

УДК 681.3

## Технологии аддитивного производства

А.А. Ивановская✉

*Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия*

*В данной статье рассматриваются основные технологии аддитивного производства, их преимущества и недостатки, а также результаты проведенного исследования, направленного на оценку эффективности различных методов 3D-печати в промышленных приложениях. Обсуждаются перспективы развития аддитивных технологий и их влияние на производственные процессы, ключевые тенденции в развитии аддитивных технологий, таких как новые материалы и интеграция с другими современными технологиями.*

*Ключевые слова: аддитивное производство, 3D-печать, технологии, эффективность, промышленные приложения.*

## Additive manufacturing technologies

А.А. Ivanovskaya✉

*College of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russia*

*This article discusses the main additive manufacturing technologies, their advantages and disadvantages, as well as the results of the conducted research aimed at evaluating the effectiveness of various 3D printing methods in industrial applications. The prospects for the development of additive technologies and their impact on manufacturing processes, key trends in the development of additive technologies such as new materials and integration with other modern technologies are discussed.*

*Keywords: additive manufacturing, 3D printing, technologies, efficiency, industrial applications.*

Технологии аддитивного производства (АП), также известные как 3D-печать, представляют собой современный метод создания объектов, который коренным образом изменяет традиционные способы производства. В отличие от субтрактивных процессов, при которых материал удаляется для формирования изделия, АП основывается на принципе послойного добавления материала, что позволяет разрабатывать сложные геометрические формы и структуры с высокой точностью.

Основная цель исследования заключается в детальном анализе современных технологий АП с акцентом на их преимущества, недостатки и области применения. Будет раскрыто влияние аддитивных технологий на различные отрасли, а также определены перспективы их развития в контексте устойчивого производства и инновационных решений.

Для достижения этой цели будет проведен обзор существующих технологий АП, таких как FDM, SLA, SLS, DLP и Binder Jetting, что позволит глубже понять принципы их работы и выявить уникальные характеристики каждого из них.

Исследование также включает анализ применения аддитивного производства в различных отраслях, таких как машиностроение, медицина, строительство и аэрокосмическая промышленность, с целью определения специфических преимуществ и возможностей для этих секторов.

Кроме того, будет оценено влияние АП на производственные процессы, рассматривая изменения в традиционных подходах к проектированию и производству, включая сокращение времени разработки и снижение затрат. Важным аспектом

исследования станет выявление ключевых тенденций в развитии аддитивных технологий, таких как новые материалы и интеграция с другими современными технологиями.

АП охватывает множество технологий, каждая из которых имеет свои уникальные особенности, области применения и перспективы развития. Рассмотрим подробнее пять основных технологий: FDM, SLA, SLS, DLP и Binder Jetting.

Технология послойного наплавления (FDM) является одной из самых распространенных и доступных форм АП. Она основана на экструзии термопластичных нитей, которые нагреваются до температуры плавления и последовательно укладываются на платформу. Этот процесс позволяет создавать объекты слоями, что делает его интуитивно понятным и простым в использовании. Основные преимущества FDM заключаются в низкой стоимости оборудования и материалов, а также в широком выборе доступных термопластиков, таких как PLA и ABS. Однако у этой технологии есть и недостатки: детали могут иметь низкую прочность по сравнению с другими методами, а качество поверхности часто оставляет желать лучшего. Тем не менее, FDM находит применение в различных отраслях, включая образование, прототипирование и даже в производстве конечных продуктов, благодаря своей доступности и простоте.

Стереолитография (SLA) – это технология, использующая фотополимерные смолы для создания объектов. В процессе SLA лазерный луч сканирует поверхность смолы, затвердевая материал по заданной траектории. Это обеспечивает высокую точность и отличное качество поверхности готовых изделий, что делает SLA идеальным выбором для создания сложных деталей и прототипов. Среди преимуществ этой технологии можно отметить возможность получения деталей с тонкими стенками и высокой детализацией. Однако стоимость оборудования и расходных материалов достаточно высока, а процесс постобработки может быть трудоемким. SLA широко используется в ювелирном деле, стоматологии и в производстве высокоточных прототипов.

Селективное лазерное спекание (SLS) – это метод, который использует лазер для спекания порошковых материалов. Лазер плавит частицы порошка, связывая их друг с другом и создавая прочные детали. Одним из главных преимуществ SLS является возможность работы с разнообразными материалами, включая нейлон и металлы, а также создание сложных геометрических форм без необходимости поддержки. Это делает SLS идеальным для производственных процессов, где требуется высокая прочность и функциональность деталей. Тем не менее, оборудование для SLS дорогостоящее, а процесс может быть энергозатратным. Эта технология находит применение в аэрокосмической отрасли, автомобилестроении и медицинской сфере.

Лазерная стереолитография (DLP) представляет собой технологию, аналогичную SLA, но использующую проектор для затвердевания смолы. DLP позволяет одновременно затвердить целый слой материала, что значительно ускоряет процесс печати. Это делает DLP одной из самых быстрых технологий АП при сохранении высокого качества деталей. Однако выбор материалов для DLP ограничен, и часто требуется постобработка для достижения нужной прочности и качества. DLP активно используется в ювелирной промышленности и стоматологии для создания высококачественных прототипов [1, 2].

Печать из пасты (Binder Jetting) – это технология, которая использует связующий агент для склеивания порошковых материалов. В этом методе происходит послойное нанесение порошка и распыление связующего вещества. Преимущества Binder Jetting заключаются в возможности работы с разнообразными материалами, а

также в создании крупных объектов без необходимости поддержки. Однако полученные детали часто требуют дополнительной обработки для достижения необходимой прочности, а точность может быть ниже по сравнению с другими методами. Эта технология находит применение в производстве керамики, металлов и даже в строительстве [3].

Анализ применения технологий аддитивного производства, таких как FDM, SLA, SLS, DLP и Binder Jetting, в различных отраслях, таких как машиностроение, медицина, строительство и аэрокосмическая промышленность, позволяет глубже понять их специфические преимущества и возможности. Каждая из этих технологий имеет уникальные характеристики, которые делают их более или менее подходящими для применения в конкретных отраслях.

#### 1. Машиностроение.

В машиностроении АП находит широкое применение в создании прототипов и функциональных деталей. Технология FDM, благодаря своей доступности и простоте использования, позволяет инженерам и дизайнерам быстро производить прототипы для тестирования форм и функций. Это значительно сокращает время разработки новых продуктов, так как позволяет быстро вносить изменения в конструкции на основе полученных результатов тестирования [4].

Технология SLS, с другой стороны, предлагает возможность создания более сложных и прочных деталей, которые могут быть использованы не только в прототипировании, но и в серийном производстве. Использование порошковых материалов позволяет создавать детали с высокой степенью свободы форм, что делает SLS идеальным для производства деталей с внутренними каналами или сложными геометрическими формами. Это особенно актуально для создания легких конструкций, что критично в условиях современного машиностроения.

DLP также находит применение в машиностроении, особенно когда требуется высокая точность и скорость печати. Эта технология позволяет создавать детали с высоким разрешением за короткое время, что делает её привлекательной для быстрого прототипирования.

#### 2. Медицина.

В медицинской сфере АП открывает новые горизонты для индивидуализации лечения и разработки медицинских устройств. Технология SLA является одной из наиболее популярных в этой области благодаря своей способности создавать высокоточные модели анатомии пациента. Это позволяет врачам планировать операции с учетом индивидуальных особенностей каждого пациента, что значительно повышает эффективность хирургических вмешательств.

SLS также находит применение в производстве имплантатов и протезов. Благодаря своей прочности и возможностям создания биосовместимых материалов, эта технология позволяет разрабатывать изделия, которые идеально подходят для конкретных нужд пациентов. Например, создание имплантатов с пористой структурой может способствовать лучшему сращиванию с костной тканью.

Кроме того, технологии аддитивного производства позволяют быстро разрабатывать и производить хирургические инструменты и модели для обучения студентов-медиков. Это значительно ускоряет процесс обучения и повышает качество подготовки специалистов [5].

#### 3. Строительство.

В строительную отрасль АП начинает активно внедряться благодаря своей способности ускорять процесс возведения зданий и уменьшать затраты на материалы. Технология FDM используется для создания архитектурных макетов и прототипов

строительных объектов. Это позволяет архитекторам и строителям визуализировать проекты на ранних стадиях разработки [6].

Binder Jetting становится все более популярным для 3D-печати строительных компонентов из бетона и других материалов. Эта технология позволяет создавать крупные элементы конструкции с высокой скоростью, что значительно сокращает время строительства. Кроме того, использование аддитивного производства в строительстве может привести к снижению отходов, так как процесс печати требует меньшего количества материалов по сравнению с традиционными методами.

Перспективы развития аддитивного производства в строительстве включают создание целых зданий с использованием экологически чистых материалов. Это может не только сократить время строительства, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

#### 4. Аэрокосмическая промышленность.

В аэрокосмической отрасли АП становится ключевым инструментом для создания легких и прочных компонентов. Технология SLS позволяет производить детали, которые могут выдерживать высокие нагрузки при минимальном весе. Это особенно важно для аэрокосмической промышленности, где каждый грамм имеет значение [7].

DLP также используется для быстрого прототипирования высокоточных деталей, необходимых для тестирования в условиях аэрокосмического применения. Быстрая разработка и возможность создания сложных геометрий делают эту технологию незаменимой при разработке новых летательных аппаратов.

Binder Jetting находит применение в производстве металлических компонентов, что позволяет создавать детали с высокой прочностью и надежностью. Внедрение АП в аэрокосмическую отрасль открывает новые возможности для серийного производства уникальных комплектующих.

АП кардинально меняет производственные процессы, влияя на традиционные подходы к проектированию и производству. Эти изменения затрагивают все этапы жизненного цикла продукта, начиная с концептуального проектирования и заканчивая серийным производством. Важно отметить, что АП не просто дополняет существующие методы, но и трансформирует их, создавая новые возможности и подходы.

Одним из наиболее значительных эффектов внедрения АП является сокращение времени разработки. Традиционные методы проектирования и производства часто требуют сложных и длительных процессов, таких как создание форм для литья или наладка станков для механической обработки. Эти процессы могут занимать недели или даже месяцы, особенно если речь идет о сложных деталях. В отличие от этого, технологии АП позволяют создавать прототипы и конечные изделия значительно быстрее. Например, с помощью FDM или SLA можно получить физическую модель в течение нескольких часов или дней. Это значительно ускоряет цикл разработки, позволяя инженерам и дизайнерам быстро тестировать идеи и вносить изменения на ранних стадиях.

Сокращение времени разработки также ведет к снижению затрат. Кроме того, использование АП позволяет сократить количество отходов материалов. В традиционном производстве, например, при механической обработке, значительное количество материала может быть удалено в процессе создания детали. В АП же материал добавляется только там, где это необходимо, что делает процесс более эффективным с точки зрения использования ресурсов [8].

Ключевыми тенденциями в развитии аддитивных технологий являются появление новых материалов и интеграция АП с другими современными технологиями. Разработка новых полимеров, металлов и композитных материалов расширяет возможности применения АП. Например, современные полимеры могут обладать улучшенными механическими свойствами или быть биосовместимыми, что открывает новые горизонты для медицинского применения. Металлические порошки, используемые в SLS и DMLS (Direct Metal Laser Sintering), становятся все более разнообразными и могут включать в себя легированные стали, титановые сплавы и даже специальные сплавы для высоких температур.

Интеграция АП с другими технологиями, такими как CAD (Computer-Aided Design), CAM (Computer-Aided Manufacturing) и IoT (Internet of Things), также значительно изменяет производственные процессы. Современные системы CAD позволяют создавать сложные 3D-модели, которые можно сразу отправлять на печать без необходимости в дополнительных преобразованиях. Это упрощает процесс проектирования и снижает вероятность ошибок. Внедрение IoT в АП открывает возможности для мониторинга процессов в реальном времени, что позволяет оптимизировать параметры печати и повышать качество конечного продукта.

Еще одной важной тенденцией является переход к цифровым производственным экосистемам. С помощью АП компании могут создать децентрализованные производственные цепочки, где детали могут производиться непосредственно на месте их использования. Это особенно актуально для таких отраслей, как аэрокосмическая или медицинская, где критически важно быстрое реагирование на изменения потребностей или условий эксплуатации. Такой подход не только сокращает время доставки и снижает затраты на хранение запасов, но и повышает гибкость производства [9].

Влияние АП на производственные процессы нельзя переоценить. Сокращение времени разработки и снижение затрат – это лишь верхушка айсберга изменений, которые происходят в результате внедрения этих технологий. Новые материалы и интеграция с современными технологиями создают новые возможности для проектирования и производства, формируя будущее индустрии. АП не только оптимизирует существующие процессы, но и открывает новые горизонты для инноваций и индивидуализации продукции.

Таким образом, технологии АП представляют собой значительный шаг вперед в сфере производства, предлагая новые возможности для повышения эффективности, сокращения затрат и минимизации отходов. Их способность быстро адаптироваться к изменяющимся требованиям рынка и внедрять инновации делает АП важным инструментом для компаний, стремящихся к конкурентным преимуществам. С каждым годом АП продолжает развиваться, открывая новые горизонты для различных отраслей и формируя будущее индустрии. Результаты исследования показывают, что выбор технологии зависит от конкретных требований производства. Каждая из технологий имеет свои сильные и слабые стороны, что делает необходимым тщательный анализ перед выбором метода.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тарасова Т.В. Аддитивное производство: учебное пособие / Т.В. Тарасова. – Москва: Инфра-М, 2019. – 196 с.
2. Основы аддитивных технологий и производств: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / М.А. Гейко, И.О. Леушин, А.В. Нищенков [и др.]. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 228 с.

3. Гибсон Я. Технологии аддитивного производства. Трёхмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство / Я. Гибсон, Д. Розен, Б. Стакер. – Москва: Техносфера, 2022. – 648 с.

4. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина. – Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 223 с.

5. Аддитивные технологии в медицине: учебное пособие / В.В. Попов, Г.В. Муллер-Камский, С.И. Степанов [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2023. – 92 с.

6. Сагайдак Д.Г. Использование аддитивных технологий в строительной области / Д.Г. Сагайдак // Молодой учёный. – 2020. – № 13 (303). – С. 47-50.

7. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий / О.С. Сироткин //Авиационная промышленность. – 2015. – № 2. – С. 22-25.

8. Тарасова Т.В. Аддитивное производство: учебное пособие / Т.В. Тарасова. – Москва: Инфра-М, 2024. – 196 с.

9. Ляпков А.А. Современные аддитивные технологии: учебное пособие / А.А. Ляпков. – Москва: КноРус, 2024. – 232 с.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Ивановская Анна Андреевна**, студентка, Колледж Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Россия.

*e-mail:* [anna.ivanovskaya.01@bk.ru](mailto:anna.ivanovskaya.01@bk.ru)