником технологических решений для аддитивного оборудования. Центры технологических компетенций будут формироваться на базе высокотехнологичных и профильных образовательных организаций.

Создание консорциумов целесообразно для оказания фокусированной поддержки разработки продукции, конкурентные преимущества которой определяются использованием АТ, а также для производства и сервисного обслуживания аддитивного оборудования.

В консорциумы могут привлекаться иностранные производители с учетом интересов в области создания и локализации базовых технологий, изготовления компонентов, оборудования и материалов. Основными условиями участия в консорциумах иностранных

организаций являются высокая степень локализации производства и передача российским резидентам прав на интеллектуальную собственность. Дополнительным условием вхождения в консорциум иностранного партнера является создание совместного предприятия с долей российских резидентов более 50 %.

## ГЛАВА 6. ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ФГБОУ ВО «УГАТУ»

### 6.1. Актуальность формирования приоритетов

Актуальность разработки АТ обусловлена возможностью с их помощью существенно сокращать время от разработки изделия до выпуска готовой продукции, материалоемкость продукции, потребление энергоресурсов, а также возможностью изготовления изделий с улучшенными свойствами и сложных конструкций, которые ранее не представлялось возможным производить из-за технологических ограничений. Так, например, АТ в машиностроении позволяют создавать качественные прототипы моделей, помогающих изучить все характеристики будущего изделия или агрегата. Применение АТ решает такие задачи цифровых производств как модернизация и автоматизация действующих и проектирование новых эффективных машиностроительных производств различного назначения, средств и систем их оснащения, а также производственных и технологических процессов с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства.

Рынок аддитивных технологий складывается из сегментов оборудования, материалов, услуг и программного обеспечения:

- оборудование для 3D-печати – серийное изготовление станков и комплектующих;
- материалы для 3D-печати – универсальные порошки, в том числе для ответственных изделий;
- программное обеспечение для 3D-печати единая цифровая платформа для разработки и производства;
- услуги 3D-печати – комплексное предложение по аутсорсингу изделий.

К перспективным традиционным рынкам применения, выделяемым в производственном процессе, относятся оснастка, формы и модели для литья, прототипирование, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, изготовление экспериментальных образцов.

К новым рынкам, выделяемым в производственном процессе, относится изготовление серийного производства полнофункциональных аналогов деталей и промышленной продукции, а также



производство промышленной продукции с характеристиками, реализация которых традиционными методами производства весьма затруднительна.

Кадровой проблемой отрасли является неполное соответствие профессиональных компетенций работников предъявляемым квалификационным требованиям по всем существующим направлениям аддитивных технологий.

Указанные проблемы новой отрасли АТ в комплексе общеэкономических и технологических проблем российской экономики определяют приоритеты развития АТ в рамках научно-исследовательской и образовательной платформы университета.

## **6.2. Приоритетные направления развития аддитивных технологий в ФГБОУ ВО «УГАТУ»**

Включиться в федеральные программы по реализации Стратегии развития АТ в части развития и продвижения аддитивных технологий госкорпораций «Росатом», «Роскосмос», «Газпром», «Ростех», в том числе в кооперации с ведущими научными и образовательными центрами РФ (МГТУ им. Баумана, МИФИ, МИСИС, МГУ им. М. В. Ломоносова, и др.).

1. Содействовать развитию кадрового потенциала в области АТ: организовать подготовку специалистов по АТ в УГАТУ для промышленности региона; сформировать научное направление в области АТ в аспирантуре и докторантуре УГАТУ.

3. Внедрить практику регулярного анализа и прогноза развития рынков АТ в интересах системного планирования научно-технологического сопровождения развития отрасли.

4. Создать ресурсный потенциал для научно-технических разработок и промышленного внедрения по ключевым направлениям развития АТ:

4.1) по материалам:

– производства углеродистого (графитового) волокна и металлопорошков, что позволит улучшить механические, химические и термические характеристики изделий (в частности, для нефтегазовой и оборонной отраслей);

– производства различных материалов для аддитивного производства в различных формах (прутка, порошка, филамента);

– производства универсальных материалов (в том числе металлических и интерметаллидных) для аддитивного производства изделий со сложной геометрией; печати и последующей обработки изделий медицинского применения (включая медицинские инструменты, изделия для имплантации, ортопедии, хирургии, протезирования и общемедицинского применения);

#### 4.2) по оборудованию:

– производство оборудования для печати изделий аддитивными методами производства, включая оборудование для печати по технологиям селективного лазерного сплавления, лазерной стереолитографии, порошковой струйной печати, многоструйного сплавления, микроволнового излучения электронно-лучевого плавления, прямого выращивания, плазменного выращивания и дуговых процессов;

#### 4.3) по технологиям:

– печати изделий методом селективного лазерного сплавления, микроволнового излучения, электронно-лучевого плавления, прямого выращивания с различными источниками энергии, плазменного выращивания и дуговых процессов;

– печати особо ответственных изделий, в том числе для авиационно-космической атомной радиоэлектронной промышленности, с обеспечением гарантированного уровня свойств;

– синтеза изделий со сложной геометрией и их последующей обработки с обеспечением гарантированного уровня свойств;

– реализации биопечати (печати биологических объектов, компонентов и тканей); постобработки изделий аддитивного производства, в том числе для обработки внутренних поверхностей и каналов, термической и термомеханической, горячей изостатической обработки;

– реализации концепции автономного производства в космосе (создание конструкций из металла в космическом пространстве и в условиях напланетной инфраструктуры, печать зданий для напланетных баз из реголита, аддитивные технологии для добычи полезных ископаемых, 3D-биопечать в условиях открытого космоса и напланетных баз);

– автоматизированного ремонта изделий методами аддитивных технологий (в том числе с применением технологий машинного зрения и обучения).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из значительных достижений пятого технологического уклада и третьей промышленной революции являются аддитивные технологии. Их практическое применение в настоящее время находится в стадии роста как количественного – увеличение масштабов деятельности, так и качественного – совершенствование оборудования, материалов и способов формообразования, повышение точности, конструктивной сложности изделий, производительности труда, снижение себестоимости продукции.

Современное университетское образование претерпевает непрерывные изменения. Меняются стандарты, требования, программы и подходы в обучении. Студенты переходят от освоения знаний, умений, навыков к овладению компетенциями разного уровня. Перестройка принципов образования ведет к неизбежному поиску новых подходов и приемов передачи знаний. Такими инновациями в образовании могут стать АТ.

В связи с этим для повышения качества инженерного образования в Уфимском государственном авиационном техническом университете применение аддитивных технологий в образовательном процессе, безусловно, является актуальной задачей на сегодняшний день.

В данном пособии особое внимание уделено следующим аспектам:

- формирование понятийной базы АТ, их классификация;
- анализ направлений использования АТ;
- разработка теоретико-методологических основ формирования экономических отношений участников рынка, управления использованием и развитием АТ в реальном секторе экономики;
- создание теории и методологии управления проектами освоения АТ на предприятиях.

В рамках данного пособия АТ рассмотрены как радикальные технологические инновации. При этом использованы формально-логические, хронологические и статистические методы исследования.

Согласно проведенному анализу АТ в настоящее время находятся на стадии роста инновационного цикла, что обеспечивается экономической целесообразностью их применения по критериям производительности, точности, качества изготавливаемых

изделий. При этом интерес к АТ с положительной динамикой роста проявляют как производители, так и потенциальные потребители 3D-продукции.

Безусловно, «точкой роста» освоения АТ может стать УГАТУ, в котором создана интегрированная среда, включающая в себя как образовательную, так и производственно-рыночную среду, в которой и производителями, и потребителями соответствующих знаний, а также реальных 3D-продуктов являются, прежде всего, преподаватели и студенты учебного заведения. Накопленные результаты по освоению АТ будут передаваться в реальный сектор экономики следующими способами:

1. Трудоустройство подготовленных специалистов АТ.
2. Трансфер созданных знаний.
3. Продажа объектов интеллектуальной собственности: дизайн изделий, конструкторско-технологическое решение, программное обеспечение для изготовления изделий АТ.

При этом необходимо учитывать региональные особенности экономики: ее структуру, характеристики предпринимательства, потребительских рынков, меры государственной поддержки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 № 1913-р «Об утверждении Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года» // Собрание законодательства Российской Федерации от 2021 г. № 30 ст. 5815. 25.
2. Образовательный стандарт среднего профессионального образования по специальности 15.02.09 Аддитивные технологии (зарегистрировано в Минюсте России 19 января 2016 г. № 40631).
3. Профессиональный стандарт 40.159 «Специалист по аддитивным технологиям» (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 5 октября 2020 года № 697н).
4. Антонова В. С., Осовская И. И. Аддитивные технологии: учеб. пособие. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. 30 с.
5. Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники: учеб. пособие для вузов / А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. В. Коберник, А. С. Филимонов; под общей ред. А. Л. Галиновского. М.: Юрайт, 2020. 115 с. URL: <https://urait.ru/bcode/446755> (дата обращения: 24.11.2021).
6. Антонова В. С., Осовская И. И. Аддитивные технологии: учеб. пособие. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. 30 с.
7. Валетов В. А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 63 с.
8. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении: учеб. пособие. СПб.: СПбПУ, 2013. 222 с.
9. Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. Аддитивные технологии в машиностроении : учеб. пособие. СПб.: СПбПУ, 2013. 183 с.
10. Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении: учеб. пособие. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 220 с.
11. Каменев С. В. Романенко К. С. Технологии аддитивного производства: учеб. пособие. Оренбург : ОГУ, 2017. 145 с. Текст : электронный // ЭБС «Консультант студента» : [сайт]. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=481769> (дата обращения: 24.11.2021). Режим доступа : по подписке.

12. Кантарюк Е. А., Кукушкина М. И., Чернышова М. И. Мастерство в дизайне и художественной обработке материалов: учеб. пособие. Липецк: Липецкий ГТУ, 2019. 101 с.

13. Кравченко Е. Г., Верещагина А. С., Верещагин В. Ю. Аддитивные технологии в машиностроении: учеб. пособие для СПО. Саратов : Профобразование, 2021. 139 с. Текст: электронный // ЭБС IPR BOOKS: [сайт]. URL: <https://www.iprbookshop.ru/105721.html> (дата обращения: 24.11.2021). Режим доступа: для авторизир. пользователей.

14. Ляпков А. А. Полимерные аддитивные технологии: учеб. пособие. Томск: Томский политехнич. ун-т, 2016. 114 с.

15. Тарасова Т. В. Аддитивное производство: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2021. 196 с. Текст: электронный. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1214591> (дата обращения: 24.11.2021). Режим доступа: по подписке.

16. Аддитивные технологии: журнал об аддитивном производстве. М., 2017–2020. Вып. 1–4.

17. Аддитивные технологии у пациентов с обширными дефектами костей / Волошин В. П., Галкин А. Г., Ошкуков С. А. и др. // Вопросы ортопедии. 2021. Т. 27. № 2. С. 227–231.

18. Атоев В. В. Анализ перспектив применения аддитивных технологий в ракетостроении // Международный научный журнал «Вестник науки». 2021. № 3 (36). Т. 3. С. 102–112.

19. Барсков В. В., Котов В. С., Панкратов А. В. Применение аддитивных технологий при создании газотурбинных двигателей для кораблей военно-морского флота РФ // Судостроение. 2018. № 5. С. 41–44.

20. Берсенева А. С., Блюмина С. Г., Ромащенко П. Н. Аддитивные и компьютерно-томографические технологии в хирургии надпочечников // Известия Рос. военно-мед. академии. 2021. Т. 40. № S1-3. С. 43–47.

21. Беседина К. С., Лавров Н. А. Применение аддитивных технологий полимеров в машиностроении // Тезисы докладов IV Всерос. научно-практич. конференции с участием молодых ученых. СПб., 2018. С. 26–27.

22. Беседина К. С., Лавров Н. А., Барсков В. В. Применение аддитивных технологий при получении изделий из полимерных

материалов (обзор) // Химия и технология высокомолекулярных соединений (Известия СПбГТИ(ТУ). 2018. № 44. С. 56–63.

23. Беседина К. С., Лавров Н. А., Панфилов Д. А. Свойства изделий из АБС-пластиков и полиамида, получаемых методом 3D-печати // Химия и технология высокомолекулярных соединений (Известия СПбГТИ(ТУ). 2018. № 45. С. 60–63.

24. Боленхан А. А. Разработка лазерного принтера и получение сплава титан-ниобий методом SLS: магистерская дисс. / Боленхан Арайлым Асеткызы; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Томск, 2017. 114 с.

25. Винниченко А. В. Динамическая модель комбинированного агрегатирования процесса аддитивного производства // Фундаментальная подготовка и технологические инновации: тезисы докладов Второй всерос. науч. конференции. 2021. С. 112–116.

26. Винниченко А. В. Замещающие технологии реверсивного инжиниринга в аддитивных технологиях // Научные исследования молодых ученых: тезисы докладов V Международной научно-практич. конференции. Пенза, 2020. С. 54–58.

27. Винниченко А. В., Назаревич С. А. Модель взаимодействия переработки полимерных материалов в 3D-технологиях // Тезисы докладов XII Международной научно-практич. конференции. Пенза, 2020. С. 73–79.

28. Винниченко А. В., Назаревич С. А. Применение аппарата нечеткой логики для описания функций принадлежности параметров установки модели по переработке 3D-материалов // Тезисы докладов XXI Международной научно-практич. конференции. 2020. С. 27–32.

29. Винниченко А. В., Назаревич С. А. Разработка технического решения для итеративной филаментизации 3D-пластика // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: тезисы докладов Второй Всерос. науч. конференции. СПб., 2021. С. 107–111.

30. Винниченко А. С. Исследование применений аддитивных технологий в производстве аэрокосмической отрасли // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: тезисы докладов Международного форума. СПб., 2020. С. 121–122.

31. Головков В. Г., Пашко С. А. Аддитивные технологии в России // Управление качеством. 2017. № 9. С. 43–48.

32. Дзеник А. Д., Исламов А. Р., Каримов Д. И. Исследование возможности использования аддитивных технологий для производства антифрикционных материалов // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем сб. науч. тр. Всерос. научно-технич. конференции. Курск, 2019. Т. 1. С. 252–254.

33. Дзеник А. Д., Исламов А. Р., Каримов Д. И. Современные технологии производства порошковых материалов для аддитивных технологий // Молодежь и системная модернизация страны: сб. науч. ст. 4-й Международной науч. конференции студентов и молодых ученых. Курск, 2019. Т. 5. С. 247–244.

34. Дзеник А. Д., Сидорова Т. В. Перспективы аддитивных технологий в сфере машиностроительного производства // Качество в производственных и социально-экономических системах: сб. науч. тр. 9-й Международной научно-технич. конференции. Курск, 2021. Т. 1. С. 175–177.

35. Довбыш В. М., Забеднов П. В., Зленко М. А. Аддитивные технологии и изделия из металла // Библиотека литейщика. 2015. № 3. 57 с.

36. Дресвянников В. А., Страхов Е. П. Классификация аддитивных технологий и анализ их экономического использования // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2018. № 2 (26). С. 16–28.

37. Еманов А. А., Кузнецов В. П., Горбач Е. Н. Сравнительное исследование остеоинтеграции изготовленных с применением аддитивных технологий титановых и стальных имплантатов в большеберцовой кости кролика в условиях внешней фиксации // Аддитивные технологии в травматологии и ортопедии. 2020. № 26 (2). С. 98–108.

38. Журавлева А. Э. Аддитивные технологии и перспективы в строительстве // Молодежь и XXI век: Материалы XI Международной молодежной науч. конференции. Курск, 2021. Т. 4. С. 112–115.

39. Замещение обширного диафизарного дефекта бедренной кости с применением аддитивных технологий / Волошин В. П., Ошкуков С. А., Галкин А. Г. и др. // Вестник Ивановской мед. академии. 2020. Т. 25. № 2. С. 51–56.

40. Ильин И. В., Шаронова А. Д. Методология применения современных технологий 3D-моделей // Научный журнал НИУ



ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2019. № 2. С. 130–134.

41. Исмаилов Н. Ш., Мансимов А. Г. Анализ технологий производства с помощью лазера и металлических порошков литейных аппаратов // Сб. ст. LIII Международной научно-практич. конференции. Пенза, 2021. С. 82–84.

42. Исмаилов Н. Ш., Мансимов А. Г. Высокоточное изготовление металлических корпусов с помощью аддитивных технологий // Молодежь, наука, инновации: актуальные вопросы современности: сб. ст. Международной научно-практич. конференции. Пенза, 2021. С. 24–25.

43. Каблов Е. Н. Настоящее и будущее аддитивных технологий // Первая линия. 2017. С. 1–6.

44. Карякин Н. Н., Шубняков И. И., Денисов А. О., Качко А. В., Алыев Р. В., Горбатов Р. О. Правовое регулирование изготовления изделий медицинского назначения с использованием 3D-печати: современное состояние проблемы // Травматология и ортопедия России. 2018. № 4 (24). С. 129–136.

45. Кокарева В. В. Методы имитационного моделирования организации аддитивных технологических процессов в мелкосерийном производстве: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.22 / Кокарева В. В.; ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева». Самара, 2019. 16 с.

46. Котов В. С. Опыт применения аддитивных технологий в мировом судостроении // Судостроение. 2020. № 6. С. 34–37.

47. Котов В. С., Панкратов А. В. Результаты исследований возможности использования полимеров для создания элементов корабельных газотурбинных двигателей с использованием аддитивных технологий // Труды Крыловского гос. науч. центра. 2019. Т. 4. № 390. С. 151–162.

48. Котов В. С., Панкратов А. В., Резникова Р. К. Реализация возможностей аддитивных технологий в техническом обслуживании газотурбинных двигателей // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы Второй международной научно-технич. конференции. Петропавловск-Камчатский, 2020. С. 32–36.

49. Кочкин В. С. Топологическая оптимизация поворотного кулака гоночного болида с использованием аддитивных технологий // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 26. С. 1594–1609.

50. Красавина А. М. Аддитивные технологии как способ формирования мотивации к обучению // Инновационные технологии в науке и образовании. 2017. № 1-1 (9). С. 104–106.

51. Лазаренко В. А., Иванов С. В., Иванов И. С. Использование 3D-принтеров в хирургии (обзор литературы) // Курский научно-практический вестник «Человек и его здоровье». 2018. № 4. С. 61–65.

52. Липницкий Л. А., Пильгун Т. В. Аддитивные технологии и их перспективы в образовательном процессе // Системный анализ и прикладная информатика. 2018. № 3. С. 76–82.

53. Логинова И. С. Исследование формирования структуры в процессе лазерной обработки алюминиевых сплавов, предназначенных для аддитивных технологий: дис. ... кандидат технических наук: 05.16.01 / Логинова И. С.; ФГАУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». М., 2019. 157 с.

54. Ляпков А. А. Полимерные аддитивные технологии: учеб. пособие / Томск : Томский политехнич. ун-т, 2016. С. 114.

55. Мадалиев А., Иванов В.М. Аддитивные технологии и цифровые двойники – из промышленности в медицину // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2019. Т. 14. № 1. С. 229–234.

56. Марисела Родригез-Сальвадор, Леонардо Азаэль Гарсиа-Гарсиа. Аддитивные производственные технологии в здравоохранении // ФОРСАЙТ. 2018. Т. 12. № 1. С.47–55.

57. Междисциплинарные проблемы аддитивных технологий // Сб. тезисов V Всерос. науч. семинара. Томск, 2019. 108 с.

58. Миронов Д. Р., Асылгужин Т. Р., Скорынина С. Е. Обзор рынка аддитивных технологий // Интеллектуальная собственность и инновации: материалы X Международной научно-практич. конференции. Екатеринбург, 2018. С. 132–137.

59. Мишин И. М. Применение аддитивных технологий при ремонте подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2019. № 8. С. 75–77.

60. Морозов Е. А. Аддитивные технологии локального ремонта в машиностроении // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 30. С. 888–890.

61. Пилюгин Р. В. Аддитивные технологии в учебном художественном проектировании // Современные проблемы высшего образования: теория и практика: Актуальные проблемы творческого образования в период пандемии. Спец. выпуск / под общей ред. С. М. Низамутдиновой. М., 2021. С. 527–531.

62. Пилюгин Р. В., Свагин А. Г. Овладение навыками компьютерного 3D-моделирования в процессе обучения проектированию студентов // Научное мнение. 2021. № 4. С. 109–113.

63. Пилюгин Р. В., Хижняк Е. А. Аддитивные технологии в профессиональной подготовке дизайнеров // Проблемы современного педагогического образования. 2019. № 63-1. С. 363–367.

64. Попков А. В., Кононович Н. А. Эффективность использования 3D-имплантатов с биоактивными свойствами для замещения обширных дефектов костей экспериментальное исследование // Травматология и ортопедия России. 2021. Т. 27. № 1. С. 37–52.

65. Привалов А. С. Аддитивные технологии методом спекания и сплавления нитевидных, проволочных и прутковых материалов // Молодежь и наука: шаг к успеху: сб. науч. ст. 4-й Всерос. науч. конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск, 2020. Т. 5. С. 115–120.

66. Привалов А. С. Аддитивные технологии методом спекания и сплавления порошковых материалов // Молодежь и XXI век–2020: материалы X Международной молодежной науч. конференции. Курск, 2020. Т. 4. С. 207–213.

67. Привалов А. С. Аддитивные технологии формообразования. Принцип и перспективы развития // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сб. науч. ст. 2-й Всерос. науч. конференции. Курск, 2019. Т. 4. С. 140–144.

68. Привалов А. С. Краткий обзор аддитивных технологий на предмет использования в машиностроении, не обозначенных на сегодняшний день в числе включенных в стандарт «ассоциации немецких инженеров // Молодежь и наука: шаг к успеху: сб. науч. ст.

5-й Всерос. науч. конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск, 2021. Т. 43. С. 205–210.

69. Привалов А. С. Материалы, применяемые в качестве строительного сырья в 3D-печати // Наука молодых – будущее России: сб. науч. ст. 4-й Международной науч. конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск, 2019. Т. 7. С. 367–370.

70. Привалов А. С. Необходимость создания единого научно-исследовательского центра «технологий аддитивного формообразования, получения неразъемных соединений и нанесения покрытий // Молодежь и XXI век–2021: материалы XI Международной молодежной науч. конференции. Курск, 2021. Т. 6. С. 129–135.

71. Привалов А. С. Применение эффекта памяти формы при аддитивных методах формообразования // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее: сб. науч. ст. 2-й Всерос. науч. конференции. Курск, 2019. Т. 4. С. 130–134.

72. Привалов А. С. Приоритетность при выборе аддитивных технологий и соответствующих или фабберов для машиностроительных производств // Молодежь и системная модернизация страны: сб. науч. ст. 5-й Международной науч. конференции студентов и молодых ученых. Курск, 2020. Т. 5. С. 313–317.

73. Привалов А. С. Краткая характеристика аддитивных технологий перечня стандартов «ассоциации немецких инженеров» // Наука молодых – будущее России: сб. науч. ст. 4-й Международной науч. конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск, 2019. Т. 7. С. 370–375.

74. Применение аддитивных технологий при цифровом проектировании / Анциферов С. И., Сиваченко Л. А., Сычев Е. А. и др. // Additive Fabrication Technology. 2019. № 1(2). С. 31–40.

75. Применение аддитивных технологий 3D-печати в нейрохирургии, вертебрологии, травматологии и ортопедии / Яриков А. В., Горбатов Р. О., Денисов А. А., Смирнов И. И., Фраерман А. П., Соснин А. Г., Перльмуттер О. А., Калинин А. А. // Клиническая практика. 2021. Т. 12. № 1. С. 90–104.

76. Приходько А. А., Виноградов К. А., Вахрушев С. Г. Меры по развитию медицинских аддитивных технологий в Российской

Федерации // Медицинские технологии. Оценка и выбор. 2019. № 2 (36). С. 10–15.

77. Салихова М. Н., Побединский В. В., Ляхов С. В. Развитие применения аддитивных технологий // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: материалы XIII Международной научно-технич. конференции. Екатеринбург, 2021. С. 521–526.

78. Симоненко И. В., Иванов М. В., Киселев И. А. Использование аддитивных технологий для возведения объектов военной инфраструктуры // Повышение обороноспособности государства: материалы заочной науч. конференции. Военный учебный центр. СПб., 2021. С. 61–64.

79. Соколов И. А. Разработка рекомендаций по внедрению аддитивных технологий в российское металлургическое производство: магистерская дисс. / Соколов И. А.; ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина». Екатеринбург, 2018. 124 с.

80. Соловьев Е. В. Использование аддитивных технологий для моделирования и прототипирования биологических объектов: научно-исследовательская работа / Соловьев Е.В.; ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В. Я. Горина». Белгород, 2016. 53 с.

81. Соловьева А. С. Особенности структурно-фазового состояния сплава Ti-6Al-4V при формировании изделий с использованием электронно-лучевой проволочной аддитивной технологии: магистерская дисс. / Соловьева Анна Сергеевна; ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Томск, 2019. 110 с.

82. Сомонов В. В., Мурашова С. В. Направления использования статистического учета в международном инновационном сотрудничестве по аддитивным технологиям // Экономика. Право. Инновации. 2021. № 1. С. 67–75.

83. Сун Кай, Сун Ксиа. Разработка трехмерных композитных печатных материалов // XXI век. Техносферная безопасность. 2018. Т. 3. № 1 (9). С. 26–31.

84. Трошин А. А. Захаров О. В. Применение аддитивных технологий в транспортном строительстве // Техническое

регулирование в транспортном строительстве. 2021. № 1 (46). С. 55–60.

85. Трошин А. А., Захаров О. В. Обзор технологических возможностей fdm-3D принтеров // Современные материалы, техника и технологии. 2020. № 1 (28). С. 61–65.

86. Тулякова Т. В., Озерова В. В., Шибанов Э. Д. Некоторые аспекты обеспечения безопасности продуктов, изготавливаемых с применением пищевых аддитивных технологий // Заметки ученого. 2021. № 2. С. 84–92.

87. Туричин Г. А., Земляков Е. В., Климова-Корсмик О. Г. Прямое лазерное выращивание крупногабаритных металлических компонентов морской и авиационной техники // Высокоэнергетические и специальные материалы: демилитаризация, антитерроризм и гражданское применение: сб. тезисов XIV Международной конференции. Томск, 2018. С. 135–138.

88. Туричин Г. А., Котов В. С., Барсков В. В., Резникова Р. К. Аддитивные технологии в качестве основы внедрения оперативного ремонта энергетического оборудования кораблей и судов ВМФ // Транспортное дело России. 2021. № 1. С. 144–147.

89. Федорова П. С. Перспективы применения аддитивных технологий в машиностроении (аналитический обзор) // Аллея Науки. 2017. № 8. С. 447–454.

90. Халилов Н. А., Коперчак О. П. Обзор текущего состояния аддитивных технологий в судостроении и судоремонте // Вестник науки. Т. 3. № 3 (36). С. 122–127.

91. Халилов Н. А., Огурцов Д. В., Коперчак О. П. Инновационные 3D-технологии в судостроении и судоремонте: обзор текущего состояния // Эксплуатация морского транспорта. 2020. № 4. С. 116–121.

92. Ханыкова Е. В. Аддитивные технологии 3D-печати в производстве титановых имплантов и испытание полученных материалов на пластическое сжатие: магистерская дисс. // Ханыкова Е. В.; ФГАОУ ВО ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина». Екатеринбург, 2018. 75 с.

93. Центрифуга для перемешивания металлических порошков в условиях аддитивного производства / Штрекер Д. С., Чуйков А. С., Хоршев В. С., Рахимов Б. В., Чеусова А. И. // 3D-технологии

в решении научно-практических задач: сб. ст. Всерос. научно-практич. Конференции. Красноярск, 2021. С. 31–33.

94. Цыбин Д. Р., Захаров О. В. Совершенствование конструкции 3D-принтера с кинематикой DELTA // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сб. науч. трудов 7-й Международной молодежной научно-практич. конференции. Курск, 2020. Т. 3. С. 317–322.

95. Чабаненко А. В. Моделирование процессов 3D-печати в управлении качеством построения физической модели объекта // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2019. № 1 (03). С. 10–15.

96. Чабаненко А. В. Повышение качества производства с использованием аддитивных технологий // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. 2017. Т. 3. С. 186–190.

97. Чабаненко А. В. Разработка MVP проекта с применением аддитивных технологий // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: Вторая всерос. науч. конференция. СПб., 2021. С. 168–171.

98. Чабаненко А. В., Белова М. Ю. Автоматизация сборочного процесса проектирования сложных изделий с использованием аддитивного производства // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: сб. ст. XXIV Международной науч. конференции. СПб., 2021. С. 324–329.

99. Чабаненко А. В., Гулевитский А. Ю. Исследование существующих подходов в обеспечении качеством аддитивного производства с применением полимеров // Метрологическое обеспечение инновационных технологий: материалы III Международного форума в рамках празднования 80-летия Санкт-Петерб. гос. ун-та аэрокосмич. приборостроения, 300-летия Рос. академии наук. СПб., 2021. С. 377–378.

100. Чабаненко А. В., Курлов В. В. Процедуры преобразования 3D-модели в исполняемый файл stl для послойного синтеза // Моделирование и ситуационное управление качеством сложных систем: сб. докладов Первой Всерос. науч. конференции. СПб., 2020. С. 190–192.

101. Чабаненко А. В., Назаревич С. А. Обучение основам работы на аддитивных установках с учетом экологических

требований 3D-печати // Всероссийская очно-заочная научно-практическая конференция с международным участием: «Формирование престижа профессии инженера у современных школьников» в рамках Петербургского международного образовательного форума Международной очно-заочной научно-практической конференции. СПб., 2018. С. 249–253.

102. Чабаненко А. В., Семенова Е. Г. Анализ и синтез организационно-технических решений при аддитивном производстве // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2018. № 1(1). С. 33–41.

103. Чабаненко А. В., Смирнова В. О. Обеспечение качества корпусных элементов, выполненных по аддитивным технологиям с учетом входимости модулей РЭА // Инноватика и управление качеством. 2018. С. 192–194.

104. Шумилин В. К., Легкий Н. М., Кривенцов С. М. Основные нормативные правовые акты по охране труда при внедрении аддитивных технологий // Символ науки. 2020. № 3. С. 32–34.

105. Электрофизические методы обработки в современной промышленности. Специальный выпуск: Аддитивные технологии // Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Пермь, 2020. 271 с.

106. Эртесян А. Р., Садыков М. И., Нестеров А. М. Влияние направления 3D-печати на точность изготовления искусственных зубов для полных съемных пластиночных протезов // *Annali d'Italia*. 2021. № 16. С.31–35.

107. Хесуани Ю. Дж., Сергеева Н. С., Миронов В. А. Введение в 3D-биопринтинг: история формирования направления, принципы и этапы биопечати // Гены & Клетки. 2018. Т. XIII. № 3. С. 38–45.

108. Юрасев Н. И. О возможностях развития аддитивных технологий в Российской Федерации // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. № 9 (69). С. 72–79.

109. Янкевич С. Н. Наноструктурированные материалы и аддитивные технологии для персонального электротранспорта // Наука и инновации. 2021. № 1 (215). С. 34–41.

110. Янкевич С. Н., Романович А. В. Экономическое обоснование внедрения технологии 3D-печати при производстве персональных электрических транспортных средств //



Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. тр. Минск : БНТУ, 2020. Т. 1. С. 186–191.

111. Ярославкина Е. Е., Ярославкин А. Ю. Использование аддитивных технологий для экспериментальных исследований методов неразрушающего контроля // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия: Технические науки. 2017. № 3 (55). С. 192–197.

112. Chabanenko A. V., Kurlov A. V., Smirnova A. S., Getmanova G. V. Application of numerical simulation systems when using composite materials used in additive production / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 032034.

113. Technological equipment management for 3D additive / Ivanova O. V., Khalikov R. M., Salov A. S., Nizamutdinov M. Kh., Zinnatullin V. V. // Nanotechnologies in Construction. 2021. № 13(2). P. 117–123.

114. Top 3D Academy: обучение аддитивным технологиям на ведущих предприятиях России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/top-3d-academy-obuchenie-additivnym-tehnologijam-na-veduschih-predpriyatijah-rossii.html>.

115. Чабаненко А. В., Курлов А. В. Construction of mathematical model of training and professional development of personnel support of additive production of REA / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 1–6.

116. 3D-технологии в российской медицине: блиц-опрос [Электронный ресурс]. М. : Консалтинговая группа «ТЕКАРТ» – Центр компетенции «Аддитивные технологии», 2014. Текст: электронный. Режим доступа: <https://www.3dpulse.ru/news/intervyu/3d-tehnologii-v-rossiiskoi-meditsine-blits-opros-chast-1>.

117. Аддитивные технологии – профиль бакалавриата в вузах России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vuzopedia.ru/program/bakispec/453>.

118. Аддитивные технологии – рывок в будущее [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://innovector.tsu.ru/initiatives/page/712>.

119. Аддитивные технологии – это наука создавать [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://umnpro.com/at/additivnye-tehnologii-eto-nauka-sozdavat>.

120. Аддитивные технологии в медицине [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://smuit.ru/about/infrastructure/nauchno-obrazovatelnye-centry/additivnye-tehnologii-v-medicine>.

121. Аддитивные технологии в медицине: как снизить риски для здоровья пациентов медицине [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/3d-printing-medicine>.

122. Аддитивные технологии в образовании [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://new.irort.ru/node/25>.

123. Аддитивные технологии в стоматологии. Производственный центр Fresdental в Испании [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://integral-russia.ru/2017/03/29/additivnye-tehnologii-v-sovremennoj-stomatologii>.

124. Аддитивные технологии и 3D-печать [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://openedu.ru/course/ITMOUniversity/FUSENG2>.

125. Аддитивные технологии и аддитивное производство. Аддитивная технология: описание, определение, особенности применения и отзывы. Аддитивные технологии в промышленности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hookahday.ru/additivnye-tehnologii-i-additivnoe-proizvodstvo-additivnaya>.

126. Аддитивные технологии как неотъемлемая часть учебного процесса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jetcom-3d.ru/application/additivnie-tehnologii-kak-neotemlemaya-chast-uchebnogo-processa>.

127. Аддитивные технологии: настоящее и будущее [Электронный ресурс]: материалы IV международной конференции М.: ВИАМ, 2018. 450 с.

128. Аддитивные технологии: настоящее и будущее [Электронный ресурс]: материалы V международной конференции. М.: ВИАМ, 2019. 448 с.

129. Аддитивные технологии: настоящее и будущее [Электронный ресурс]: материалы международной конференции. М. : ВИАМ, 2020. 216 с.

130. Аддитивные технологии: настоящее и будущее // Сборник материалов II Международной конференции. М., 2016.

131. Аддитивные технологии: настоящее и будущее // Сборник материалов III Международной конференции. М., 2017.

132. Аддитивные технологии: новые возможности для уральской медицины [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/press/3005>.

133. АО «БАЗ» и УГНТУ открыли Центр цифровых и аддитивных технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://armtorg.ru/news/26673>.

134. Дресвянников В. А., Страхов Е. П. Аддитивные технологии как технологическая инновация: понятие, содержание, анализ развития [Электронный ресурс] // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2018. № 1. URL: <https://ekonomika.snauka.ru/2018/01/15666> (дата обращения: 24.01.2022).

135. Использование аддитивных технологий в клинической стоматологии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dentalmagazine.ru/posts/ispolzovanie-additivnyh-tehnologij-v-klinicheskoy-stomatologii.html>.

136. Использование аддитивных технологий в современной медицине и стоматологии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.solver.ru/publikatsii/ispolzovanie-additivnykh-tehnologiy-v-sovremennoy-meditsine-i-stomatologii>.

137. Каталог аддитивного оборудования, производимого на территории Российской Федерации – 2019 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/katalog\\_additivny\\_technology.pdf](https://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/katalog_additivny_technology.pdf).

138. Лаборатория аддитивных технологий ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.3dpulse.ru/companies/laboratoriya-additivnyh-tehnologii-pfmits>.

139. Методы аддитивных технологий. Аддитивные технологии в строительстве. Аддитивные технологии в образовании [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dagexpo.ru/metody-additivnyh-tehnologii-additivnye-tehnologii-v-stroitelstve>.

140. Московский Политех: опыт внедрения 3D-технологий в учебный процесс [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blog.iqb.ru/3d-technologies-moscow-polytech>.

141. Научно-исследовательская лаборатория «Аддитивные технологии в медицине» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kpfu.ru/prioritetnyenapravleniya/laboratorii/sae39translyacionnaya-7p-medicina39/nil-39additivnye-tehnologii-v-medicine39>.

142. Образование и аддитивные технологии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://imprinta.ru/tpost/zsakhv491obrazovanie-i-additivnie-tehnologii>.

143. ОДК–УМПО осваивает аддитивные технологии в авиадвигателестроении [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.umpo.ru/press-tsentr/news/umpo/odk-umpo-osvaivaetadditivnye-tehnologii-v-aviadvigatelestroenii/>

144. Официальный сайт Агентства по техническому регулированию и метрологии. Утверждены новые стандарты в области аддитивных технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gost.ru/portal/gost>.

145. Официальный сайт Департамента общего образования Томской области. В Томске открылся центр аддитивных технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://edu.tomsk.gov.ru/news/front/view/id/15492>.

146. Официальный сайт ежегодной выставки «Металлообработка–2022». Список компаний, участвующих в выставке [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.metobr-expo.ru/ru/ci/20056>.

147. Официальный сайт журнала «Современная электроника». Технологии аддитивного производства – рынок, тенденции и перспективы до 2025 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.soel.ru/novosti/2018/tehnologii\\_additivnogo\\_proizvodstva\\_rynok\\_tendentsii\\_i\\_perspektivy\\_do\\_2025\\_g](https://www.soel.ru/novosti/2018/tehnologii_additivnogo_proizvodstva_rynok_tendentsii_i_perspektivy_do_2025_g).

148. Официальный сайт информационно-аналитического журнала РУБЕЖ. Интервью с Михаилом Турундаевым. Синергия компетенций ГК «Росатом» стала основой для развития аддитивных технологий в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru-bezh.ru/intervyu/41385-mikhail-turundaev-sinergiya-kompetencij-gk-rosatom-stala-osnovoj>

149. Официальный сайт компании Эра 3D. Сфера применения аддитивных технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://era-3d.ru/baza-znaniy/poleznaya-informatsiya/sfery-primeneniya-additivnykh-tehnologiy>

150. Официальный сайт СБЕР Про Медиа. Печать с нуля. Как аддитивные технологии меняют автопром [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sber.pro/publication/pechat-s-nulia-kak-additivnye-tehnologii-meniaiut-avtoprom>.

151. Применение аддитивных технологий в 3D-печати и прототипировании [Электронный ресурс] : электрон. курс. Режим доступа: <https://edunano.ru/courses/primenenie-additivnykh-tehnologiy-v-3d-pechati-i-prototipirovanii/>

152. Профессиональная подготовка по аддитивным технологиям [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://n-t-u.ru>.

153. Профессия Специалист по аддитивным технологиям [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://grizli.club/professii/tehnicheskie/professiya-spetsialist-po-additivnym-tehnologiyam-opisanie-sut-kakaya-zarplata/?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fgo.mail.ru%2F](https://grizli.club/professii/tehnicheskie/professiya-spetsialist-po-additivnym-tehnologiyam-opisanie-sut-kakaya-zarplata/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fgo.mail.ru%2F).

154. Путеводитель по 3D-печати в медицине [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vektor.us.ru/blog/3d-tehnologii-v-medicine.html>.

155. Росатом к 2030 году создаст до 10 центров аддитивных технологий в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/10165227>.

156. Рынок технологий 3D-печати в России и мире: перспективы внедрения аддитивных технологий в производство [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dtoday.ru>.

157. Современные технологии в образовательном процессе – уже реальность [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/1617db764a/3d-education-to-the-masses>.

158. Современные технологии производства. Аддитивные технологии и аддитивное производство [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://extxe.com/5864/additivnye-tehnologii-i-additivnoe-proizvodstvo>.

159. Специальность Аддитивные технологии в колледжах России [Электронный ресурс] / ВсеколледжиРФ, 2012. URL: <http://www.vsekolledzhi.ru/kolledzh/specialnost/additivnye-tehnologii>.

160. Форум аддитивных технологий «Будущее наступило: аддитивное производство в новых реалиях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosmould.ru.messefrankfurt.com/moscow/ru/3dtech/programme-events/Forum.html#navigation>.

161. 3D-принтер с гибридной компоновкой: пат. № 200 698 Рос. Федерация; заявл. 27.05.20; опубл. 05.11.20 / Куц В. В., Гречухин А. Н., Разумов М. С., Олещицкий А. В. и др.

162. Способ изготовления топологически оптимизированного рабочего колеса водометного движителя методом прямого лазерного выращивания: пат. № 2 718 823 Рос. Федерация; заявл. 08.10.19; опубл. 14.04.20 / Туричин Г. А., Земляков Е. В., Бабкин К. Д., Вильданов А. М. и др.

## История создания 3D-принтеров

**Чарльз Халл (Charles Hull)**, создатель первого стереолитографического 3D-принтера (SLA)



**Скотт Крамп (Scott Crump)**, создатель первого 3D-принтера послойного наплавления (FDM)



## Области применения 3D-печати

- Архитектура
- Строительство
- Промышленный дизайн
- Автомобильная промышленность
- Аэрокосмическая отрасль
- Военно-промышленная отрасль
- Медицина
- Биоинженерия
- Производство модной одежды и обуви
- Ювелирное дело
- Образование
- Геоинформационные системы
- Пищевая промышленности
- Бытовая (домашняя) печать и многое другое.



Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

## Основные технологии 3D-печати

- **SLA** - стереолитография (Stereolithography)
- **DLP** – цифровая проекция (Digital Led Projector)
- **MJM** – многоструйная печать (Multi-jet Modeling)
- **SLS** – селективное спекание (Selective laser sintering)
- **SLM** – селективное сплавление (Selective laser melting)
- **CJP** – цветная струйная печать (Color jet printing)
- **FDM** – послойное наплавление (Fused deposition modeling)

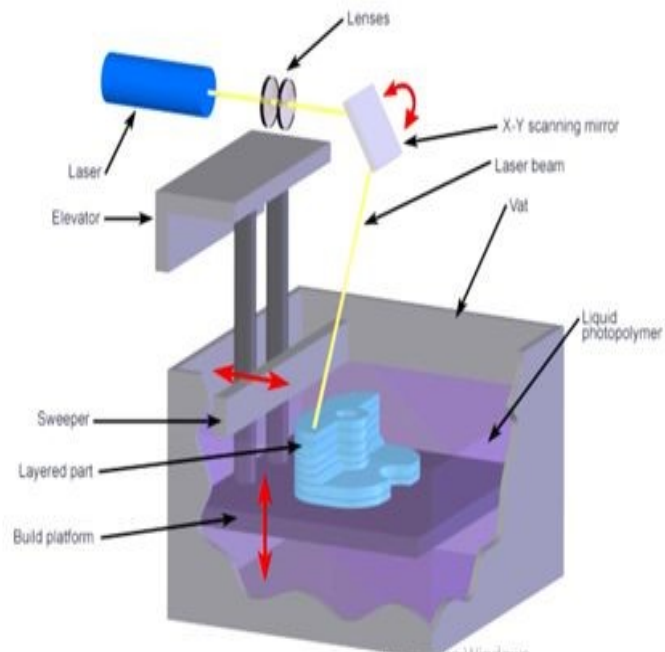


Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

### SLA (Stereolithography) Лазерная стереолитография

Отверждение жидкого фотополимерного материала под действием лазера.

Позволяет печатать модели с очень высокой точностью



Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

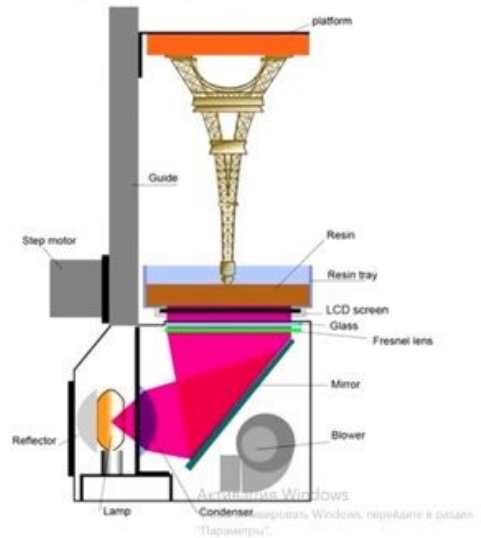
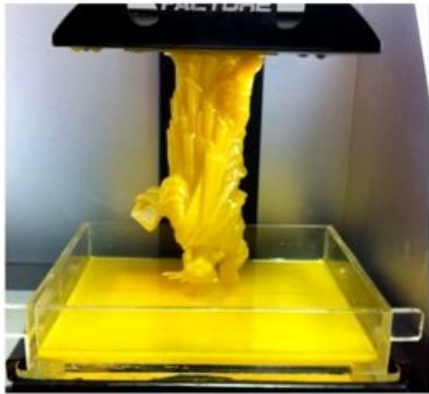


## DLP (Digital Led Projector)

### Цифровая светодиодная проекция

Отверждение жидкого фотополимерного материала с помощью цифрового проектора.

Технология схожа с SLA



## MJM (Multi-jet Modeling)

### Технология многоструйного моделирования

Построение слоев производится с помощью специальной печатной головки, оснащенной массивом сопел. Количество сопел варьируется от 96 до 448.

Позволяет осуществлять многоцветную печать.

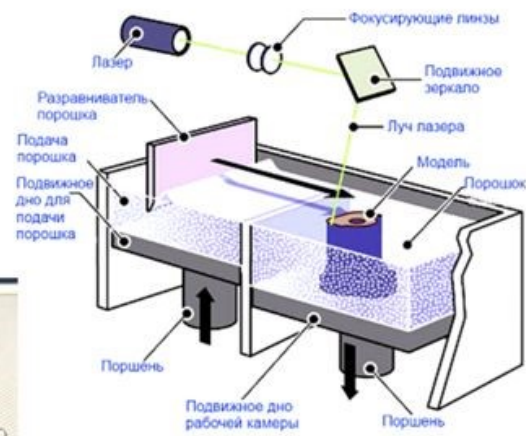
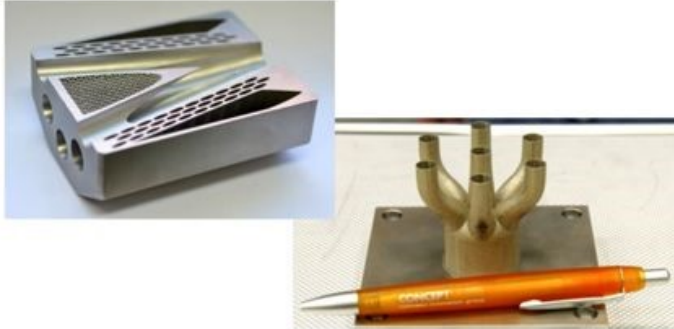
Метод 3D-печати, запатентованный компанией 3D Systems. Технология используется в линейке профессиональных принтеров ProJet.



## SLS (Selective laser sintering) и SLM (Selective laser melting)

Селективное лазерное спекание и селективное лазерное сплавление

Выборочное спекание или сплавление металлических или полимерных порошков при помощи одного или нескольких мощных лазеров.



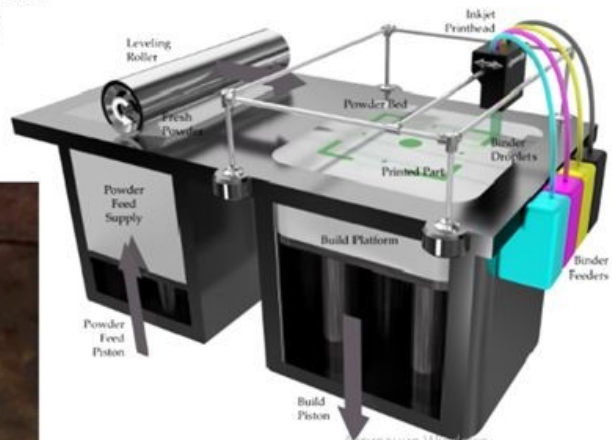
Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел

## CJP (Color jet printing)

Цветная струйная печать

Нанесение тонких слоев порошкообразных расходных материалов, с последующим выборочным нанесением связующего полимера.

Полноценная цветная печать.



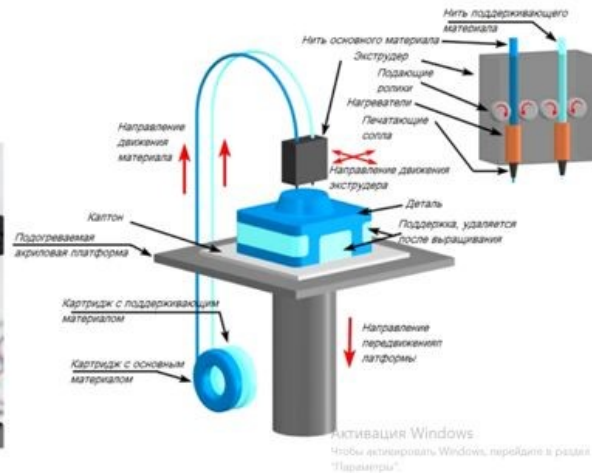
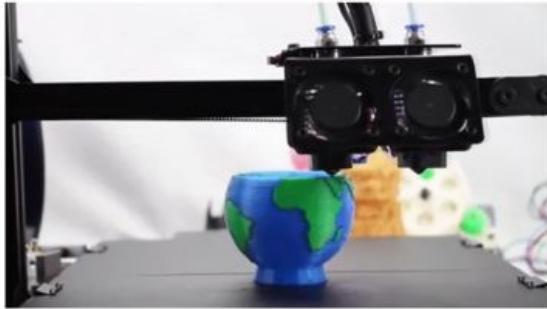
Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

# FDM (Fused deposition modeling)

## Моделирование методом послойного наплавления

Печать производится расплавленной пластиковой проволокой

Самый распространенный вид печати



## Материалы, используемые для 3D-печати

### FDM печать

- PLA
- ABS
- PVA
- Nylone
- PC
- HDPE
- PP
- PCL
- PPSU
- Acrylic
- PET
- HIPS
- Flex (PU)
- Древесные имитаторы
- Имитаторы камня
- Имитаторы металлов

и многое другое

### SLA и DLP печать

- Фотополимерные смолы

### SLS и SLM печать

- Полимерные порошки
- Металлические порошки

### Другие виды печати

- Воск
- Гипсовый порошок
- Глиняные смеси
- Бетонные смеси
- Шоколад
- и прочее...

Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел "Параметры".

## PLA - Полилактид

Один из наиболее часто используемых в печати термопластов.

ПЛА – производится из кукурузы или сахарного тростника.

Отличительными чертами являются экологичность, пищевая безопасность, плавление при низких температурах и слабая усадка

Идеален для прототипов и декоративных изделий



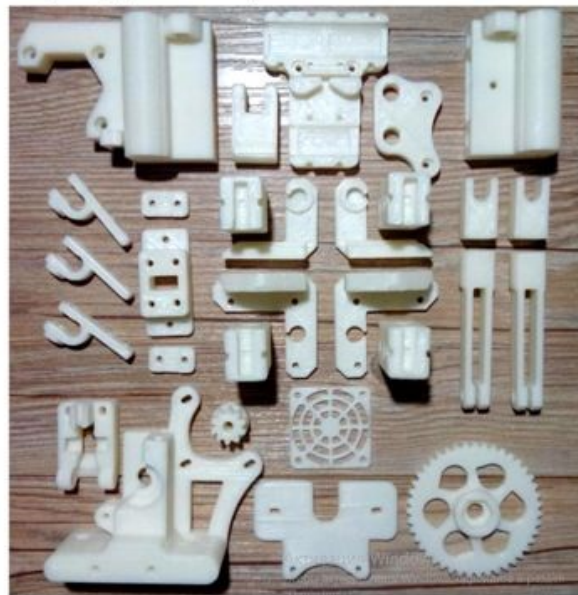
## ABS - Акрилонитрилбутадиенстирол

Не менее широко применяемый материал для 3D-печати

Безопасен при нормальных условиях эксплуатации

Благодаря высокой прочности, хорошо подходит для конструктивных элементов

Подходит для изготовления прототипов, механических и конструктивных частей изделия, а также для мелкосерийного производства





## Nylone – Нейлон (нейлон-6, нейлон-66)

Обладает высокой прочностью и износостойкостью, а также довольно высоким коэффициентом скольжения

Идеальный материал для изготовления шестерней и втулок

Может использоваться в агрессивных средах



## РЕТ - Полиэтилентерефталат

Нерастворим в воде и органических растворителях

Устойчив к кислотам и слабым щелочам

Достаточно устойчив к высоким температурам

Высокая износостойкость

Возможность использования вторсырья



## Имитаторы «других» материалов (камня, металла, древесины)

Желаемый материал, в виде порошкового наполнителя, подмешивается в основной пластик (как правило PLA или ABS)

Используется в декоративных целях



## Фотополимерные смолы

Возможность печатать изделия с исключительно высокой точностью

Высокая механическая прочность

Относительно высокая стоимость

Относительно сложные условия хранения



## Промышленная 3D-печать

Печать сложных деталей для штучного производства и мелких серий

Печать опытных образцов

Позволяет получить достаточную прочность при существенном снижении массы изделия

Наиболее востребована в аэрокосмической отрасли



## Строительная 3D-печать

Строительные 3D-принтеры используют специальную бетонную смесь

Могут использоваться как для постройки зданий целиком, так и для постройки блоков (модулей) здания

Возможность создания объектов сложной формы и внутренней структуры

Низкая скорость печати





## Биопечать и печать органов

Рабочий материал подается из диспенсера под видом постоянной струи или дозированными каплями.

Биопечать используется для создания мягких тканей с низкой плотностью клеток – кожи и хрящей.

Печатью органов на 3D принтере занимаются всего несколько компаний. Наибольших успехов на данной стезе достигли инженеры американской компании Organovo, сумевшие напечатать печеночную ткань.



## Медицинская 3D-печать

Изготовление протезов

Изготовление вживляемых имплантов

Планирование операций

Обучающие и тренировочные модели





## 3D-печать дома

Домашняя печать стала доступной благодаря появлению чертежей и ПО для 3D-принтеров в открытом доступе, а также благодаря развитию идеологии "REP-RAP"

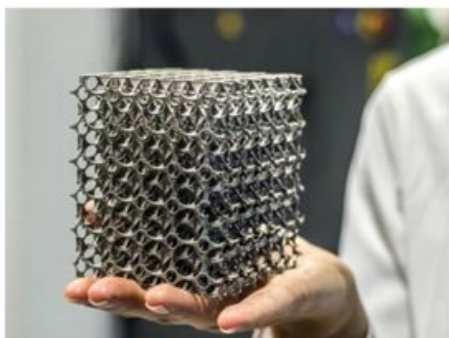
Бытовая 3D-печать используется для ремонта, изготовления игрушек и моделизма, по хозяйственным нуждам и просто в качестве хобби.



## Преимущества и недостатки

### Преимущества

- Печать сложной внутренней структуры
- Малое количество отходов производства
- Низкая стоимость бытовых 3D-принтеров
- Доступность материалов
- Относительная простота в использовании



### Недостатки

- Высокий процент брака
- Высокая цена профессионального оборудования
- Более низкие показатели прочности



## Перспективы технологии

Каждый день появляются новые варианты применения 3D-печати.

Благодаря большому открытому сообществу пользователей технологии постоянно совершенствуются.

В разработку аддитивных технологий серьезно вкладываются такие крупные корпорации, как Lockheed Martin и General Electrics.

Однако интерес к 3D-печати, вопреки прогнозам, растет медленно, и ожидаемого взрыва интереса к технологии пока не произошло.



Активация Windows  
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел  
"Параметры".