

# №1(8) • 2025 **АПГРЕЙД**

Аддитивное производство и цифровая трансформация в промышленности

## **В этом выпуске:**

- **Ниша серийного аддитивного производства свободна**
- **Аддитивное производство: прошлое учит, будущее ждет зрелых решений**
- **Additive Minded 2025 — новаторы в деле**
- **Преобразующие возможности**

**Экспертиза • Интервью • Нейросети • Металлы •  
Применения • Люди слова и дела • База знаний**





**«Если вы хотите будущее,  
которое сделает вас счастли-  
выми, вы должны его сна-  
чала создать».**

«Pokud chcete budoucnost, která  
vás udělá šťastnými, musíte ji nejdříve  
vytvořit».

— Томас Билы, чешский мотива-  
ционный спикер и автор.

**Редакция:**

Главный редактор:  
Дмитрий Трубашевский  
моб.: +7 (916) 950-21-89  
e-mail: chief\_editor@industry3d.ru

**Шеф-редактор:**

Светлана Бакарджиева  
моб.: +7 (910) 938-25-50  
e-mail: busido.63@mail.ru

По вопросам сотрудничества и рекламы пишите на [info@industry3d.ru](mailto:info@industry3d.ru).

**Распространение:**

«АПГрейд» выходит шесть раз в год в виде бесплатного цифрового издания.

**Точность содержания:**

Издатель прилагает все возможные усилия для обеспечения точности информации, однако не несет ответственности за возможные ошибки или упущения, а также за их последствия. Редакция также не отвечает за мнения и заявления авторов или рекламодателей, которые могут не совпадать с позицией издателя.

**Условия размещения статей:**

Редакция принимает статьи от авторов из России и из-за рубежа. Принятые к публикации материалы могут по согласованию с авторами редактироваться для соответствия стилистике издания. Редакция оставляет за собой право не публиковать отдельные присланные статьи по причине их несоответствия тематике и стилистике издания, а также вследствие ограниченного объема издания.

**Реклама:**

Рекламная продукция, размещаемая в данном издании, должна соответствовать этическим стандартам. Однако само по себе размещение рекламы не является гарантией качества и ценности рекламируемых товаров, а также достоверности утверждений, сделанных их производителями.

**Воспроизведение, хранение и использование:**

Допускается создание одной копии статей исключительно для личного некоммерческого использования, в соответствии с положениями действующего законодательства Российской Федерации об авторском праве и смежных правах. Все права на публикацию защищены. За исключением случаев, прямо указанных выше, воспроизведение, изменение, распространение или иное использование материалов в любой форме и любыми средствами без предварительного письменного разрешения правообладателя запрещено.

Издание «АПГрейд» доступно для бесплатного скачивания на сайте <https://industry3d.ru>.

**О чем наше издание**

Мы освещаем главные новости и тренды в сфере промышленных аддитивных технологий, 3D-сканирования, метрологии, автоматизации и цифровизации современных производств.

**Целевая аудитория**

Издание будет полезно широкому кругу читателей, чья профессиональная деятельность или интересы связаны с инновациями, технологиями и производством:

- Инженерам и конструкторам
- Руководителям производств и техническим директорам
- Ученым и исследователям
- Предпринимателям и стартапам
- Студентам и преподавателям
- Архитекторам и дизайнерам
- Медицинским специалистам
- Инвесторам и аналитикам
- Энтузиастам и любителям технологий

АПГрейд станет незаменимым источником знаний и вдохновения для всех, кто стремится быть на передовой технологического прогресса и использовать аддитивное производство для решения современных задач.

**Основные темы**

Аддитивные технологии, аддитивное производство, прямое цифровое производство, 3D-печать, 3D-сканирование, робототехника, искусственный интеллект, цифровизация, цифровая трансформация, обратный инжиниринг, бесоснасточное производство, гибкое производство, интеллектуальные платформы, быстрое прототипирование, цифровые фабрики, центры аддитивного производства, 3D-фермы, гибридное производство, экспертиза, интервью с лидерами рынка.

# В номере:

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| Аддитивное производство: прошлое учит, будущее ждет зрелых решений...   | 8   |
| Additive Minded 2025 — новаторы в деле .....                            | 13  |
| Ниша серийного аддитивного производства свободна.....                   | 19  |
| Дао для аддитивщиков: ничего случайного .....                           | 28  |
| Аддитивка расширяет сферы влияния .....                                 | 37  |
| Новый отчет CONTEXT: спад продаж в 3D-печати достиг 24% .....           | 48  |
| ЦАТ – генератор креативных инновационных решений .....                  | 52  |
| Преобразующие возможности .....                                         | 59  |
| Эра персонализации автомобильных интерьеров .....                       | 63  |
| Брать надежностью и доступностью.....                                   | 70  |
| MatterGen: ИИ создает материалы будущего .....                          | 77  |
| Люди слова и дела .....                                                 | 86  |
| Как оставить уникальный след .....                                      | 91  |
| Metal MEX: микс из инновационности, доступности и универсальности ..... | 97  |
| База знаний .....                                                       | 104 |



## Коллаж на титульном листе:

1. <https://leap71.com>
2. Генеративное изображение

**Подписывайтесь на наши группы и каналы в соцсетях:**

**Telegram:** [t.me/infoindustry3d](https://t.me/infoindustry3d)  
**Вконтакте:** [vk.com/media\\_industry3d](https://vk.com/media_industry3d)  
**Дзен:** [dzen.ru/industry3d](https://dzen.ru/industry3d)



Высокотехнологичное производство:  
3D-ПРИНТЕРЫ ЕВМ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ  
СЛОЖНЕЙШИХ  
ДЕТАЛЕЙ

**AM.TECH**  
Комплексные Аддитивные Технологии









— единственный российский новостной медиа-ресурс о промышленном аддитивном производстве с

# собственным экспертным мнением.

---

Освещаем главные новости и тренды в сфере промышленных аддитивных технологий, 3D-сканирования, метрологии, автоматизации и цифровизации современных производств.

<https://industry3d.ru>

Подготовка статей, обзоров, интервью, освещение важных событий.

Гибкие тарифные планы по сотрудничеству в любом формате.

Пишите нам на [info@industry3d.ru](mailto:info@industry3d.ru).

Читайте нас на [industry3d.ru](https://industry3d.ru).



# Слово главного редактора



## Время АПгрейда

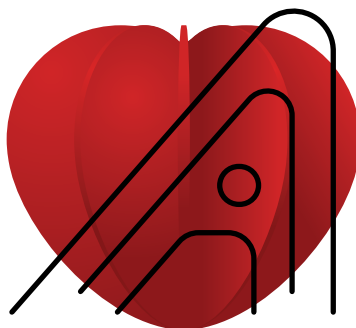
**Трубашевский Дмитрий**

— эксперт Школы управления «Сколково», генеральный директор «Синтезиум», главный редактор электронного издания «АПгрейд»

Мир соцсетей и технологических медиа превратился в огромный океан информации, в котором, как следует из аналогии, очень много воды. При должном желании, времени и опыте можно из этой взвеси из фактов, допущений и сопутствующих эпитетов отделить органический планктон, а высушив воду — добыть даже саму соль, или суть. Потребитель специфического профессионального контента хочет получать информацию без «воды». Если понадобится, он сам добавит её и вернёт сухой субстанции почти прежний вид и вкус. Во всяком случае, так ему кажется.

Но что, если востребованным такими читателями сложным узкоспециальным аналитическим статьям с обилием цифр и напоминающим инструк-

цию текстом придать беллетристический шарм, рассказать историю, к которой будет интересно возвращаться снова и снова? Как показывает практика, и читатели, и издания, подготовившие такие статьи, в итоге только выигрывают.



Наш журнал уже с периода своего становления позиционирует себя как издание, авторы которого исходят из того, что освоение новых технологий и подходов является важным и крайне ответственным шагом. Для многих предприятий переход на новое даётся с большим трудом и даже

вызывает отторжение. Действительно, внедрение аддитивных технологий в промышленность сопряжено с не всегда очевидными трудностями. Многие поначалу считают, что приобрести 3D-принтер, организовать для персонала стартовое обучение и почти сразу начать производить качественную продукцию — вполне рабочая схема. Такому настрою нередко способствуют те интеграторы, которые убеждают промышленников в простоте работы и отлаженности технологии 3D-печати. Но мы и наши читатели не раз убеждались в ошибочности такого утверждения.

Во многом благодаря вашему вниманию, отзывам и предложениям мы решили измениться. Теперь мы — **АПгрейд**, и с этим новым именем



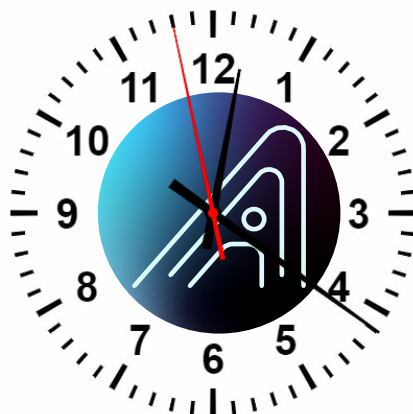


начинается новая эпоха! Название **АПгрейд** отражает нашу глубокую признательность аддитивному производству и стремление оценивать его на основе объективных критериев. Мы переосмыслили наш прошлый опыт, обогатились новыми знаниями и готовы меняться вместе с вами, вместе с заводами, шаг за шагом изучая аддитивные технологии и интегрируя их в существующие производственные процессы.

Мы продолжим писать, анализировать и делиться экспертными взглядами на мир 3D-печати. В фокусе нашего внимания будут как зарубежные прорывные проекты, задающие ориентиры всей нашей сфере, так и отечественные компании и стартапы, которые, преодолевая трудности, прокладывают путь к своей мечте. Ведь, как говорил Лао-цзы: «Путь в тысячу ли начинается с одного шага».

Инновационность нашего издания будет подкреплена уместной интерактивностью и неразрывной связью с читателями. Мы планируем

и дальше стирать границы между виртуальностью и живым общением, используя лучшее из ИИ-трендов, но не забывая о теплом взаимодействии с экспертами, позволяя им раскрываться в ответах на нетривиаль-



ные вопросы.

Наш спектр интересов, благодаря большому практическому, аналитическому и журналистскому опыту, позволяет нам не ограничиваться только методами 3D-печати, а смотреть вглубь, чувствуя и демонстрируя симбиоз человека, машин и нейросетей. Кто знает, возможно, вскоре эта связь станет настолько прочной, что мы будем удивляться, как жили раньше без всего этого.

О сложном мы продолжим говорить простым языком, часто опуская общеизвестные нюансы и излишние детали. Но всегда мы неизменны в своём стремлении рас-

ширить свой и ваш кругозор, отыскать наиболее важные инновации, раскрыть их секреты и оценить возможности их применения в современных реалиях отечественной индустрии.

Оставайтесь с нами, рекомендуем нас соратникам, подписывайтесь на наши соцсети и меняйтесь первыми. Становитесь авторами своего блога на нашем сайте, или связывайтесь с нами для более плотного сотрудничества. Ведь **АПгрейд** промышленности не за горами — он уже перед вами! Добро пожаловать в новую главу нашей истории! 

**Подписывайтесь на  
наши группы и  
каналы в соцсетях:**

**Телеграм:**

[t.me/infoindustry3d](https://t.me/infoindustry3d)

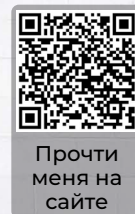
**Вконтакте:**

[vk.com/media\\_industry3d](https://vk.com/media_industry3d)

**Дзен:**

[dzen.ru/industry3d](https://dzen.ru/industry3d)





Прочти  
меня на  
сайте

# Аддитивное производство: прошлое учит, будущее ждет зрелых решений

**Вот так амбициозно мы решили начать 2025 год, посвятив свое и ваше время изучению экспертного мнения ведущих мировых игроков аддитивного производства (АП). Что же нам подарил и какие уроки преподнес 2024 год? К чему готовиться в наступившем 2025?**

## **1. 2024: тенденции и вызовы**

В 2024 году АП продолжило укреплять свои позиции в промышленности, демонстрируя как позитивные изменения, так и значительные вызовы. Рассматривая текущее состояние и будущее этой технологии, эксперты выделяют ключевые тенденции и проблемы, определяющие развитие рынка.

### **1.1. Зрелость технологий: примеры успеха**

Некоторые методы АП достигли высокой степени зрелости. Так, технология выборочного лазерного плавления (L-PBF/SLM) сегодня занимает лидирующую позицию в премиальном кастомизированном производстве изделий из металлов и сплавов. Примером её успешного применения служит небезызвестная

компания SpaceX, использующая эту технологию в аэрокосмической отрасли. Ещё одним образцом зрелости АП можно назвать компанию Align Technologies, которая использует фотополимерную 3D-печать в ортодонтии. Её недавнее приобретение компании Cubicure с технологией Hot Lithography позволит производить миллионы прозрачных элайнеров в день.





А вот компания Merit3D примеряет на себя мир литья в термопластавтоматы, составляя им при этом серьёзную конкуренцию. Фактически там используют 3D-ферму из доступных LCD-принтеров, мгновенно перенастраиваясь на новый тип продукции на заказ, печатая миллионными тиражами.

## **1.2. Доступные технологии: демократизация 3D-печати**

Рост доступных решений в области 3D-печати способствует их популяризации как среди производителей, так и среди конечных потребителей. Современные настольные 3D-принтеры уже сопоставимы с промышленными моделями по качеству и функциональности. Это открывает новые возможности для широкой аудитории, а демократизация технологий становится важным шагом

на пути к ускорению научно-технического прогресса.

## **1.3. Материалы как ключ к серийности**

Для дальнейшего развития АП очень важно совершенствование материалов. Именно улучшение их характеристик — стабильности, химической совместимости и устойчивости к внешним воздействиям — позволяет применять 3D-печать не только для прототипирования, но и в массовом производстве.

## **1.4. Тренды в оборонной сфере**

Один из наиболее заметных трендов – интерес к АП в оборонной отрасли. Хотя эта область вызывает дискуссии, эксперты отмечают,

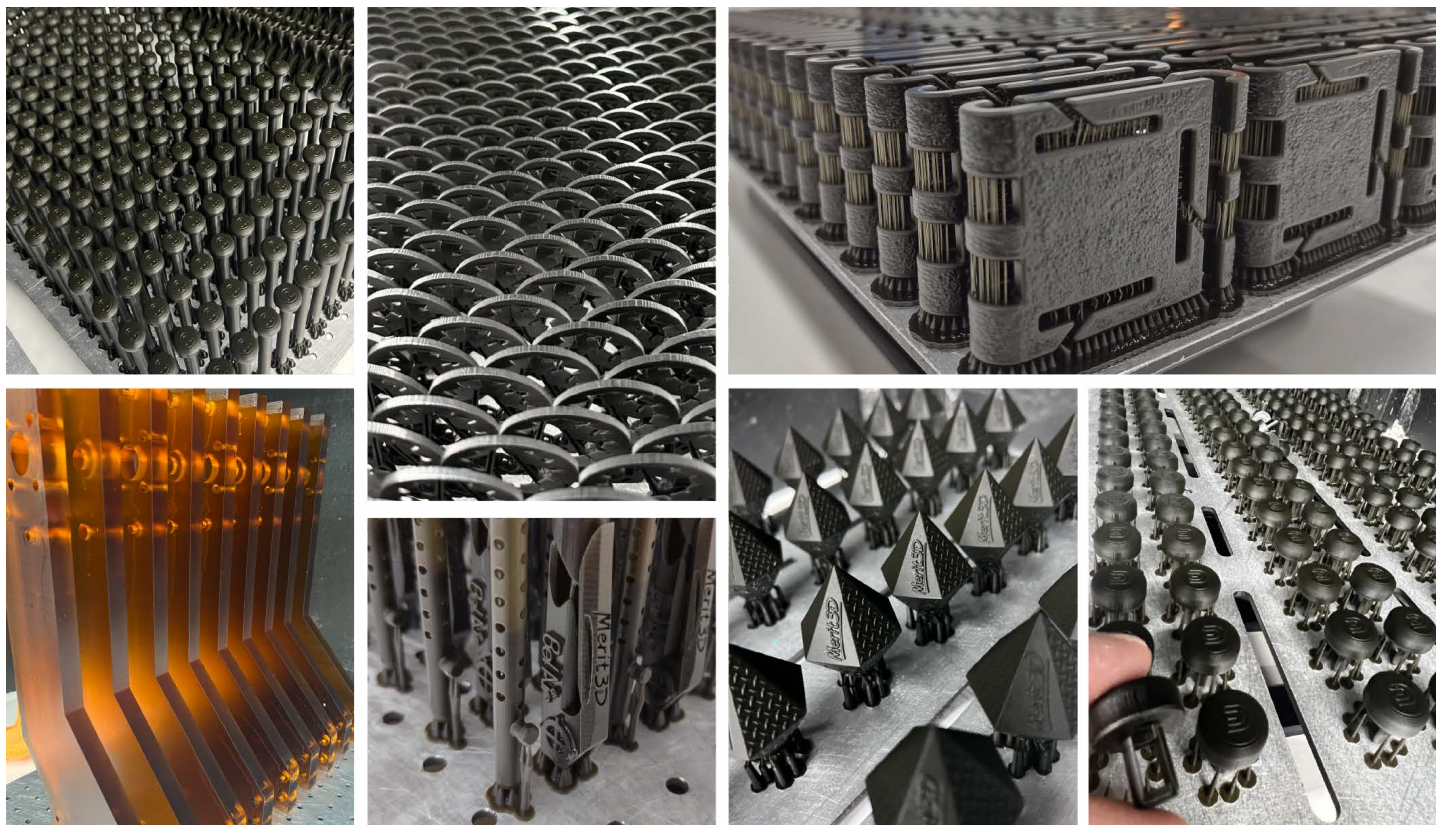
что 3D-печать помогает оптимизировать выпуск продукции как оборонного назначения, так и двойного применения (ремонт продукции как на линии фронта, так и в тылу). Это открывает новые возможности для сотрудничества технологического (зрелые производители, стартапы) и оборонного сектора и стимулирует спрос на инновационные технологии.

## **1.5. Сотрудничество и стандартизация**

Осознание важности коллективных усилий стало одной из ключевых вех 2024 года. Компании объединяются для решения общих проблем, создавая консорциумы и инициативы по стандартизации процессов. Это способствует устранению барьеров и ускоряет интеграцию АП в промышленные цепочки.



*Первый серийный ракетный двигатель Raptor 3, произведенный с помощью 3D-печати. Фото: SpaceX.*



Серийное производство по LCD технологии . Фото: Merit3D.

### 1.6. Основные вызовы

Наряду с достижениями, АП в минувшем году и по сей день сталкивается с рядом серьёзных проблем:

- **Несоответствие ожиданиям:** громкие обещания компаний-поставщиков оборудования для АП и конечных продуктов нередко не подкрепляются реальными результатами, что вызывает разочарование у клиентов.

- **Сложности внедрения:** многие предприятия сталкиваются с недостатком инженерной поддержки и обучения, что тормозит интеграцию технологий.

- **Проблемы сертификации:** особенно остро это проявляется в критически важных секторах, таких как оборонная и аэрокосмиче-

ская отрасли, где сертификация материалов требует значительных усилий и ресурсов.

- **Финансовая стабильность:** несмотря на наличие востребованных продуктов, даже опытные компании нередко испытывают трудности с устойчивостью своих бизнес-моделей.

### 1.7. Восстановление доверия

Важной задачей остаётся восстановление доверия конечных пользователей. Избыточные обещания со стороны стартапов подрывают репутацию технологий 3D-печати, поэтому прозрачность и доказательная база становятся ключевыми факторами для укрепления доверия к АП.

Подводя итоги исследо-

вания тенденций и вызовов АП, отметим, что эта сфера в 2024 году демонстрирует как успехи, так и трудности. Устойчивое развитие отрасли зависит от дальнейшей работы над материалами, сертификацией и стандартизацией, а также от умения компаний создавать жизнеспособные и долгосрочные бизнес-модели. Только преодолев существующие барьеры, отрасль сможет раскрыть свой полный потенциал и занять ещё более значимое место в глобальной промышленности.

### 2. 2025: вызовы и возможности

Согласно прогнозам, 2025 год станет важным этапом в развитии АП. Однако наряду с возможностями перед от-



раслью стоят вызовы, которые могут определить её будущее. Эксперты выделяют несколько ключевых аспектов, которые помогут преодолеть трудности и достичь успеха.

### **2.1. Восстановление доверия и повышение прозрачности**

Одной из главных задач для отрасли остается восстановление доверия среди клиентов и инвесторов. Увеличение рыночного спроса и улучшение финансовых показателей компаний напрямую зависят от демонстрации реальной ценности технологий для клиентов. Открытый, без умолчаний, аргументированный диалог поставщиков и потреби-

телей о достижениях и ограничениях технологий становится фундаментом для долгосрочного партнерства.

Важно также обеспечить высокую прозрачность производственных процессов. Заявления о качестве продукции должны подкрепляться объективными доказательствами — тестированием деталей на различных устройствах и оценкой их производительности в реальных условиях. Честное представление результатов укрепляет доверие между производителями и клиентами, что критически важно для развития отрасли.

### **2.2. Устойчивые бизнес-модели как основа успеха**

Переход к устойчивым

бизнес-моделям — непрерывное условие для развития АП. Вместо типичных для начинающих рискованных стратегий типа «всё или ничего» отрасли необходимо доказывать жизнеспособность своих технологий постепенным, последовательным развитием. Такой подход обеспечит стабильный рост и долгосрочную прибыльность.

### **2.3. Сертификация технологий:**

*преодоление барьеров*

Сложности с сертификацией остаются одним из основных препятствий для широкого внедрения АП. Важно, чтобы ключевые клиенты из таких секторов, как ВПК и аэрокосмос, играли ак-



*Вычислительная инженерия с ИИ: технология, которая думает, как инженер. Фото: LEAP71.*

тивную роль в достижении необходимых стандартов. Достижение хотя бы 80% соответствия между возможностями технологий и требованиями клиентов может стать важным шагом к массовому внедрению АП.

### **2.4. Интеграция искусственного интеллекта**

Интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в процессы АП открывает новые перспективы повышения производительности и эффективности. Автоматизация процессов, оптимизация параметров печати и прогнозирование результата — это лишь часть задач, которые могут быть решены с помощью ИИ.

### **2.5. Консолидация усилий и новые горизонты**

Консолидация усилий между компаниями становится заметным трендом. Это способствует устранению барьеров для внедрения АП, ускоряя переход от прототипирования к реальным продуктам конечного использования.

Особый рост ожидается в таких отраслях, как ВПК, аэрокосмос, здравоохранение, автомобилестроение, где АП уже демонстрирует свои преимущества. Масштабирование производства и разработка новых технологий будут способствовать устойчивому развитию отрасли.

### **2.6. Вызовы и возможности**

Темпы изменений стимулируют развитие новых приложений и технологий. Несмотря на существующие трудности, у АП есть все шансы на успешное развитие в 2025 году. Сфокусиро-

вавшись на прозрачности, устойчивых бизнес-моделях и сотрудничестве, отрасль может преодолеть вызовы и достичь новых высот.

2025 год обещает стать знаковым для АП, но успех будет зависеть от способности отрасли адаптироваться к новым вызовам и требованиям рынка. Этот год станет ещё одним шагом в эволюции АП, предлагая возможности для роста и требуя ответственного подхода со стороны всех участников рынка. 

**Дмитрий Трубащевский**







# AdditiveMinded 2025 – новаторы в деле

**Делимся мыслями и впечатлениями по итогам главного события зимы 2025 в сфере аддитивного производства.**

Представьте себе будущее, в котором человек станет другим. Эволюция подсказывает, что изменения не затронут существенно его облик — он останется практически прежним. Однако восприятие человечеством мира, технологий, природы и своего места и роли во всем этом должно измениться радикально. Человек должен стать более зрелым — сознательным, созидательным и ответственным. И тогда человечество сможет сконцентрироваться на развитии социума, как единого организма, обитающего на единственной для себя пла-

нете.

Какой же станет технологическая составляющая новой эпохи? Об этом в своих романах строят версии писатели-фантасты, ученые-теоретики предсказывают катаклизмы и сингулярность. А сегодняшняя мировая бизнес-элита, главы глобальных корпораций и политики всю разгоняют цифровую повестку. Уже становится явным и общий вектор в сторону использования обоюдоострого меча цифровизации и высоких технологий совсем не в благих целях: тревоги думающей части человечества по

поводу возрастающей всеобщей цифровой зависимости, падения интеллектуального уровня населения даже развитых стран и утраты им когнитивных навыков, увы, совсем не беспочвенны. Однако речь, конечно, не о том, чтобы отменить прогресс, — но придется приложить немалые усилия, чтобы направить его в конструктивное русло. В этом смысле использование аддитивных технологий в обрамлении нейросетевых приложений видится автору одним из неизбежных сценариев развития общества, но с не угасающей надеждой на их

созидательную функцию.

Таким философским контекстом автору хотелось бы предварить освещение главного события сферы аддитивного производства зимы 2025, как его уже успели окрестить некоторые российские СМИ, — конференцию и выставку ADDITIVE MINDED 2025, прошедшую в рамках ведущей выставки пластмасс в России — РУ-ПЛАСТИКА, организованной ООО «Экспо Фьюжн». Действительно, на уже восьмой по счету конференции собрались ведущие эксперты-аддитивщики страны, которые на протяжении трех дней с воодушевлением рассказывали о своих проектах, бизнес-идеях, делились опытом. И всё это – в дружеской, неформальной атмосфере, с удовольствием поддерживаемой и спикерами, и слушателями.

Каждый год ADDITIVE MINDED дарит гостям выставки много новой информации, а также надежды и воодушевление. Они делают выводы: раз у одних коллег из регионов, даже не самых индустриально развитых, получилось, раскрыв инвесторам перспективы на глобальных и российских примерах ведения успешного бизнеса, поднять у себя аддитивное производство, то это должно получиться и у других. И дело даже не в том, что у регионов различная покупательская способность

населения и траты/инвестиции градообразующих заводов на инновации. Здесь мы говорим о неизбежности перемен, о трансформации общества по лекалам приближающегося будущего, когда папирус и береста уходят, вытесняемые привычной нам бумагой, производство которой освоено в промышленном масштабе для любых нужд. Не подобное ли сегодня происходит с машиностроением, медициной, хобби, предпринимательством и образованием?

Как известно, конвергентные технологии порождают историческую технологическую волну. Периоды взрывного экономического роста в прошлом невероятно точно коррелировали с распространением новой технологии, например, парового двигателя, электричества, двигателя внутреннего сго-

рания, компьютеров, Интернета. Сегодняшняя эпоха конвергентности уже впитала в себя целый ряд технологий, среди которых эксперты отмечают многообразные космические аппараты, адаптивных роботов, аккумуляторы, автономную логистику, облачные хранилища, интеллектуальные устройства, мультиомные технологии, прецизионную терапию, программируемую биологию, цифровые кошельки, смарт-контракты, криптовалюту, и, конечно же, искусственный интеллект (ИИ) и технологии 3D-печати. Интересно, что именно ИИ становится стимулирующей основой для развития глобальных технологических проектов. Объединение ИИ с новыми технологиями может ускорить рост мировой экономики с нынешних 3% до 7% в год в



Роман Савченков, ООО «Анизопринт Рус»



течение следующих 7 лет (по данным ARK Investment Management). Ну а возможности и прикладное применение 3D-печати от такой синергии просто должно взлететь до небес.

ADDITIVE MINDED по сути является детальным отчетом о том, что произошло в нашей сфере за минувший год, а произошло, по правде говоря, немало событий. Многими из них как раз и поделились уважаемые эксперты, а также гости проекта в его кулуарах. Давайте пройдемся кратким обзором самых значимых событий и трендов для российского рынка, которые были так или иначе озвучены или замечены на конференции.

1. По данным Клуба аддитивных технологий, с 2021 по 2022 год отечественный рынок вырос на 33,9%. Однако с 2022 по 2023 год он показал уже более высокую динамику в размере 60,1%, что составило 15,5 млрд. руб.

*Олег Пономарев,  
ООО «Виртуальные  
производственные  
системы»*

Полученные данные сильно разнятся с дорожной картой, представленной в Распоряжении № 1913-р Правительства Российской Федерации от 14 июля 2021 года. И это обстоятельство не может не радовать, потому как спрос на аддитивное производство и работников в этой сфере явно стали выше. Если рынок продолжит так же стремительно обретать зрелость, то по целевому сценарию со среднегодовым темпом роста 31,5% он может достичь отметки в 46,2 млрд

руб. уже к 2027 году.

2. Продолжил укрепляться сегмент обратного инжиниринга. Он востребован прежде всего для экстренного и превентивного ремонта техники, так как отечественные производители потеряли доступ к официальному сервисному обслуживанию зарубежного оборудования. Однако не все компании, вовлеченные в этот бизнес, понимают и могут предложить полный спектр услуг, включающий не только воссоздание деталей по отсканированным данным, но и поиск материалов оригинального изделия, или же подбор аналогов с опорой на инженерные расчеты и возможности выбранного производственного метода.

3. Все чаще у вузов и заводов 3D-принтеры ассоциируются с такой палочкой-выручалочкой, когда им можно поручить абсолютно любую сложную и даже критически важную



задачу. Вузы нарабатывают компетенции, вовлекаясь в различные проекты и создавая технологические демонстраторы, а бизнес готов за это платить (подумайте, зачем). Порой демонстраторы показывают такие возможности АТ, которые можно воплотить в жизнь спустя много лет — и все из-за инерционности заводов, а также отсутствия должной сертификации ответственной продукции. Но заводы уже начинают привыкать к 3D-принтеру, как неотъемлемому инструменту дизайнера, инженера и технолога. Для них понятие нового инженерного мышления уже основательно вошло в обиход.

4. Несмотря на конкуренцию среди лабораторий и центров аддитивного производства, спрос в этом сегменте еще превышает предложение. Таким образом они остаются востребованными и загружены заказами на месяцы вперед, при этом проблема нехватки оборудо-

вания для работы с разными материалами остается актуальной. Оптимальная производительность достигается при использовании принтеров, настроенных на один материал без переналадки, что снижает риски и повышает безопасность. Это открывает возможности для новых игроков, готовых инвестировать в современное высокопроизводительное оборудование, причем сразу в несколько моделей на старте. Более стабильные технологии и запас рентабельности позволяют им успешно конкурировать с опытными компаниями, давно присутствующими на рынке.

5. Российские производители оборудования заметно активизировались, привлекая внимание заводов и претендуя на государственные субсидии.

6. Заводы рассматривают как

отечественное, так и китайское оборудование, испытывая трудности с выбором, поскольку российские принтеры вполне конкурентоспособны. Дополнительным преимуществом становятся русскоязычные, лояльные инженеры и сервисный персонал, а также предустановка оборудования под российские материалы, что делает его еще



Евгения Тверская, ООО «Топ 3Д Групп»



более привлекательным для заказчиков.

7. Отечественные материалы становятся все качественнее, особенно алюминиевые сплавы. Стандартные и высокотемпературные полимерные и композитные филаменты выделяются высоким качеством и широким ассортиментом, нередко превосходя зарубежные аналоги, что дает российским мейкерам значительное преимущество. Фотополимерные смолы производят всего несколько компаний, но их качество и разнообразие способны удовлетворить даже самых требовательных покупателей. Начинают появляться российские SLS порошки и FGF гранулы. С песком и бетоном у нас тоже проблем нет, с таким природным ресурсом мы обеспечены природными материалами на миллионы лет. Различные керамические суспензии и полиметилметакрилат (PMMA) также способны помочь



предприятиям печатать невозможные ранее изделия, а процесс производства превратить в легкую прогулку. Стоимость материалов за годы присутствия АТ на российском рынке упала в несколько раз, в том числе за счет продуктов от российских производителей, что позволяет центрам аддитивного производства и 3D-фермам производить вполне конкурентноспособную продукцию для единичного и мелкосерийного производства.

8. Между разработчиками российского ПО и ин-

теграторами зарубежных продуктов до сих пор стоит стена, которая, однако, утончается из года в год. Действительно, пока сложно утверждать, что в плане полной подготовки проектов для 3D-печати мы достигли блистательного качества лучших зарубежных решений. Но работа ведется, в том числе благодаря вузам и частным компаниям, которые планомерно нарабатывают потенциал, наделяя свое ПО в том числе и уникальными инструментами.

9. Тем производствам, которые по каким-то причинам не находят перспективной экономику использования у себя 3D-печати в ее нынешнем виде, однозначно стоит обратить внимание на т.н. гибридизацию. Этот термин сегодня все чаще мы слышим от тех, кто хорошо ориентируется в двух мирах: субтрактивном и аддитивном. Соединить их, сплести воедино в



Денис Власов, ООО "Триангулятика"



синергии — это большая работа и ответственность. Но когда это удастся сделать — эффект от такой коллаборации не заставит себя долго ждать.

10. Аддитивщики все чаще обращаются в специализированные публичные каналы и группы в надежде найти ответы на свои вопросы. И находят их благодаря опытным и готовым прийти на помощь коллегам. Уже не является тайной за семью печатями, как настроить оборудование для работы с новым материалом, адаптировать модель под 3D-печать, получить оперативное и качественное обучение. Кстати, ни один специалист, вовлеченный в аддитивное производство, не останется один на один со своей проблемой. Вузы, дающие

качественное образование в том числе на различном аддитивном оборудовании, а также многие интеграторы и специализированные компании помогают постичь Дзен в этом. А умопомрачительное количество выставок, конференций, семинаров только доказывают, что аддитивные технологии и инновации востребованы в России, и к ним тянется промышленник!

Что ж, проект ADDITIVE MINDED получился отличным, собрал большое количество экспертов и гостей, в том числе благодаря главному организатору — Центру аддитивных технологий Ростеха, укрепив за выставочной площадкой название передовой и соответствующей дыханию времени.

Возвращаясь к началу

этой статьи, хочется напомнить точное определение, данное аддитивному производству одним из спикеров. Он назвал АП шансом нынешнего поколения инженеров и управленцев на то, чтобы изменить индустриальный мир и не только, и самореализоваться в нем. Итоги ADDITIVE MINDED дают нам надежду, что этим шансом у нас сумеют воспользоваться. Виват, аддитивное производство и его адепты!

На сайте <https://additiveminded.ru/> доступны для скачивания доклады экспертов. Подписывайтесь и следите за нашими обновлениями в телеграм-канале INDUSTRY3D!



**Дмитрий Трубашевский**





Прочти  
меня на  
сайте

# Ниша серийного аддитивного производства свободна или Даннинг с Крюгером подобрались незаметно

**Готовы ли аддитивщики в России к серийному производству продукции?**

Мы часто слышим вопрос от заводских управленцев самого разного уровня, от начальников цехов и отделов до топ-менеджеров, включая генеральных директоров: «У нас серийное производство. Мы полностью задействовали все возможные ресурсы по управлению предприятием и с некоторых пор уперлись в потолок в плане производительности, качества, гибкости, конкурентоспособности. Помогут ли нам аддитивные технологии (АТ) выйти на новый уровень?».

Если бы этот вопрос обсуждался в какой-нибудь профильной группе в социальных сетях, мы уверены, что поток предложений был бы огромным. Однако далеко не все из них реально решали бы проблемы заказчика. Чаще всего это было бы перечис-

ление ассортимента продуктов и материалов от разных компаний-разработчиков. В результате у задавших вопрос могло бы сложиться впечатление, что АТ у нас активно развиваются: есть множество производителей оборудования, программного обеспечения и компаний, предлагающих услуги для «чудесного преобразования» производственного процесса.

От обилия таких предложений может возникнуть ощущение, что мир уже давно ушёл вперёд, а вы по какой-то причине всё ещё используете устаревшие подходы из «эпохи динозавров». Однако мало кто готов дать гарантию, что внедрение конкретной инновации действительно решит текущие задачи вашего предприятия.

## Тема номера

В итоге компании зачастую всё же принимают решение о покупке оборудования для аддитивного производства (АП). И часто разочаровываются по причине не рационального подбора технологии и оборудования, спонтанности, отсутствия квалифицированного персонала с достаточным опытом проектирования, работы и обслуживания оборудования, а также быстрого устаревания 3D-принтеров, на смену которым уже через полгода могут прийти новые модели, а то и технологии с гораздо более высокими характеристиками.

Но важно понимать: это оборудование не начнёт сразу выпускать серийную продукцию. Чтобы это произошло, требуется время и серьёзная работа по интеграции технологий в существующие производственные процессы, адаптации персонала и налаживанию новых цепочек поставок.

То, что игнорировать прогресс нерационально, понятно каждому здравомыслящему предпринимателю, акционеру и управленцу. Но насколько АТ стали «своими» для промышленников, придерживающихся проверенных временем методов? Здесь возникает принципиальный вопрос, заставляющий задуматься: что на самом деле нужно современному



*Напечатанная топливная форсунка. Фото: GE Aerospace.*



*Индивидуализированная фотополимерная вставка в обувную пресс-форму. Фото: BUSINESS WIRE.*



*Серийное производство кронштейнов для крепления смесительной насадки. Фото: Merit3D.*



промышленнику?

Крупные компании выбирают технологии и оборудование, которые обеспечивают надёжность, производительность и оптимальное соотношение затрат и эффективности. Одни из них ориентируются на максимальную выработку на одного сотрудника (не сокращая персонал) или на каждый квадратный метр производственной площади. Другие же стремятся к полной автоматизации процессов с минимизацией человеческого фактора благодаря сложно перенастраиваемой производственной конвейерной линии или находящейся в тренде гуманоидной робототехники. В обоих случаях без внедрения инноваций не обойтись.

Аддитивное производство может стать одной из таких инноваций. Оно способно частично решить задачи заказчика, особенно в сочетании с классическими методами (гибридный подход). Однако, несмотря на потенциал 3D-печати, в России пока мало успешных примеров применения для серийного производства. За рубежом таких примеров тоже немного, но они наглядно показывают, что при твёрдом целеполага-

нии и визионерских способностях руководства или любого инициативного лидера проекты могут стать знаковыми для всей индустрии.

Вот лишь некоторые из них:

1. Форсунка для двигателей CFM International LEAP 1A и 1B, разработанная совместным предприятием компаний GE Aviation (ныне GE Aerospace) и Safran Aircraft Engines, была произведена в количестве сотен тысяч единиц. В каждом двигателе используется 18 или 19 топливных форсунок, изготовленных методом АП с использованием технологии селективного лазерного плавления СЛП/L-PBF. Двигатели используются на авиалайнерах Airbus A220, A320neo, A321neo, Boeing 737 MAX и COMAC C919. Эта форсунка приобрела популярность благодаря агрегации 20 деталей в одну, что позволило снизить вес на 25% и повысить топливную экономию до 15% по сравнению с предыдущими моделями двигателей, такими как CFM56. Кроме того, прочность детали увеличилась в 5 раз благодаря использованию кобальто-хромового сплава и оптимизации конструкции, а также обеспечению устойчивости к высоким температурам до 2400 °С. Одним из самых значимых результатов для руководства компании стало снижение затрат на материалы и упрощение производственного процесса, что позволяет экономить до 3 миллионов долларов на каждом самолете. В 2021 году сообщалось, что детали успешно налетали более 10 миллионов часов.

2. ECCO, в сотрудничестве со Stratasys и Henkel-Loctite, внедрила фотополимерную 3D-печать для создания форм, используемых в разработке и производстве уникальных подошв для своей обуви. Совместная разработка позволила создавать формы, выдерживающие более 1000 циклов впрыска без признаков износа. Новая технология обеспечивает значительное снижение затрат и ускорение процесса разработки по сравнению с традиционными алюми-



*Производство ацетабулярных чаш по технологии ЭЛП. Фото: GE Aerospace.*

евыми формами. Несмотря на то, что здесь мы говорим о печати единичной формы, она дает возможность также осуществлять серийное производство, избавляя от необходимости задействования инструментального производства.

3. Компания Merit3D напечатала для Adhesive Technology 1 миллион кронштейнов для крепления смесительной насадки к тюбику с эпоксидной смолой. Особенностью проекта явился вынужденный уход от затрудненной логистики с Китаем во время ковидных ограничений. Инженеры используют фотополимерную технологию LCD, материал от BASF, что позволяет обходиться без оснастки, менять форму кронштейнов и даже материал при любых новых обстоятельствах.

4. Компания GE Additive произвела более 100 000 напечатанных ацетабулярных чаш для тазобедренных суставов по технологии электронно-лучевой плавки ЭЛП/Е-РBF с 2007 по 2018 год. Технология ЭЛП предлагает множество преимуществ для производства многих медицинских имплантатов. Она обеспечивает высокую прочность и точность изделий, свободу проектирования и снижение стоимости производства вплоть до 50%, что делает ее предпочтительным выбором по сравнению с традиционными методами производства в области медицины и других высокотехнологичных отраслей.

5. Проект Michelin по производству металлических ламелей с использованием 3D-печати начался в 2017 году и успешно продолжается до сих пор. Ежегодно производится один миллион ламелей для пресс-форм шинной продукции. В результате скорость производства партии сократилась с недель до дней, отходы материала снизились на 20%, а затраты на производство – на 30-50%, увеличилась производительность и эффективность шин на дорогах благодаря производству ламелей с индивидуальными характеристиками, срок службы шин



*Пресс-форма с ламелями и готовая шинная продукция. Фото: AddUp.*

увеличился на 10-15%.

Не правда ли, такие примеры способны подвигнуть многих промышленников пересмотреть их отношение к 3D-печати и поставить его на один уровень с классическим производством? Почему же достоинства АТ часто недооцениваются? Одна из причин — поверхностное восприятие АП, вызванное недостаточной осведомленностью о его возможностях, а также ошибками интеграторов и производителей.

Мы неслучайно начали с ярких примеров, чтобы уже в начале статьи помочь читателю открыть для себя новые перспективы. Возникает вопрос: хватит ли сил, знаний, опыта, времени и инвестиций для реализации таких проектов у тандема «классических» промышленников и организаций, работающих в сфере АП? Этот вопрос в России поднимается нечасто.

Тем не менее, примеры серийного производства в мире с использованием 3D-печати существуют, и они далеко не единичны.

Для многих отечественных промышленников важнее всего видеть примеры, реализованные в России, а не за рубежом. Это логично: в условиях санкций предприятия вынуждены работать с отечественными партнерами. Если у таких компаний нет



опыта в подобных проектах, то становится первопроходцем и сталкиваться с трудностями готовы далеко не все.

Отечественный опыт успешного внедрения АТ уже есть, и эти примеры могут стать ориентиром для тех, кто готов сделать шаг вперёд и использовать 3D-печать для выхода на новый уровень.

Почему серийное производство с использованием 3D-печати пока не стало массовым в России? Несмотря на глобальный интерес к АТ, в России их серийное применение остается скорее исключением, чем правилом. Основная причина кроется в незрелости отечественного рынка. Да, можно найти отдельные успешные примеры внедрения, однако они лишь подчеркивают ограниченность и фрагментарность развития данной отрасли. Даже на мировом уровне зрелость АТ остается дискуссионной темой: она во многом зависит от отрасли, географии и уровня технологического развития.

Готова ли Россия к массовому внедрению промышленного АП? Ответ – «да», но с оговорками. На сегодняшний день применение АТ в нашей стране остается избирательным и сосредоточено лишь в нескольких ключевых секторах: авиация, космонавтика, медицина (хирургия, стоматология, протезирование), оборонно-промышленный комплекс (ОПК). Также наблюдаются первые попытки интеграции АТ в топливную отрасль. Однако эти примеры скорее демонстрируют усилия по освоению технологий, чем их широкую доступность и масштабируемость.

Основными барьерами в этом можно назвать:

- Ограниченный доступ к передовым технологиям. Российские инженеры долгое время полагались на копирование лучших зарубежных решений. Однако с учетом современных геополитических условий и ограничений в доступе к западным инновациям, отечественная отрасль оказалась в

изоляции, что замедляет ее развитие.

- Низкая готовность производственного бизнеса. Многие компании видят в АТ перспективы, но не всегда готовы вкладываться в дорогостоящие системы, срок устаревания которых может составить менее 3 лет. На мировом рынке это понимание уже привело к выборочному подходу: покупают системы, которые обеспечивают измеримую эффективность, часто в нишевых, но прибыльных применениях.

Чему учит зарубежный опыт? На Западе компании, которые используют АТ в серийном производстве, демонстрируют определенные успехи. Хотя лишь немногие предприятия вышли на плато их промышленного использования, инвестиции в высокопроизводительные системы дают бизнесу ощутимую отдачу. Это подталкивает компании к долгосрочному планированию и закладке бюджетов на модернизацию оборудования.

Для российского рынка урок очевиден: успех АТ напрямую связан с созданием устойчивой экосистемы – от доступных раз-

#### AMPOWER Maturity Index: Metal AM 2024



Рис. Диаграмма технологической зрелости АТ по металлу (Ampower, 2024).

## Тема номера

работок и материалов до качественного сервисного обслуживания. Это требует системных инвестиций, грамотной стратегии и активного международного сотрудничества. Без этого серийное производство с применением 3D-печати так и останется точечной практикой, а не массовым явлением.

Например, сегодня технология селективного лазерного плавления L-PBF/SLM считается одной из самых зрелых для коммерческого применения. Это подтверждается

использованием принтеров с большими рабочими зонами (свыше 1 метра по одной из сторон), высокой производительностью (от 4 до 64 лазеров) и активным внедрением в авиационной и медицинской отраслях, а также в ОПК.

Но представьте себе технологии, которые способны значительно повысить производительность даже уже зрелых решений при минимальных инвестициях. Такой прорыв неизбежно вызовет резонанс и откроет новые горизонты для промышленности.

Подобные технологии нового поколения, например, по работе с металлами и сплавами, находятся на пороге значительных изменений. Уже в ближайшее время они могут устранить ключевые недостатки существующих методов, таких как лазерное и электронно-лучевое плавление (L-PBF/E-PBF).

Одним из наиболее перспективных направлений является лазерная технология Area Printing, разработанная Seurat Technologies. Она представляет собой кардинальный апгрейд лазерного плавления, позволяя заменить десятки традиционных 3D-принтеров одной установкой. Это решение сочетает высокую производительность с возможностью точного масштабирования.

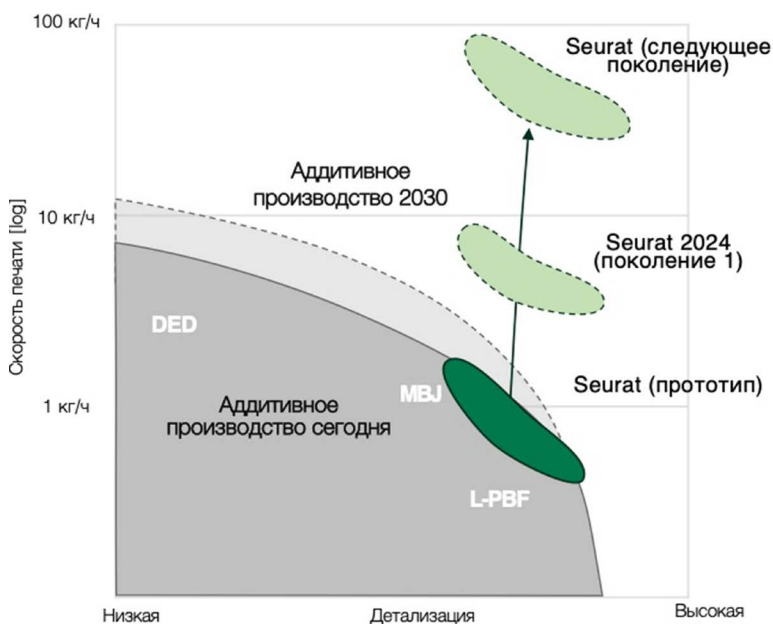


Рис. Перспективы развития технологии Area Printing (Seurat).

|                                             |                                                          | 2024                                                        | 2027                                                     | 2030's                                                |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>AREA PRINTING™</b><br>From Seurat        | FEATURE SIZE:<br>LAYER THICKNESS:<br>SPEED:<br>BED SIZE: | 100µm<br>25-50µm<br>up to 3.0 kg/hr<br>450 mm               | 75µm<br>25-75µm<br>up to 30 kg/hr<br>1-2m                | 25-50µm<br>10-100µm<br>300-1,700 kg/hr<br>2-10m       |
| <b>L-PBF</b><br>Laser-Powder<br>Bed Fusion  | FEATURE SIZE:<br>LAYER THICKNESS:<br>SPEED:<br>BED SIZE: | 150-500 µm<br>25-75 µm<br>up to 2 kg/hr<br>800mm            | 100-500 µm<br>25-100 µm<br>up to 4 kg/hr<br>1.2m         | 75-500 µm<br>25-100 µm<br>up to 5 kg/hr<br>2m         |
| <b>DED</b><br>Directed-Energy<br>Deposition | FEATURE SIZE:<br>LAYER THICKNESS:<br>SPEED:<br>BED SIZE: | 1,000-2,000 µm<br>500-6,000 µm<br>up to 6 kg/hr<br>1 to 5m  | 750-5,000µm<br>500-6,000µm<br>up to 15kg/hr<br>1 to 7m   | 500-10,000µm<br>500-8,000µm<br>up to 30kg/hr<br>1-10m |
| <b>BINDER JETTING</b>                       | FEATURE SIZE:<br>LAYER THICKNESS:<br>SPEED:<br>BED SIZE: | 1,000 µm<br>30-200 µm<br>up to 3 kg/hr<br>400 x 250 x 200mm | ~500µm<br>30-200µm<br>up to 5 kg/hr<br>600 x 500 x 350mm | ~500µm<br>30-200µm<br>up to 8 kg/hr<br>~1m            |

Рис. Сравнение ключевых характеристик и потенциала развития популярных АТ и технологий нового поколения (Seurat, Ampower).



Еще одна инновация — безлазерная технология Metal Binder Jetting (MBJ/BJT), которая предлагает совершенно иной подход к работе с металлами. Вместо использования лазеров или электронных пучков, процесс основан на связующем веществе, что позволяет сократить затраты на оборудование и повысить производительность.

Однако для их внедрения потребуется подготовить соответствующую инфраструктуру, развить инженерное мышление и провести длительные испытания. Только тогда современные лазерные и электронно-лучевые технологии, которые сегодня считаются максимально зрелыми, могут оказаться в категории «устаревших».

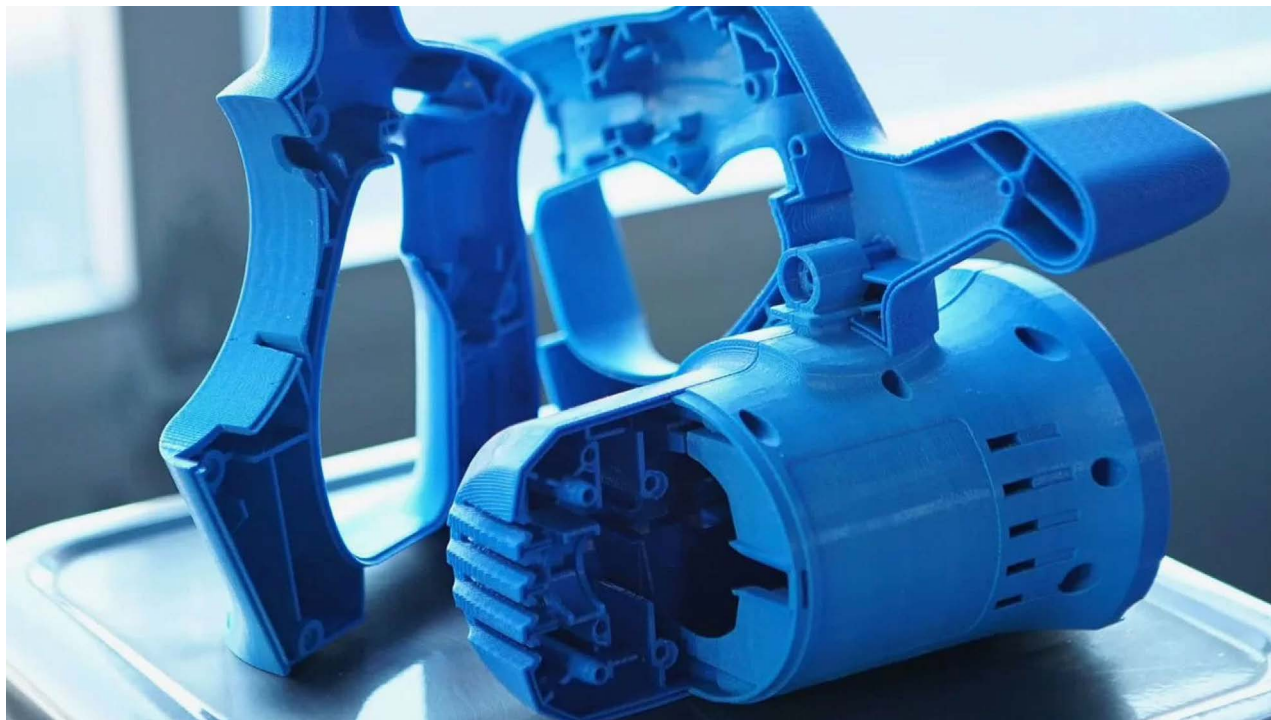
Но пока этого не произошло: российский рынок не создаёт принципиально новые решения, а идёт по проверенному пути, сформированному в те времена, когда границы были открыты для посещения международных выставок и общения с коллегами из науки и бизнеса. Проще говоря, сегодняшние технологии в России — это результат планомерного, а иногда и хаотичного развития с опорой на мировой опыт прошлых лет.

В таких странах, как США, ЕС и Китай, государственная поддержка IT, искусственно-

го интеллекта и инноваций в производстве создала благоприятную среду для появления множества стартапов с перспективными решениями. Этот подход стимулирует конкуренцию и ускоряет внедрение передовых технологий.

В России ситуация отличается. Отечественные разработчики часто вынуждены наблюдать за успехами зарубежных коллег со стороны, порой с завистью, но не обсуждают это открыто. Их позиция объяснима: в условиях ограниченного рынка они сосредоточены на продвижении собственных решений, стараясь убедить промышленников в их идеальности и конкурентоспособности.

Вызовами для российских разработчиков является высокая конкуренция в базовых технологиях, а также ограниченное развитие новых технологий. Особенно остро эти вызовы проявляются в сфере 3D-печати, где российские компании активно конкурируют за внимание промышленников, стараясь позиционировать свое оборудование и программное обеспечение как лучшие на рынке. Это порождает многочисленные дискуссии внутри профессионального сообщества и усиливает необходимость в поддержке инноваций на государственном уровне.



*Фото: напечатанный корпус для электроинструмента.*



Диаграмма с эффектом Даннинга-Крюгера.

Нельзя утверждать, что Минпромторг РФ полностью игнорирует необходимость поддержки отечественных компаний в сфере АТ. Такая помощь действительно существует, но она пока не носит массового и системного характера. При этом ключевыми барьерами для развития отрасли остаются бюрократическая нагрузка (отчетность и долгие процедуры согласования), и недостаток частных инвестиций (инвесторы в России неохотно вкладываются в АТ, предпочитая проекты с быстрым и гарантированным возвратом средств. Для них критично видеть ясный бизнес-план: серийный продукт, который 3D-принтеры смогут выпускать стабильно и в течение многих лет).

Готовы ли российские компании к таким вызовам и барьерам? Далеко не всегда. А к чему же они готовы? Судя по многим кейсам и комментариям в профильных группах в соцсетях, они часто сосредоточены на... тюнинге! Тюнинг автомобилей? Лишь частично.

Технологии цифрового АП за более чем 40-летнюю историю прошли путь от быстрого прототипирования до полноценного промышленного сектора, ориентированного на выпуск конечных изделий и оснастки. Однако об этом знают далеко не все промышленники. Большинству на глаза чаще попадают проекты и детали, которые не

имеют «взрослых» атрибутов: серийности, точности, повторяемости, эксплуатационной эффективности. Показать им такие атрибуты могут компании и эксперты, кто давно и успешно занимается продвижением промышленного АП.

Доступность технологий, особенно для работы с полимерами, породила целую армию мейкеров (DIY, сторонников движения «сделай сам»), а также школ, колледжей, университетов и студий дизайна, использующих 3D-печать. Компании-разработчики 3D-принтеров, ориентированные на массовый потребительский сегмент, где требования к промышленному качеству минимальны, в своей рекламе делают акцент на индивидуальные прототипы, игрушки, интерьерные элементы, ремонт или тюнинг.

Очевидно, что такой простой и пассивный подход вдохновляет индивидуалистов, которые получают в своё распоряжение своеобразный «швейцарский нож», способный справиться с практически любой повседневной задачей. В результате рынок наполняется предложениями от небольших студий и 3D-ферм, которые могут выполнить обратный инжиниринг (используя штангенциркуль, линейку или 3D-сканер) и выполнить единичные или мелкосерийные заказы, в основном из полимеров и композитов.



Центрам аддитивного производства (ЦАП) и студиям с системами 3D-печати по металлам повезло чуть больше. Помимо дорогостоящих принтеров, они нередко располагают высокоточными 3D-сканерами, а иногда и координатно-измерительными машинами или томографами. Некоторые из них могут позволить себе лаборатории для тестирования материалов, механическую обработку с ЧПУ и термообработку. Такие возможности открывают доступ к более сложным задачам. Сегодня заказчики всё чаще обращаются с

разрозненных проектах с намерением помочь каждому. Такие подходы, несмотря на многочисленные «успешные» истории, редко приносят ожидаемую инвесторами значительную прибыль. Большая часть времени уходит на ремесленную работу с каждым заказчиком, что не способствует масштабируемости. Промышленники, наблюдая за этим, начинают ошибочно считать, что АТ не подходит для серийного производства. Так незаметно проявляется пресловутый эффект Даннинга-Крюгера.

**Отдельного внимания заслуживает использование топологической оптимизации или генеративного проектирования – это высший уровень мастерства для тех, кто понимает возможности АП.**

запросами на ремонт вышедших из строя деталей, которые сложно заказать из-за санкций. Также популярны заказы на прототипы или пилотные партии продукции, которая впоследствии будет изготавливаться традиционными методами (литье, штамповка, механическая обработка). Для целей испытаний, патентования или участия в отраслевых выставках бывает необходимо изготовить небольшое количество деталей, и сделать это быстро и без применения оснастки практически невозможно без АТ.

Отдельного внимания заслуживает использование топологической оптимизации или генеративного проектирования – это высший уровень мастерства для тех, кто понимает возможности АП. Здесь речь идёт о целенаправленной работе над созданием изделия с новыми потребительскими свойствами, соответствующими мировым стандартам.

Нельзя не отметить тот огромный вклад, который сделали и делают многочисленные производители и интеграторы аддитивного оборудования и решений для 3D-сканирования в России. Однако многие из них, будь то из-за недостатка опыта, знаний или из-за кажущейся простоты, сосредотачиваются на

Кто мешает промышленным предприятиям глубже изучить потенциал АТ для производства? Формально – никто. Но готовы ли компании выделить на это ресурсы, а их руководители – углубиться в сложную техническую тему? В реальности многое зависит от уровня компетенции и подхода к управлению.

Новички и небольшие мастерские заполняют новостной фон красивыми, но единичными кейсами, которые больше подходят для саморекламы. Они с энтузиазмом показывают: «Вот что мы можем, и у нас есть ещё масса идей!». В то же время опытные специалисты, погружённые в решение сложных задач, остаются в тени и не создают яркой информационной повестки.

В результате складывается впечатление, что ниша серийного АП в России остаётся незаслуженно обделённой вниманием и практически свободной.

Пришло время её занять! 

**Трубащевский Дмитрий,  
Биленко Павел, директор по развитию  
ООО «Синтезиум»**

[Опубликовано](#) в журнале Монокль.



# Дао для аддитивщиков: ничего случайного

**Как компании приходят к нестандартным решениям и перестают опасаться рисков**

3D-печать, прочно утвердившись в сегменте НИОКР и прототипирования, сегодня всё увереннее осваивает нишу серийного производства. Этот тренд охватывает все развитые экономики, и Россия также активно присоединяется к нему. Однако для того, чтобы он раскрылся в полной мере, российской индустрии необходимо оборудование для аддитивного производства (АП) в промышленных масштабах. Наша редакция внимательно следит за успехами пока ещё немногочисленных отечественных компаний, выпускающих конкурентоспособные 3D-принтеры и другое оборудование для аддитивного производства. Ведущий системный интегратор промышленных 3D-решений и технологий АП — ООО «АЙ 3Д ГРУППА» — упорно преодолевает этот непростой путь. «Упади семь раз и восемь раз поднимись» — эта японская поговорка эпохи сёгуната и сегодня звучит как руко-

водство к действию для тех, кто стремится к вершинам в бизнесе. «АЙ 3Д ГРУППА» на этом пути сочетает в себе достойную самураев самоотверженность, русскую изобретательность и решительность, закономерно добиваясь впечатляющих результатов.

В прошлом году мы неоднократно рассказывали о масштабном проекте, реализуемом входящей в её состав компанией «НПО «3Д-Интеграция». Проект направлен на создание отечественного серийно выпускаемого оборудования для аддитивного производства в нескольких модификациях. Нашу беседу с генеральным директором «НПО «3Д-Интеграция» Михаилом Родиным мы начали именно с вопроса об этом проекте.

**– Как рынок принял один из ваших главных новых продуктов прошлого года – первую машину из линейки промышленных 3D-принтеров для печати металлом**



**по технологии L-PBF AMT-16? Предприятия каких отраслей промышленности стали его первыми покупателями?**

– Реакция рынка внушает оптимизм. Я полагаю, это наш заслуженный успех. Ведь, помимо отличного качества печати, которое обеспечивают наши принтеры, мы предложили рынку то, чего он давно ждал, – надежный сервис и обучение персонала заказчика работе с технологиями 3D-печати. Большой интерес к нашей продукции проявили компании, занятые в энергетике, импортозамещении в машиностроении, авиации и БПЛА. И, судя по отзывам наших первых клиентов, все они полностью удовлетворены работой наших принтеров.

В настоящий момент мы переходим к серийному производству этих машин. Уже продано пять принтеров. Мы также завершили разработку среднегабаритного комплекса AMT-32, и в ближайшее время эта машина станет доступна для коммерческого использования. Этому с нетерпением ждут многие компании, входящие в ГК «Ростех» и «Роскосмос». Параллельно с серийным выпуском первых двух моделей этой линейки мы вплотную займемся флагманом – комплексом AMT-64. Нас ждут заверша-

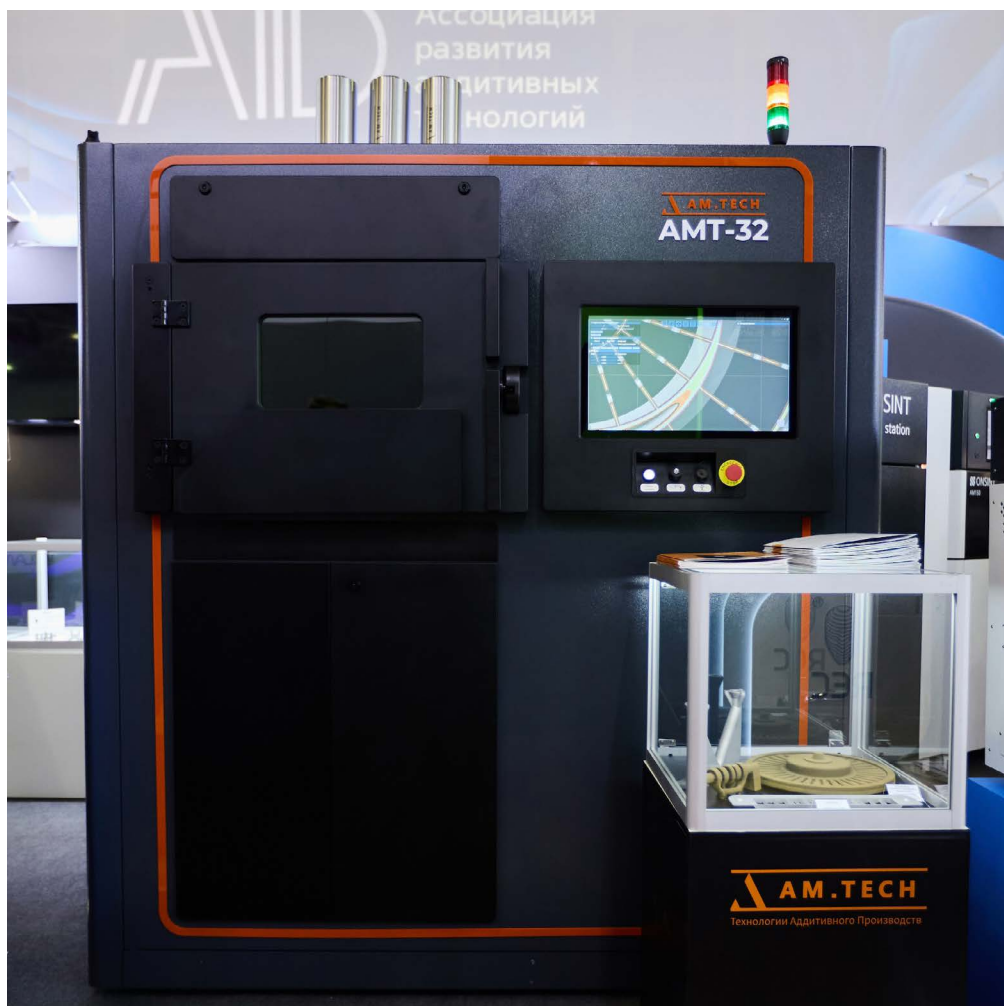
ющие этапы его разработки и подготовка к серийному производству.

**– А в целом как для вас прошел 2024 год? Что стало самым сложным вызовом и самым значимым достижением?**

— Самым большим достижением стало завершение разработки наших собственных 3D-принтеров для печати металлом по технологии селективного лазерного сплавления L-PBF/SLM: AMT-16 и AMT-32. Эти комплексы выпускаются под нашим собственным брен-

дом AM.TECH. В 2024 году на рынке также была представлена продукция другого нашего бренда – принтеры для печати литейных форм AMsolid. Кроме того, мы вывели на рынок новую технологию 3D-печати MBJ и вернули в Россию технологию электронно-лучевой плавки металлов EBW, которая одно время была практически недоступна в стране.

В минувшем году мы также завершили реструктуризацию компании, разделив ее на три масштабных и актуальных проекта. Теперь в группе три компании: «Ай 3Д», «НПО 3Д-Интеграция»



Новейший 3D-принтер AMT-32 по технологии L-PBF. Фото: AM.TECH.



Технология EBM – востребованная, но малоизвестная прежде в России. Фото: СПИН.

и «СПИН». Первая компания занимается интеграцией промышленных систем и 3D-сканирования, вторая – разработкой и производством аддитивного оборудования, а третья специализируется на реверс-инжиниринге и промышленной 3D-печати.

**– В прошлогодних интервью вы делились планами строительства первого в России большого завода по производству 3D-принтеров и изготовлению изделий аддитивным способом, а также созданию в регионах сети аддитивных центров. Какие шаги для реализации этих планов уже сделаны? Что планируется сделать в этом году?**

– В течение всего 2024 года мы работали над масштабным инвестпроектом, который позволит нам вернуть это производство. Мы привлекли внимание трех известных венчурных фондов. Средства инвесторов будут направлены на создание промышленной площадки для серийного производства наших собственных 3D-принтеров и на разработку нашего большого 3D-принтера AMT-64 с областью построения 600x600 мм и четырьмя лазерами. По замыслу, на первом этапе проекта будет создан завод в Москве, на втором этапе развернуто производство в Татарстане.

А еще в наших планах этого года – заняться развитием платформы для управления

нашими центрами АТ.

**– Как вы оцениваете итоги минувшего года для российской аддитивки в целом? Какие прогнозы и ожидания сбылись, а какие – нет, и что этому помешало? Какие изменения произошли в этой сфере, и как они отражаются и могут отразиться на участниках рынка?**

– Очевиден значительно возросший интерес отечественной индустрии к аддитивному оборудованию. В настоящий момент многие крупные компании, опираясь на международный и собственный опыт, завершили исследовательские работы и переходят к использованию АТ для се-



рийного производства, демонстрируя при этом очень хороший экономический эффект. Наша компания сегодня реализует несколько проектов, в рамках которых наши партнеры оснащаются десятками 3D-принтеров.

Мы считаем, что рынок будет продолжать расти, и этот рост продлится в течение следующих 5–10 лет. Мы прогнозируем ежегодный рост в пределах 30–40%.

Мы наблюдаем более взвешанный подход госкорпораций и крупных частных компаний к постановке задач и выбору технологий АП. Всё больше таких производителей начинают понимать, что без значительных затрат на НИОКР невозмож-

но решить серьёзные задачи, хотя для многих стоимость таких исследований остаётся сдерживающим фактором. Нередко компании стараются переложить затраты на НИОКР на производителя или разработчика технологии. Однако, как мы понимаем, это связано в первую очередь с отсутствием уверенности в том, что коммерческая компания, такая как наша, способна успешно выполнить сложные задачи. При этом стоимость проведения НИОКР в государственных научно-исследовательских организациях зачастую оказывается чрезмерно высокой.

Именно в этом мы видим огромный потенциал для

себя. Компания, подобная нашей, способна выполнять сложные НИОКР в области АТ, поскольку сочетает в себе компетенции в области практического опыта 3D-печати, материаловедения, разработки оборудования и организации производства. Учитывая, что мы – коммерческая компания, способная оперативно принимать решения, у нас просто нет альтернатив на рынке, и рынок начинает это осознавать. К нам всё чаще обращаются отраслевые институты и крупные предприятия с предложениями о совместных проектах по разработке технологий, включая создание и последующее производство оборудования под



*Технология ВJ – лучший способ для быстрого создания сложной оснастки из песка для передовых металлургических производств. Фото: СПИН7*

## Интервью

конкретные изделия и задачи.

Мы уверены, что следующие 2–3 года станут переломными: пользователи перейдут от тестовой печати к масштабным НИОКР, а проекты будут строиться не вокруг закупки 3D-принтеров для проведения исследова-

– На настоящий момент самой интересной и уже оправдавшей ожидания потребителей является технология струйной печати песком Binder Jetting песком для создания литейной оснастки. Мы реализовали около 40 таких проектов. Мы видим, как такие принтеры

Использование этих технологий значительно ускоряет и упрощает изготовление металлических и керамических деталей методом инжекционного и шликерного литья.

Как я уже упоминал, самая перспективная технология для нашей компании – это



СПИН – один из показательных отечественных проектов создания передового цифрового производства, в сердце которого лежат аддитивные технологии. Фото: СПИН.

ний, а вокруг создания цифровых заводов для серийного производства деталей и изделий с использованием аддитивных технологий.

**– На ваш взгляд, в каких отраслях и сферах российские аддитивщики могут в ближайшей перспективе усилить свое присутствие, какие новые для себя ниши освоить? Каковы в этом смысле планы у вашей Группы компаний?**

стали драйвером развития литейной отрасли в России и во всем мире.

Следующим этапом распространения этой технологии станет её применение для 3D-печати металлом и керамикой. Кстати, мы уже продали несколько таких принтеров именно для печати металлом и керамикой, и интерес к ним огромен. В планах компании – разработка и производство собственных российских принтеров по этой технологии.

технология селективного лазерного сплавления, где мы уже разработали собственное оборудование. Здесь мы видим две основные сферы применения: 3D-печать для ремонта и импортозамещения, а также специализированные решения для печати сложных изделий специального назначения. Именно возможность нашей компании создавать собственные принтеры, разрабатывать технологии и подбирать/создавать материалы позво-



ляет нашим клиентам получать экономическую выгоду при переходе на аддитивные методы производства. Мы одна из немногих компаний на рынке, кто может предлагать такие решения комплексно. Именно этот комплексный подход, которого ранее не хватало на

Именно такая синергия, помноженная на возможности работы практически со всеми промышленными аддитивными и смежными технологиями, должна предоставить рынку множество новых и интересных возможностей применения АП.

– **Один из масштабных**

изводства оборудования. На этой площадке мы проводим апробацию самых современных и инновационных методов аддитивного производства, выполняем НИОКР, разрабатываем и создаём образцы нашего собственного оборудования. На территории завода



рынке в нужное время и по адекватной стоимости, должен стать основным драйвером роста для 3D-печати в России. Мы настоятельно рекомендуем всем переходить именно к такому комплексному подходу.

Мы, в свою очередь, планируем и дальше расширять наши знания о рынке и его потребностях, развивать компетенции в области разработки собственного оборудования и материалов, а также создавать собственные центры цифрового (аддитивного) производства.

**прошлогодних проектов «НПО «3Д-Интеграция» – разворачивание деятельности Московского Цифрового Завода, на площадке которого расположено в том числе цифровое производство полного цикла «СПИН». Как в дальнейшем будет развиваться МЦЗ?**

– Наш МЦЗ – это демонстрационный зал, центр 3D-печати по заказам внешних потребителей, центр реверс-инжиниринга и конструкторское бюро, включающее участок опытного про-

работают две лаборатории. В производственных процессах задействовано более 20 3D-принтеров, использующих различные технологии для печати металлом, пластиком и керамикой. Наше оборудование для EBM и MBJ – это самые передовые образцы последнего поколения.

В 2025 году мы планируем развернуть на площадке МЦЗ серийное производство. В планах – выпуск до 30 принтеров в год.

В целом мы уже переросли возможности текущего



*Технология MBJ – лучший инструмент для серийного производства из металлов и сплавов. Фото: СПИН.*

завода и в ближайшее время планируем масштабное расширение. Компания СПИН готовится к переезду на отдельную собственную площадку, где будет развёрнут крупный научно-производственный центр (НПЦ). Он должен стать образцом применения АТ в области импортозамещения и создания беспилотных авиационных систем (БАС).

СПИН демонстрирует впечатляющие результаты. Третий год на рынке стал для компании временем консолидации и роста. Там окончательно сформированы производственные команды по ключевым направлениям: Центр измерений,

исследований и дизайна, а также Центр производства. Команды метрологов и конструкторов удвоили свою производительность при тех же ресурсах.

Специалисты СПИН по АТ освоили две новые технологии – MBJ для металла и РММА для создания выживаемой оснастки, что позволило значительно увеличить загрузку оборудования для серийного производства.

Основные доходы и интерес к решениям компании продолжают приносить постоянные клиенты из нефтегазового сектора, транспорта и производства спецтехники. Во второй половине прошлого года

СПИН заключил и успешно реализовал крупный контракт с ведущей компанией пищевого сектора. В дальнейших планах компании – запуск 20 основных продуктов, включая 9 технологий печати, 10 цифровых решений и образовательные программы. Локомотивом в сфере АП останется изготовление металлических деталей с использованием технологий L-PBF, MBJ и EBM. Для полимерных изделий СПИН планирует расширение участка SLA-печати, внедрение SLS и новых методов финишной обработки. Для реализации этих задач и потребуется новая производственная площадка.



Ещё одно ключевое направление – БАС. Мы расширяем понимание этого термина за пределы только летающей техники. Команда конструкторов СПИН запланировала на этот год серию образовательных программ в ведущих технологических вузах Москвы. Также рассматриваем возможность создать сеть аддитивных центров на базе НПЦ БАС, в ряде которых мы планируем быть операторами.

3D-принтеров уже сейчас разрабатываются опции с использованием машинного зрения. Мы считаем, что за синергией 3D-печати и ИИ открываются новые возможности. Однако будем откровенны: прежде чем переходить к подобным проектам, необходимо преодолеть технологическое отставание, которое отделяет нас от наших западных и китайских конкурентов в области технологий 3D-печати.

ников из КАТ. Считаем, что прогнозы полностью оправдались. Мы активно используем в своей работе результаты этого исследования и планируем продолжать это делать в будущем. В планах нашей компании – войти в ряд консорциумов, объединяющих пользователей и производителей.

**– В 2024 году активизировались компании, разрабатывающие 3D-принтеры**

**Мы считаем, что за синергией 3D-печати и ИИ открываются новые возможности. Однако будем откровенны: прежде чем переходить к подобным проектам, необходимо преодолеть технологическое отставание, которое отделяет нас от наших западных и китайских конкурентов в области технологий 3D-печати.**

*– Видите ли вы в нейросетях очередной мощный тренд, который заставит человечество пересмотреть свое отношение к творчеству, рутине и даже производству? Планируете ли вы применять технологии ИИ в своей работе, автоматизируя процессы, а также делая ваше оборудование более интеллектуальным для неопытных пользователей? Синергия 3D-печати и ИИ возможна?*

– Да, мы внимательно следим за применением ИИ для 3D-печати и моделирования. Для наших

*– В прошлом году вы стали одним из инициаторов создания Клуба аддитивных технологий (КАТ), который, в свою очередь, инициировал масштабное комплексное исследование российского рынка АП. В чем польза таких исследований? Применяли ли вы их материалы на собственной практике? Насколько точны оказались прогнозы КАТ?*

– Мы очень довольны тем, что приняли активное участие в организации исследования по АТ в прошлом году с группой сподвиж-

*по технологии СЛС (L-PBF). Почему, как вам кажется? Насколько прочны ваши позиции в конкуренции с ними?*

– Совершенно очевидно, что технология селективного лазерного сплавления – наиболее апробированная и распространённая для печати металлических изделий с предсказуемыми и стабильными характеристиками. Печать по технологии СЛС становится всё более доступной благодаря снижению стоимости оборудования и металлических порошков. Всё больше ком-



Детали, изготовленные по SLM – самой популярной и востребованной аддитивной технологии в мире. Фото: СПИН.

паний понимают, что скорость изготовления опытного образца является одним из ключевых факторов при реализации проектов разработки и организации производства. В современных условиях, когда многие поставщики покинули наш рынок, скорость вывода на рынок отечественной продукции выходит на первый план. Аддитивные технологии не только позволяют ускорить вывод продукции на рынок, но и улучшают её качество за счёт возможности испытания большего количества вариантов опытных образцов.

Наше оборудование способно печатать изделия с очень высокой повторяемостью. Оно изначально проектировалось для промышленного применения. Мы уверены, что два наших принтера, изготовленные с

разницей в год, обеспечат одинаковые характеристики производимых деталей. Мы также абсолютно уверены, что наша команда способна создать оборудование и разработать технологии, которые будут достойно конкурировать не только с лучшими российскими образцами, но и, что самое главное, с лучшими зарубежными 3D-принтерами.

**– Какие Вы можете дать рекомендации стартапам и предпринимателям, решившим вступить на тернистый путь аддитивного производства?**

– Мы пришли к успеху, потому что смогли объединить в одном проекте множество талантливых специалистов и профессионалов своего дела. Мы не боялись ставить перед собой самые амбици-

озные цели, от которых иногда у нас самих захватывало дух. Использовали самые современные методы управления разработками, производством и маркетингом, а также опирались на поддержку государства и инвестиционных институтов. Мы старались избавляться от всего лишнего, сосредотачиваясь на главном, и делали это непрерывно. Мы никогда ничего не боялись и всегда держали слово. Мы много учились – как в университетах, так и на своих ошибках. Мониторили рынок, анализировали тренды, проводили мозговые штурмы и даже много медитировали... С такими подходами миссия выполнима! 

**Беседовала:**  
**Светлана Бакарджиева.**





Прочти  
меня на  
сайте



# Аддитивка расширяет сферы влияния

**2024 год, на удивление, (на удивление ли?), был насыщен различными событиями, которые, как несложно догадаться, имели глобальные последствия, затронувшие многие аспекты нашей жизни. Аддитивным технологиям (АТ) была уготовлена участь подобно «одной маленькой, но гордой птички» из к/ф «Кавказская пленница, или новые приключения Шурика». И правда, являющиеся лишь маленьким ответвлением для редких ценителей, АТ завоевали любовь у ментальных революционеров, мыслящих на годы вперед... Активно развиваясь, они (АТ) становятся технологичнее, гибче, и крупнее, причем, не только в размерах производимых деталей, но и в смысле сферы влияния, частично беря на себя функции серийного производства.**

## **Аддитивные технологии, как технологический прорыв**

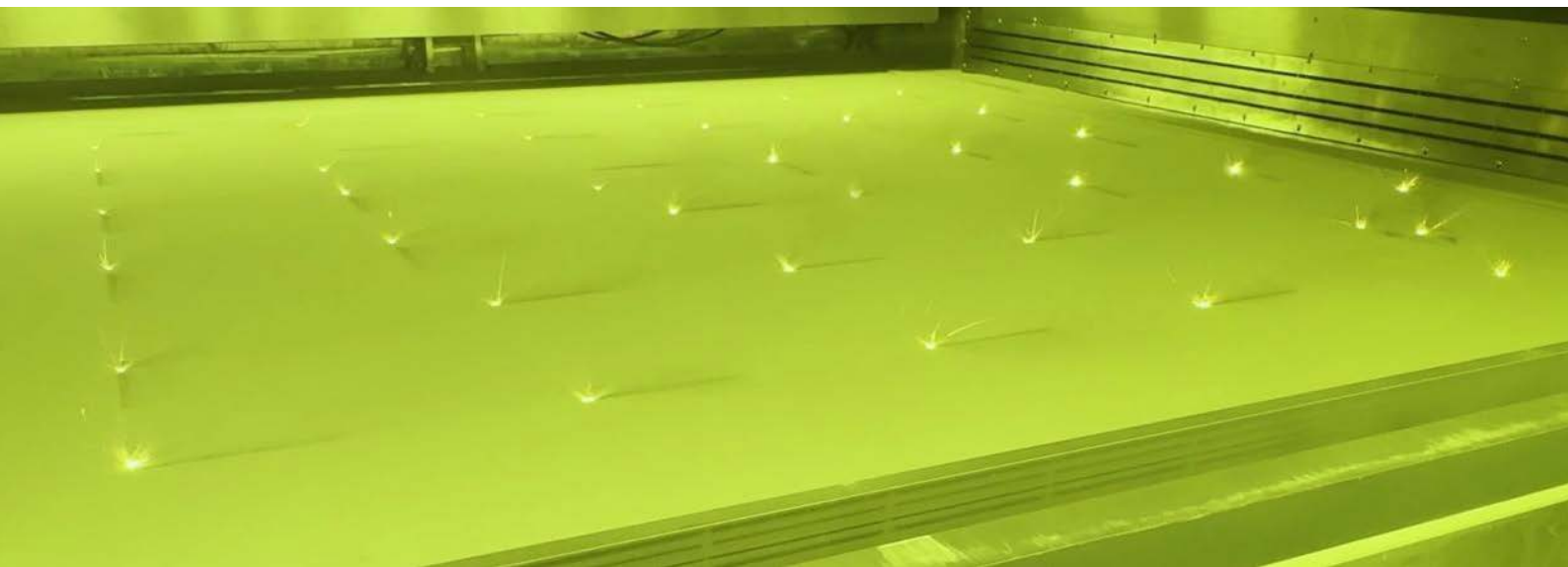
Качественные изменения в аддитивной сфере сегодня заставляют взглянуть на отличные от традиционных производств методы под другим углом: не с точки зрения очередного модного увлечения, трендов, которые рано или поздно исчерпают себя, а с точки зрения новых возможностей, отражающихся на получении принципиально новой продукции, да еще и с лучшей рентабельностью.

Несмотря на то, что у многих аддитивщиков глаз, что называется, замылен, а промышленности в большинстве своем погружены в решение задач привычными им подходами, нельзя не заметить ряд важных изменений в аддитивной сфере. Первое, что бросается в глаза на профильных выставках, конференциях, экспертных форумах, – заказчик теперь, как правило, достаточно хорошо осведомлен о возможностях аддитивного производства. По крайней мере, он знает, что в этой сфере происходит бурление и

там можно найти ответы на свои запросы. Нередко он уже способен выбрать технологию и материал без подсказок извне. В более сложных и не совсем очевидных случаях промышленники открывают внутренние проекты и шаг за шагом изучают технологии 3D-печати, рассматривая их как бизнес-инструмент для решения собственных задач. Если времени на изучение нет, то подыскивается компания-интегратор. В этом, можно сказать, и состоит первый прорыв, выраженный в продвинутой отечественного

новационному сценарию развития, о котором грезил Правительство РФ и ведущие исследовательские компании.

Важным будет отметить все возрастающую доступность L-PBF/SLM оборудования для печати металлами и сплавами, особенно для таких требовательных к геометрии и качеству отраслей, как машиностроение и медицина. Въедливый читатель поспешит возразить, не понаслышке зная, насколько такие принтеры дорогие. Но давайте с вами вернемся в прошлое и вспомним, насколько



*Одновременная работа 36 лазеров по технологии L-PBF/SLM. Фото: EPlus.*

заказчика: «Русский долго запрягает, но быстро едет». Следствие этого – более высокая конверсия в воронке продаж поставщиков аддитивного оборудования, ведь уже не нужно долго увещевать, приводить примеры из разряда «как у них», на Западе или в Китае, проявляется востребованность промышленных инновационных решений.

Компании борются как за собственное выживание, оптимизируя расходы, так и за потребителя, доказывая ему, почему именно их технология, оборудование, материалы, ПО являются самыми лучшими. Эта конкуренция сильно повлияла на ландшафт зарубежных компаний, которые готовы оптимизировать расходы или объединяться. К счастью, на российском рынке все гораздо спокойнее и даже больше соответствует ин-

ко неповоротливыми были первые принтеры, которые выпускались только крупными компаниями-первопроходцами. Им то уж точно не хотелось играть в меценатство, и всю боль длительных и дорогостоящих разработок они возлагали на потребителя. Но время шло и стали появляться китайские и российские системы, которые стали намного доступнее, при этом заметно прибавив в производительности благодаря следованию заразительным примерам европейских брендов. Оснащение современных принтеров 4 – 64 лазерами – это уже мейнстрим, за который крупные компании, не скупясь, платят хорошие деньги. Размеры камер построения также заметно увеличились и уже могут достигать 2 метров. Наука и эксперименты остались в прошлом, теперь



это действенный инструмент для воплощения любых инженерных идей: освоены основные материалы, отработаны режимы, даже обобщена информация об особенностях поведения напечатанных деталей при определенных условиях эксплуатации, разрабатываются ГОСТы. В результате воплощается тот самый пресловутый аспект японской эффективности, выражающийся в высокой производительности на единицу площади, качестве сборки и экономии ресурсов. На ум мне постоянно приходит аналогия с большим производством, в котором задействованы металлургические мощности, межпроизводственная и цеховая логистика, многооперационная обработка заготовок до получения деталей финального качества. На другой чаше весов находится компактное производство с одним или несколькими 3D-принтерами, ставящими гибкость производства на несколько ступеней выше. В России такие установки производятся такими компаниями, как ООО «ЗДЛАМ ИНДАСТРИАЛ» (бренд 3DLAM), ООО «ОНСИНТ», ООО «Лазерные системы», ООО НПЦ «Лазеры и Аппаратура ТМ», ООО «Русат», ООО «НПО «ЗД-Интеграция» (бренд AM.TECH), ООО «Титан-Авангард» (бренд AddSol), и другими.

Активно развиваются технологии, объединенные под общим названием прямого подвода энергии и материалов DED, работающие как с металлопорошками, так и с проволокой. Они уверенно двигаются по пути обретения технологической зрелости и в скором времени станут таким же эффективным инструментом на многих машиностроительных производствах, как и L-PBF/SLM. У DED сразу же подкупают высокая производительность, более низкая стоимость расходных материалов, а также практически не ограниченная зона построения – представьте себе роботизированные манипуляторы или РТК (робототехнические комплексы), несущие на себе наплавочную головку и способные перемещаться по ли-

нейным направляющим «за горизонт» (30 метров хватит?). Среди российских производителей хотелось бы отметить такие компании, как Институт лазерных и сварочных технологий (ИЛИСТ), а также ООО «ИксВелд».

Важным также является появление гибридных технологий, консолидирующих сильные стороны аддитивных и традиционных технологий. Это направление представляет интерес для компаний, стремящихся к компактизации производства, сокращению времени на переналадку, автоматизации. Здесь же можно отметить частое использование РТК, как наиболее доступного и высокоэффективного способа организации аддитивного или гибридного производства. Сочетание преимуществ аддитивного производства с традиционными методами может привести к созданию более эффективных и адаптивных производственных систем в будущем.

И наконец стоит отметить прорыв последних четырех лет – продукцию компании Bambu Lab. Уж сколько дифирамбов ей поют мейкеры (прим. ред.: мейкеры – современные ремесленники, которые используют технологии 3D-печати для создания новых изделий или улучшения уже существующих), а конкуренты рвут на себе волосы или поспешно выпускают продукты-клоны. Да-да, именно с приходом этой

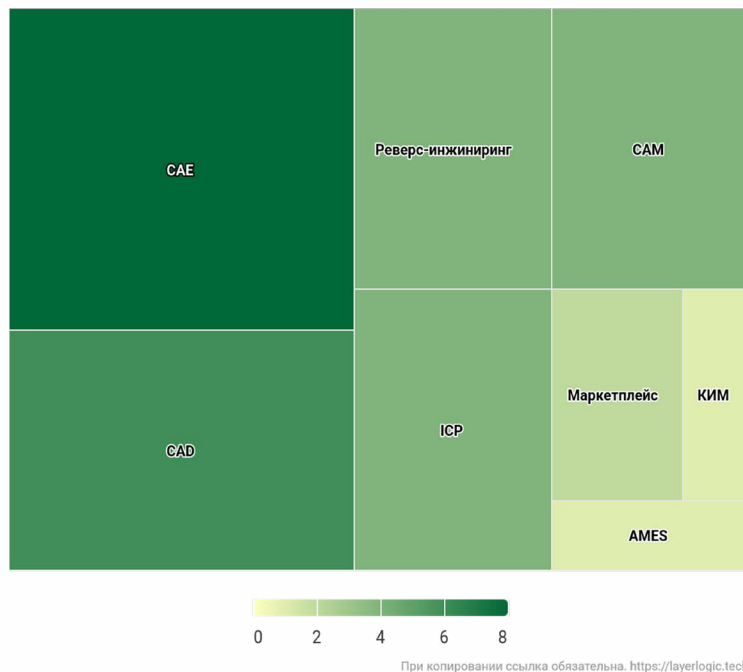


*Корпус первой опоры перспективного вертолетного двигателя. Фото: ЦАТ Ростех.*

китайской компании на рынке стали говорить об iPhone среди 3D-принтеров. Инженерам удалось уместить в компактный и привлекательный корпус многие новшества современности, собрать «хотелки и стенания» мейкеров на форумах и сделать почти идеальный продукт. Получился практически безальтернативный вариант, который действительно отлично справляется с большей частью задач. Впору говорить о Вселенной Bambu Lab.

Что касается не производственных технологий, то главный прорыв произошел в действовании ИИ для проектирования продукции такой сложности, которая не под силу человеку, особенно в сжатые сроки, а также контроля сложных процессов в 3D-печати. А вот задача воплощения сложных форм в реальности возлагается на аддитивное производство. С чем оно успешно справляется. Аддитивное оборудование и генеративные алгоритмы ИИ сегодня в основном разрабатываются под нужды настоящих заказчиков, а не иначе – например, ради научных разработок, регалий и грантов.

Конечно же, сложно обойти реалии отечественного турбиностроения. Здесь удовлетворенно отметим, что отрасль по-прежнему остается в тренде всё более активного применения 3D-печати в производстве компонентов турбин. И ОДК в этом плане остается на переднем крае. В корпорации АТ применяются для изготовления опытных двигателей, а также завихрителей для серийного двигателя. Крупнейшее предприятие России, специализирующееся на промышленной 3D-печати полного цикла, – Центр аддитивных технологий Ростеха (АО «ЦАТ»). Именно здесь создаются детали для самых масштабных проектов отечественной авиации, двигателей для вертолетов и многих других. Благодаря применению АТ удалось минимизировать брак, сплошность материала и пористость, улучшить прочностные характеристики в сравнении с традиционным производством. Прорыв



*Рис. Диаграмма российского программного обеспечения для цикла аддитивного производства (Логика слоя).*

ли это? Для многих – да, а для ЦАТ это стало уже рутиной.

### Рейдерский захват лидерства

На зарубежных рынках наблюдается крайне волатильная ситуация в целом по индустрии. Некоторые из компаний предпочитают торговаться на бирже, привлекая к себе внимание инвесторов и партнеров. И что мы там наблюдаем? Рушится миф о непоколебимости основателей аддитивных технологий. Например, такие американские компании, как Stratasys, 3D Systems, Desktop Metal, Velo3D, постепенно теряют свои позиции. В целом компании Stratasys и 3D Systems демонстрируют снижение выручки и чистые убытки, тогда как Desktop Metal и Velo3D показывают рост выручки, хотя и с продолжающимися убытками. Все компании работают над улучшением своих финансовых показателей через инновации и оптимизацию процессов. К ним нередко обращаются другие игроки рынка с целью поглощения.

С другой стороны, Xometry, ProtoLabs, считающиеся известными поставщиками



производственных услуг, таких, как штамповка листового металла, литье под давлением, уретановое литье, механообработка с ЧПУ, 3D-печать, активно работают над расширением своего присутствия на международных рынках и углублением взаимодействия с корпоративными клиентами, применяя при этом разные стратегии. Другими словами, гибкое производство на заказ пользуется заслуженной популярностью, особенно, если компании умеют использовать ИИ и следят за качеством выпускаемой продукции. А теперь наступает момент истины.

Потребность в услугах, оборудовании и материалах только растет, но почему же тогда американские компании не чувствуют себя так же уверенно, как несколько лет назад? Все дело в китайских компаниях, которые бесцеремонно захватывают рынок, подминая под себя территории и заказчиков, некогда принадлежавших производителям из Европы и США. Например, такие компании, как Bright Laser Technologies, Farsoon Technologies, Eplus3D известны своими принтерами по металлопорошковым композициям, поставляют оборудование заказчикам из авиастроения, космонавтики, ОПК и медицины. Бесспорно, что пока лучшие инженерные кадры сосредоточены в Европейском союзе и Северной Америке. Там разрабатываются лучшие решения на рынке. Однако бесконечное совершенствование своей продукции в погоне за премиальностью, что и делает сегодня Запад, только увеличивает ее стоимость. Китай же сконцентрировался на том, что требуется сегодня для завоевания максимально широкого круга заказчиков: производительность, надежность, точность. По сути, они разгадали тайну успеха и преуспели в этом не только в АТ. Теперь же китайские компании осуществляют экспансию на глобальный рынок, навсегда завоевав при этом свой. По этой причине отечественным разработчикам нужно держать

уху востро.

Вместе с этим сегодня мы видим, как обильно поощряются стартапы и развиваются компании в сверхдержавах США и Китае, поскольку там сформирован благоприятный инвестиционный климат, а также присутствует большое количество финансово обеспеченных компаний с потребностью к разработке и производству прорывных высококонкурентных продуктов.

### Влияние санкций на развитие отечественной сферы АТ

Санкции – это стресс как для государства, так и для народа. Но если в стране присутствует элита, нацеленная на зарабатывание денег не только наименее затратными, но очевидными путями, например, добычей природных богатств регионов, но и ориентируется на наукоемкие разработки и производства, то санкции будут являться вызовом и стимулом для более быстрого развития отраслей. По тем шагам, которые сегодня предпринимает Правительство РФ, Минпромторг, Росатом, Фонд содействия развитию малых

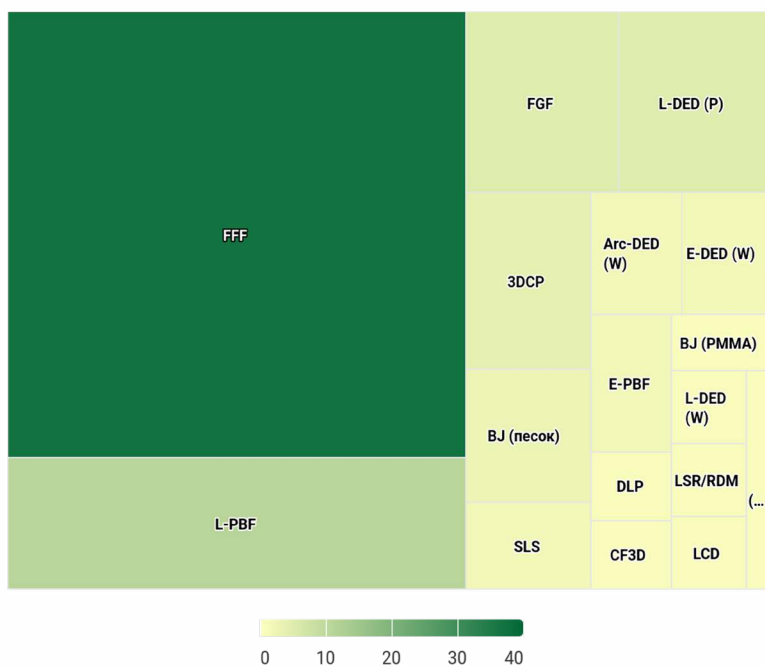


Рис. Диаграмма 3D-принтеров российского производства (Логика слоя).

Экспертиза

форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд Бортника), Агентство по технологическому развитию, можно смело говорить, что поддержка аддитивщикам есть. Согласно проведенному исследованию Клуба аддитивных технологий (КАТ, <https://k-at.ru>) российского рынка АТ и 3D-сканирования за 2024 год, благоприятные для отечественных производителей условия на фоне санкций и ухода западных поставщиков способствовали значительному росту доли внутреннего производства на российском рынке. Так, если в 2021 году доля отечественных производителей оборудования и материалов составляла 54%, то в 2023 году она достигла 70%. Конечно, здесь нельзя утверждать, что такая динамика сохранится и в будущем, поскольку окно для импорта китайского оборудования открыто. Но пока действуют санкции, эффект низкой базы, растущая грамотность специалистов предприятий, развитие государственных стратегических проектов, повышение технологичности оборудования и тенденция к его серийному производству, отработка технологических процессов для широкого ассортимента материалов, присутствующих на отечественном рынке, – все это работает у нас во благо развития сферы АТ.

Если говорить об ограничениях, то, конечно же, возможностей для посещения знаковых выставок в Европе и Северной Америке стало гораздо меньше. Практически отсечен доступ к прогрессивному оборудованию, так как его поставки в РФ затруднены. Поэтому черпать вдохновение, производя обратный инжиниринг наиболее интересных решений, мы можем, только используя публичные источники информации, к которым относятся научные и популярные статьи, веб-ресурсы компаний, видеоролики, и т.п. С другой стороны, ничего не мешает нашим инженерам придумывать новые технологии, отсутствующие за рубежом, проводить питчи перед

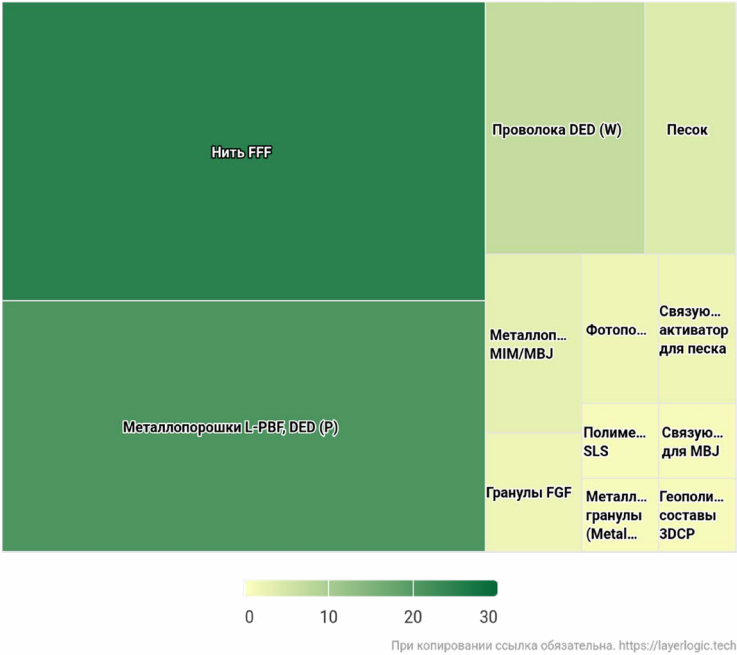


Рис. Диаграмма расходных материалов российского производства (Логика слоя).

инвесторами и получать должные финансовые инъекции для развития своих проектов.

Российское ПО для поддержки АП: самодостаточно ли мы в этом?

С программным обеспечением у нас, пожалуй, самая незавидная ситуация. В том смысле, что конкуренции среди компаний практически нет. У нас уже представлены интеллектуальные онлайн производственные платформы, САПР полного цикла, включающие в себя некоторые особенности для помощи в создании топологических компонентов, ассистенты, ПО для предварительной деформации, расслоёвщики/слайсеры с подготовкой УП с G-кодами, MES-системы для аддитивного производства, базы данных по материалам.

Да, пока качество отечественного ПО не дотягивает до лучших зарубежных решений, но сказать, что мы обделены в каких-то основополагающих инструментах, было бы несправедливо.

Российское оборудование для 3D-печати: что важно знать?

У нас представлены практически все ос-



новные АТ (их около 13), во всяком случае, те, которые активно используются в производстве и позволяют коммерциализировать эту деятельность.

Наиболее широко представленными здесь я бы назвал производителей экструзионных 3D-принтеров по технологии FFF (англ. fused filament fabrication) по полимерам и композитам (у нас представлено около 37 компаний) – сегмент, который и в мире очень бурно развивается благодаря своей относительной простоте и доступности. Второе место можно смело отдать порошковой технологии L-PBF/SLM (11 компаний), как самой премиальной (на данный момент) по работе с металлами и сплавами. Далее идет шнековая экструзия гранулированных материалов FGF (англ. fused granular fabrication), металлопорошко-

### **Отечественные материалы: сами с усами?**

Большая часть потребности в материалах у нас закрыта отечественными производителями. Очень широко представлены полимерные и композитные нити (более 25 компаний), металлопорошки (более 20 компаний), есть проволока, песок/связующее/активатор, и многое другое.

Другими словами, импортозаместить здесь мы смогли почти все. Однако над качеством нам нужно еще поработать. Для многих предприятий выбор отечественных материалов для аддитивного производства становится обязательным, потому как появляются новые требования ОПК, ОСК и других крупнейших секторов и холдингов.

**Для многих предприятий выбор отечественных материалов для аддитивного производства становится обязательным, потому как появляются новые требования ОПК, ОСК и других крупнейших секторов и холдингов.**

вая наплавка L-DED (P) (англ. laser powder direct energy deposition), экструзия строительных смесей 3DCP (англ. 3D concrete printing), печать связующим BJ (англ. binder jetting), и другие. Нет у нас «свежих» инновационно направленных компаний в области Area Printing, MultiJet Printing, аналогов листовой ламинации, очень мало проволоочной наплавки, электроннолучевой наплавки и плавления, фотополимеризации в ванне...

В сухом остатке: наш рынок и разработчики не сидят без дела и предпочитают вкладываться в те технологии, которые резонируют у промышленников. На непроверенные у нас разработки (или имеющие малое распространение на Западе) инженеры предпочитают не отвлекаться, а сразу прорабатывают решения, которые стремительно наполняют цеха промышленных инноваторов.

### **Серийное производство с АТ: миф или реальность?**

Стоимость оборудования, материалов падает ввиду конкуренции и увеличения объемов производства, вместе с этим качество и производительность растёт. Более того, ПО для подготовки УП позволяет задействовать цифровые двойники, виртуализировать весь технологический процесс, тем самым получить идеальную программу для запуска в производство, при этом все ошибки будут подсвечены и исправлены, например, ИИ. Все это позволяет производить сложные изделия с гарантией получения качественного результата, причем серийно. Мне известна масса глобальных проектов, которые могут похвастаться сотнями тысяч и даже миллионами аддитивных изделий ежегодно. Эти примеры чаще показывают уникальную серийную продук-

*Концепт системы гиперзвукового охлаждения, проектируемой с помощью нейросетей. Фото: LEAP71.*



цию с особенностями в каждом изделии, для их выпуска не требуется оснастка и затраты, связанные с подготовкой производства. Более того, западные компании могут позволить себе просто перейти на другую альтернативную технологию, которая в ряде случаев может лучше справиться с серийной продукцией, например, многие центры аддитивного производства на заказ переходят с оборудования лазерного спекания SLS (англ. selective laser sintering) на проприетарную технологию HP – MJF (англ. multijet fusion). Но что самое важное – аддитивное производство позволяет абстрагироваться от ограничений традиционного оборудования, проектировать и производить ровно то, что задумал дизайнер или инженер, а бубнеж технолога направить в другое, более созидательное русло. В России пока это не является трендом, но рано или поздно мы и здесь увидим серьезные подвижки.

Не о таком ли будущем мечтают все производственники? Но это не будущее – это уже наше настоящее, с которым «подру-

житься» может любое предприятие с амбициями и открытым инновационным мышлением.

## Симбиоз ИИ и АТ:

### мы на пороге серьезных перемен

Первый на данный момент и самый целевой симбиоз ИИ и АТ, на мой взгляд, – это вычислительная или алгоритмическая инженерия – новый термин, который в полной мере развивают в Дубайской компа-



*Ракетный двигатель LEAP71 Noyron TKL-200. Фото: EPlus.*

нии LEAP71. Не хочу вдаваться в тонкости этого решения, но самое важное, что нужно знать, – это возможность проектировать изделия, расчетная модель которых ограничена возможностями производственной технологии, условиями эксплуатации изделия, его выходными характеристиками (вспомните GPTs). Алгоритмическая инженерия позволяет инженерам за считанные минуты переходить от абстрактных входных спецификаций, таких как тип топлива, желаемая тяга и давление в камере, к производимой геометрии двигателя.

На сегодня LEAP71 преуспели в своей специализированной вычислительной модели Noyron RP (основана на Noyron Large Computational Engineering Model), разработанной для проектирования ракетных двигательных систем. Эта модель на осно-

ве ИИ позволяет создавать проекты без использования традиционных CAD-систем, предоставляя человеку занять место творца, наблюдателя. Только представьте себе, что каждую итерацию с получением работоспособного двигателя ноутбук способен рассчитать за 30 минут вместо месяцев напряженной работы штата инженеров! Жидкостной ракетный двигатель Noyron TKL-5 успешно прошел горячие испытания в 2024 году, а последний Noyron TKL-200 имеет мощность 200 кН, что в 40 раз больше по сравнению с TKL-5. Это настоящий прорыв в области проектирования ракетных двигателей, сочетающий современные вычислительные методы с АТ.

Еще одно направление для проектирования с задействованием ИИ – это так называемые большие языковые модели, ис-

## ЧЕГО ОЖИДАТЬ В МИРЕ?

- Мы с вами увидим увеличение доли конечной продукции аддитивного производства и ее серийности. Это связано с улучшением качества и снижением затрат на производство.

- Появление новых материалов также должно повлиять на появление продукции с новыми свойствами, а в некоторых случаях даже уменьшить ее размеры и вес.

- Очевидно, что мы будем наблюдать увеличение объемов инвестиций в научные исследования и разработки, особенно с привлечением возможностей ИИ. Все это должно повлиять на появление новых более производительных инструментов, минимизацию вовлечения человека в процесс проектирования и производства.

- В наше нестабильное время компаниям очень важна поддержка или консолидация, поэтому ожидается

формирование консорциумов и объединений между предприятиями и исследовательскими центрами, что поможет ускорить внедрение инноваций и повысить конкурентоспособность.

- Ужесточение конкуренции может привести к повышению качества продукции и услуг, что также будет способствовать росту сектора.

- Введение новых стандартов и правил может как ускорить, так и замедлить внедрение АТ в разных странах.

- Экономическая стабильность или нестабильность в ключевых регионах (Северная Америка, Европа, Азиатско-Тихоокеанский регион) также повлияет на темпы роста рынка.

- Такие отрасли, как авиация, космонавтика, ОПК, здравоохранение, автомобильная промышленность останутся в приоритете у АТ, беря на себя 2/3 от общего объема продаж.



## КАКИЕ КЛЮЧЕВЫЕ ДРАЙВЕРЫ ВЛИЯЮТ НА РАЗВИТИЕ СФЕРЫ АТ?

- Реверс-инжиниринг стал особенно актуальным, так как отечественные производители утратили доступ к официальному сервисному обслуживанию зарубежного оборудования.
  - АТ становятся важным инструментом для повышения гибкости производственных процессов в различных отраслях.
  - Рост оборонного производства, поскольку АТ позволяют быстро изготавливать сложные и уникальные изделия как на заводах, так и в полевых условиях.
  - Импортозамещение и технологический суверенитет, активизирующие научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность.
  - Появление оборудования из Китая, внутренняя и внешняя ценовая конкуренция позволили приобретать оборудование значительно дешевле, чем из США и Европы в прежние годы. Также успешно работают программы субсидирования для промышленных предприятий и научно-образовательной сферы, стимулируя спрос на 3D-принтеры и материалы в разных отраслях.
  - Увеличивается зрелость применения АТ в таких областях, как медицина, стоматология, литейное производство, авиационное двигателестроение и общее машиностроение.
- Вместе с этим присутствуют и ограничивающие факторы:
- Промышленные эксперты выражают опасения по поводу интеграции АТ в существующие производственные процессы. Недостаток квалифицированных специалистов и низкий уровень подготовки конструкторов, обладающих достаточно компетенцией для проектирования под возможности АТ.
  - Проблемы с обслуживанием западных 3D-принтеров и необходимость их замены.
  - Присутствуют сложности с компонентами российского производства, например, сканаторами, электроникой, направляющими, шаговыми двигателями, головками, взрывозащищенными пылесосами, станциями очистки изделий, которые зачастую приходится закупать за рубежом. В связи с этим лишь небольшая часть отечественных производителей перешла отметку в 70%.
  - Проблемы стандартизации процессов 3D-печати – еще один стоп-фактор. Необходимость разработки стандартов для обеспечения качества продукции и надежности процессов остается актуальной задачей для отрасли.
  - Некоторые специалисты подчеркивают, что для простых деталей традиционные методы производства могут оставаться более экономически выгодными. Поэтому аддитивное производство лучше всего подходит для сложных или уникальных изделий, где традиционные методы неэффективны.

пользуемые для генерации трехмерной геометрии с помощью ИИ-генераторов на основе текстовых запросов и изображений. Сегодня представлены разнообразные интерфейсы промптов, среди которых можно

отметить следующие: text2mesh, text-to-3D, text-to-CAD, image-to-3D. Подобные проекты развиваются и в России.



### Что год пришедший нам готовит?

По оценкам всех ведущих консалтинговых агентств, в 2025 году ожидается значительный рост АТ, что будет обусловлено несколькими ключевыми факторами. Например, по мнению авторитетной компании Wohlers Associates, в 2023 году общий объем продукции и услуг аддитивного производства в мире вырос на 11,1% и составил 20,04 млрд. долл. США. Прогнозируется, что объем мирового рынка за 2024 год вырастет до 21,5 млрд. долл. США с ежегодным темпом роста около 15%. Можно ожидать, что такая динамика роста сохранится и в 2025 году.

### Чего ожидать в России?

В 2021 году Правительство РФ утвердило Стратегию развития АТ до 2030 года, которая включает поддержку научно-технологических инициатив и стандартизацию процессов. Предполагалось, что к 2027 году по целевому (среднему) сценарию объем российского рынка АТ (аддитивного оборудования и комплектующих, материалов для печати, услуг и программного обеспечения) достигнет 7,6 млрд. руб., а за 2023 год составит почти 4,4 млрд руб.

Однако, согласно исследованию КАТ, объём рынка в 2023 году составил уже 15,5 млрд руб. и превысил более чем в 2 раза объём 2021 года. А к 2027 г. по компромиссному (среднему) сценарию может показать среднегодовой темп роста 21,6%, достигая 34,7 млрд. руб. Другими словами, налицо более стремительное развитие сферы 3D-печати, чем предполагалось в Правительстве РФ. Сподвигнут ли эти реалии пересмотр Стра-

тегии развития – покажет время.

Значит ли это, что АТ настолько гармонизировались с мышлением промышленников, что будут непоколебимо развиваться все более увеличивающимися темпами? Очень многое будет зависеть от геополитической обстановки. Например, согласно маркетинговому отчету AMPOWER 2024, производители АТ из Азиатско-Тихоокеанского региона значительно опережают своих конкурентов из США и ЕС, демонстрируя рост продаж оборудования на уровне около 13,5%. В то же время в США наблюдается рост на 11%, а в Европейском Союзе фиксируется незначительный спад на 0,3%! Вот вам налицо и влияние государственной политики, зеленой энергетики, Европейского миграционного кризиса, трат на ОПК...

Поэтому вам решать, поддерживать ли такие многообещающие инновации не ради трендов, а с целью оптимизации расходов, в связи с планами выпуска продукции с новыми потребительскими качествами, возможностью оперативного ремонта или печати не поставляемых в Россию деталей ввиду санкционного давления. Это технологии, меняющие мир и приближающие высокотехнологичное будущее. Вы уже предвкушаете эти заманчивые перспективы? 

**Трубашевский Дмитрий,**  
эксперт в области аддитивных технологий, основатель проекта «Логика слоя», генеральный директор ООО «Синтезиум»

Источник:

[Альманах аддитивщика №2 январь 2025.](#)



РОССИЙСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ДЛЯ МИРОВОГО УСПЕХА  
В 3D-ПЕЧАТИ!

**AM.TECH**  
Технологии Аддитивного Производства



Прочти  
меня на  
сайте

# Новый отчет CONTEXT: спад продаж в 3D-печати достиг 24%

**Аналитическая компания CONTEXT представила свежий отчет, позволяющий оценить текущее состояние глобального рынка 3D-печати. В третьем квартале 2024 года рынок столкнулся с серьезными трудностями, связанными со снижением продаж, оптимизацией бизнеса и общей экономической нестабильностью. Эти события подчеркивают необходимость тщательного анализа причин происходящего и перспектив дальнейшего развития этой важной отрасли.**

## Общая картина: причины спада

CONTEXT характеризовал 2024 год как период существенных изменений в индустрии аддитивного производства. Сложности в экономике, политическая неопределенность и глобальные изменения в производственно-сбытовых цепочках создали среду, в которой производители 3D-принтеров испытывают значительные затруднения.

Важным сигналом стало снижение поставок оборудования практически во всех ключевых сегментах. Производители промышленных систем, считающихся основой

профессионального аддитивного производства, сократили объем продаж на 24% в годовом исчислении. Системы среднего класса (стоимостью \$20 000–\$100 000) потеряли 8% рынка, а профессиональные устройства (\$2 500–\$20 000) продемонстрировали небольшое снижение на 1%.

Единственным исключением стали начальные устройства стоимостью менее \$2 500, показавшие рост на 28%. Однако даже этот сегмент начал демонстрировать признаки замедления, что может быть связано с насыщением рынка и изменением предпочтений потребителей.





Ключевыми факторами, вызвавшими спад, стали:

- Макроэкономическая нестабильность. Высокие процентные ставки, ограничивающие доступность кредитования, привели к сокращению капитальных затрат компаний.
- Политическая неопределенность. Выборы в США и других странах стали поводом для переноса крупных контрактов и стратегических решений.
- Изменение спроса на готовую продукцию. Рынки, такие как стоматология и ювелирное производство, демонстрируют снижение интереса к аддитивным технологиям.

### Политические факторы: выборы и их влияние на рынок

2024 год ознаменовался выборами в США, что существенно повлияло на принятие решений в частном и государственном секторах. Многие компании отложили заключение крупных сделок до завершения выборного периода. Например, ожидалось, что будут подписаны значительные контракты на поставку оборудования для обо-

ронных нужд, однако эти планы так и не реализовались.

Несмотря на это, Министерство обороны США остается крупнейшим инвестором в аддитивные технологии. В частности, продолжаются проекты по развитию внутренней производственной цепочки для стратегических отраслей, таких как строительство подводных лодок и пополнение запасов ракет (редакция INDUSTRY3D не одобряет подобные инициативы). Эти инициативы обеспечивают стабильный спрос на металлические 3D-принтеры и стимулируют инновации в этой области.

### Спад в сегменте промышленных систем

Глобальное снижение поставок промышленных 3D-принтеров вызвало падение годовых показателей на 19% по итогам последних двенадцати месяцев. Согласно данным CONTEXT, это снижение затронуло почти все технологии и типы материалов в данном сегменте. Продажи металлических систем упали на 24%, а полимерных — на 25%. В мировом масштабе поставки сократились в Китае (-37%), Северной Америке (-25%) и Западной Европе (-13%).

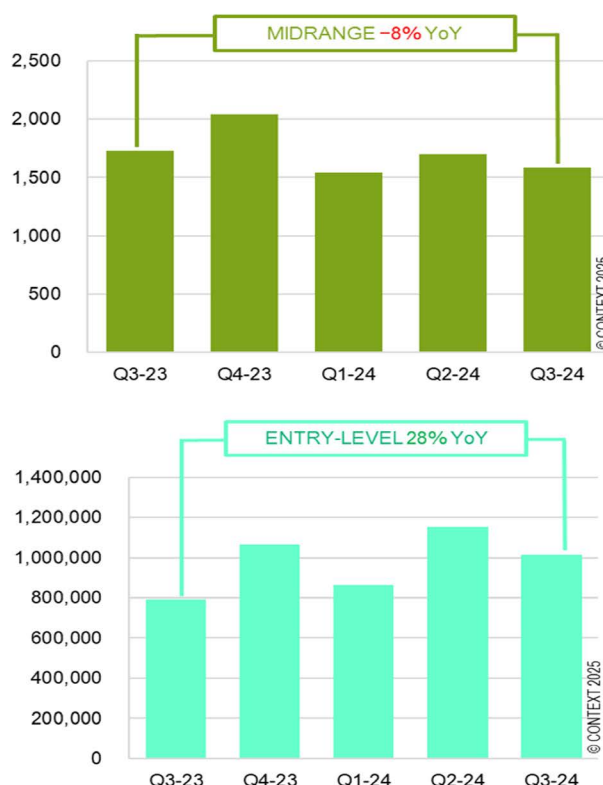
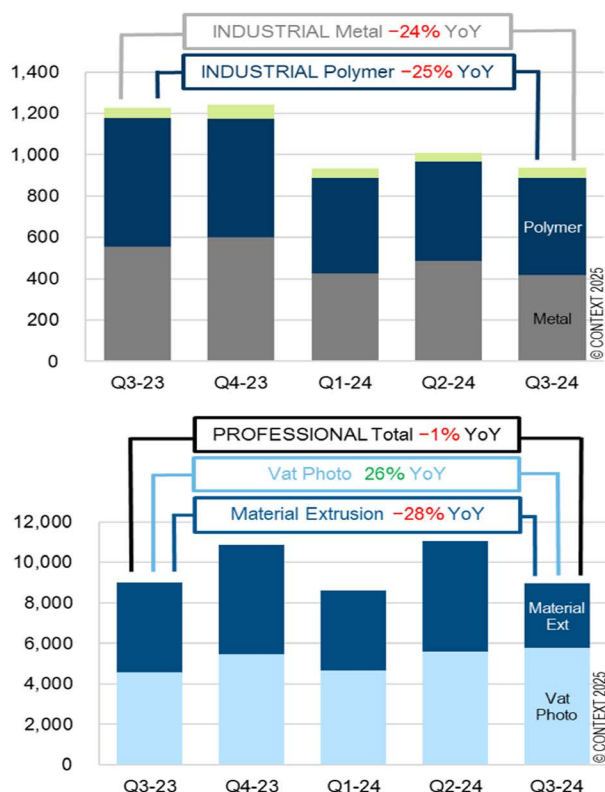


Рис. Глобальные поставки 3D-принтеров с разбивкой по ценовым категориям (CONTEXT).

Рынок промышленных полимерных 3D-принтеров вновь столкнулся с трудностями, связанными с системами фотополимеризации в ванне, которые в третьем квартале показали снижение на 30% по сравнению с прошлым годом. За весь год продажи этой технологии упали на 42%, в то время как общий сегмент зафиксировал снижение на 29% ТТМ.

На рынке систем фотополимеризации продолжают доминировать китайская компания UnionTech, ориентированная на внутренний рынок, и американская компания 3D Systems, которая преимущественно обслуживает западных клиентов. В третьем квартале обе компании отметили резкое снижение поставок, объясняя это падением спроса на стоматологическом рынке. Кроме того, продажи систем полимерного порошкового спекания SLS и экструзии материалов MEX снизились на 15%, а поставки для струйной печати Material Jetting упали на 43%.

**Металлическая 3D-печать: ключевые успехи и вызовы**

Несмотря на общий спад, в металлической 3D-печати сохраняются определенные положительные тенденции. Компании, та-

кие как Eplus3D, TRUMPF и Renishaw, продемонстрировали рост продаж благодаря внедрению инновационных технологий. Например, Eplus3D успешно вывела на рынок крупногабаритные системы L-PBF, что позволило ей увеличить глобальные поставки на 41%.

Тем не менее, региональные различия постепенно сглаживаются. Если прежде китайские компании доминировали благодаря внутреннему спросу, то в 2024 году даже в Китае поставки 3D-принтеров упали на 26%.

А вот продажи многолазерных систем, таких как HXG SLM от Nikon, показывают впечатляющие результаты. Компания уверенно удерживает лидерство на мировом рынке 3D-печати металлом, подтверждая свою репутацию инновационного лидера в этой сфере.

**Средний и профессиональный сегменты: стабильность и новые перспективы**

В то время как Stratasys продолжает удерживать лидерство на рынке, компания под руководством Йоава Зейфа столкнулась с падением продаж своих систем экструзии материалов FDM. 3D Systems, ветеран ин-

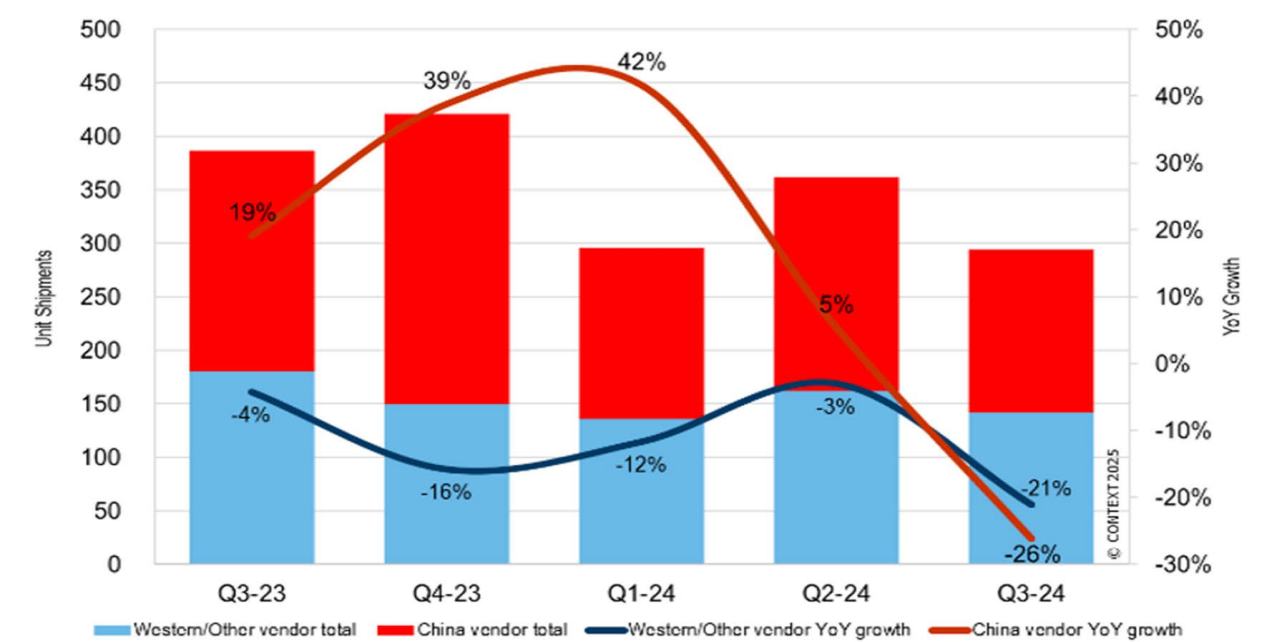


Рис. Региональные поставки промышленных металлических 3D-принтеров по технологии L-PBF (CONTEXT).



дустрии 3D-печати, продолжает испытывать трудности, опустившись на шестое место по продажам в этом сегменте.

Рынок устройств среднего класса столкнулся с сокращением на 8%, что обусловлено снижением покупательной способности клиентов. При этом китайские производители, такие как Flashforge, ZRapid Tech и UnionTech, продолжают увеличивать свою долю на рынке благодаря более доступным решениям. Совокупные поставки от китайских поставщиков выросли на 46% в годовом исчислении. Компании же из других стран столкнулись с падением продаж в среднем ценовом сегменте на 24%. Однако, Flashforge выделилась на фоне общего спада, столкнувшись с небывалым спросом на ювелирном рынке на свои струйные принтеры WaxJet.

Профессиональный сегмент, представленный устройствами стоимостью от \$2 500 до \$20 000, также переживает непростые времена. Однако запуск новых моделей, в том числе Formlabs Form 4 и Form 4B, помог частично компенсировать спад. В целом поставки профессиональных устройств снизились на 1% в годовом исчислении, но это выглядит менее драматично на фоне общей ситуации на рынке. В третьем квартале 2024 года было отгружено на 28% меньше профессиональных 3D-принтеров FDM, чем в предыдущем году.

Несмотря на то, что CONTEXT отмечает замедление рынка начального уровня по сравнению с предыдущим «супербыстрым темпом», системы стоимостью менее 2500 долларов продолжают показывать отличные результаты. Поставки выросли на 28% в годовом исчислении, а в основе продаж за последние 12 месяцев наблюдается впечатляющий рост на 43%.

Crealiti уверенно лидирует в этом ценовом сегменте, несмотря на замедление роста. В то же время, Bambu Lab и Flashforge демонстрируют значительный рост своей доли рынка, укрепляя свои позиции на фоне общего замедления.

### **Будущее рынка: оптимизм в долгосрочной перспективе**

Несмотря на трудности 2024 года, аналитики CONTEXT настроены оптимистично. Ожидается, что рынок 3D-принтеров начнет восстанавливаться во второй половине 2025 года. Снижение процентных ставок и улучшение макроэкономической ситуации должны стимулировать рост капитальных вложений.

По прогнозам, в 2025 году поставки промышленных систем увеличатся на 14%, устройств среднего класса — на 12%, а профессиональных решений — на 6%. Более того, CONTEXT ожидает двузначный рост в 2026 году, что станет основой для длительного подъема в отрасли.

Крис Коннери, вице-президент CONTEXT, отметил:

***«Рынок продолжает демонстрировать удивительную устойчивость. После сложностей 2024 года ожидается восстановление, аналогичное периоду после COVID-19, когда спрос на 3D-печать стремительно вырос».***

### **Заключение**

Год 2024 стал серьезным испытанием для индустрии аддитивного производства и преподал важные уроки для ее участников. Компании, которые готовы инвестировать в инновации и адаптироваться к новым экономическим условиям, смогут сохранить конкурентные преимущества.

Рынок 3D-печати остается важным драйвером изменений в глобальной промышленности. В ближайшие годы он продолжит развиваться, привлекая внимание новых инвесторов и открывая перспективы для внедрения передовых технологий в производственные процессы. 

**Дмитрий Трубащевский**

Адаптированный [источник](#).





Прочти  
меня на  
сайте

# ЦАТ – генератор креативных инновационных решений

**«Креативность + итеративная разработка = инновации» – такую формулу вывел основатель международной технологической компании Dyson Джеймс Дайсон. Лаконично и красиво, как это обычно бывает на бумаге. В жизненных же реалиях инновационных компаний в эту формулу укладывается огромный труд всей команды по отлаживанию и оптимизации производственных процессов, повышению эффективности инструментов управления, развитию кадрового потенциала и еще многого всего, без чего невозможно стимулировать креативность и обеспечить результативность каждого шага итеративной разработки. О том, как это работает в ЦАТ, генерирующем инновации в сфере аддитивного производства для ОДК и других корпораций Ростеха, а также за его пределами, рассказал в интервью генеральный директор ЦАТ Алексей Мазалов.**

**– Вы возглавили ЦАТ в июне прошлого года. Когда вступили в должность, какие сильные стороны компании сразу бросились в глаза, а что, по первому впечатлению, требовало доработки, усиления, изменений? И насколько**

**ко тогдашние выводы актуальны в настоящий момент?**

– При знакомстве с первой линией руководителей внутри компании я увидел сильную, высокопрофессиональную и достаточно слаженную команду, с которой интересно было бы наладить эф-

фективное взаимодействие. Могу с радостью отметить, что нам это удалось довольно быстро, что позволило сосредоточиться на развитии и улучшении процессов, не теряя времени на адаптацию команды. И сегодня мое мнение о компетентности и о силе команды не поменя-



лось. Я стараюсь привносить лишь только те изменения, которые, сохраняя всё лучшее из уже наработанного, способствуют дальнейшему усилению и расширению команды, причем, в первую очередь – с точки зрения производственного, конструкторского, технологического, научного (лабораторного) направлений. В ЦАТ эффективно работает система менеджмента качества, которая поддерживается в том числе инструментами Lean. А сейчас мы взялись внедрять методы канбан. Все эти системы, как известно, подразумевают непрерывный процесс улучшения, что вполне отвечает нашим устремлениям.

## – А с чего вы начали?

– К концу минувшего года мы реформатировали деятельность компании, выделив четыре ключевых доходных направления. Первое, безусловно, это аддитивное производство, преимущественно контрактное. Выполняем заказы ОДК и других корпораций, как входящих в Ростех, так и вне его контура. Второе направление – это лаборатория, которая прежде выполняла функции периферии, дополнения к ключевому производству. Теперь, когда мы дооснастили ее парк новым лабораторным оборудованием и усилили штат научных сотрудников, появилась воз-

можность ее большей коммерческой загрузки.

Третий наш столп – конструкторская служба, мы ее за это время значительно усилили. И четвертое – это образовательная деятельность по двум векторам. Первый направлен на повышение квалификации, на усиление компетенций внутри нашей компании. Все новые сотрудники в первую очередь проходят через наш ЦАТовский образовательный центр, что значительно ускоряет их адаптацию на

нашей производственной площадке. Второй вектор – коммерческие контракты с другими компаниями на обучение, введение в аддитивное производство их сотрудников. Обучение ведется по ряду направлений: реверс-инжиниринг, проектирование и пере-  
проектирование под обеспечение технологичности аддитивного производства, а также обучаем конкретным технологиям 3D-печати: SLM, DMD, FDM, SLS и печати керамики.





**– Усиление конструкторского направления и лаборатории уже дает результаты?**

– Когда я пришел в компанию, конструкторское направление, включая реверс-инжиниринг и оптимизацию топологии, было не в фокусе. Теперь же у нас сформирована полноценная конструкторская группа из компетентных, квалифицированных специалистов.

Также мы оснастились дополнительным портативным 3D-сканером, благодаря которому появилась возможность в том числе выполнять выезд-

шающие этапы – финишная обработка, затем – сборка и испытания. На выходе мы импортозаместим два сверхвысокопроизводительных на данный момент поршневых двигателя.

**– А в саму конструкцию привнесли что-то своё?**

– Все литые элементы мы заменили напечатанными металлом из алюминиевых сплавов. Небольшая часть деталей выполнена из пластика. Мы также напечатали и поршень, и цилиндр, причем в формате заготовок под последующую механообработку. Так усилиями специалистов ЦАТ и прежде все-

нашей самой большой установкой. Это двухъярусная машина, оснащенная четырьмя лазерами по 500 ватт каждый с полем построения 600 мм по трём осям. Это одна из крупнейших машин в SLM; она приехала в начале лета. На ее освоение ушло время, не обошлось без трудностей, но мы их благополучно преодолели. В настоящий момент она поточно изготавливает требуемую для нас продукцию, включая серийную.

**– Она загружена полностью?**

– Что касается загрузки: весь парк нашего оборудова-

**Усилиями специалистов ЦАТ и прежде всего – нашей конструкторской группы удалось упростить, удешевить и ускорить процессы изготовления всех деталейсборочных единиц. Экономический эффект можно будет более полно оценить уже при серийном производстве этих двигателей.**

ные задачи на предприятиях. Вот лишь один из примеров. В течение всего лишь полутора месяцев мы разобрали, провели детализацию, сканирование изделия, построили высокоточные трехмерные модели, выпустили комплект чертежей, который преобразовали в рабочую конструкторскую документацию. Что еще важно, выявили химсостав, определили твердость, определили чистоту или шероховатость поверхности. Примерно три недели нам потребовалось на то, чтобы произвести заготовки. Завер-

го – нашей конструкторской группы удалось упростить, удешевить и ускорить процессы изготовления всех деталейсборочных единиц. Экономический эффект можно будет более полно оценить уже при серийном производстве этих двигателей.

**– А что стало для ЦАТ открытием года в плане освоения новых технологий, новых возможностей оборудования, материалов и т.д.?**

– Здесь я выделю два направления. Первое – это закупка и ввод в эксплуатацию

ния сейчас загружен более чем на 70%, но по отдельным локальным направлениям — в первую очередь связанным с технологией SLM — уровень загрузки достигает 90%. Показатель в 70% обусловлен тем, что в прошлом году мы только дооснастились несколькими новыми системами и еще просто не успели их загрузить в полном объеме. В текущем году, я уверен, процент загрузки ещё увеличится.

Причём здесь начинает работать следующий важнейший фактор: мы дей-



ствуем в концепции ТРЦС, то есть территориально распределённых центров специализации. На большинстве предприятий ОДК тоже сформированы свои аддитивные участки; мы работаем в плотной связке с ними и там есть локально недозагруженное оборудование. Поэтому, когда мы внутри ЦАТ перегружены, конечно, мы обращаемся к нашим коллегам в ТРЦС и уже сейчас фактически переразмещаем заказы, чтобы не потерять партнёрские отношения с нашими контрагентами.

Еще одно открытие минувшего года связано с вводом в эксплуатацию габаритной DMD-установки ИЛИСТ-XL. В контуре ТРЦ уже есть подобные машины, и нам было очень интересно получить собственный опыт эксплуа-

тышенного оборудования, причем преимущественно это принтеры, позволяющие нам использовать широкий спектр аддитивных технологий, включая технологию печати керамонаполненными фотополимерными композициями.

Ключевое приобретение для нашей лаборатории – рентген-томограф, который позволяет оперативно контролировать внутренний объем исследуемой детали на предмет выявления всевозможных дефектов и несплошностей. Его разрешающая способность составляет до 4 микрон, то есть мы теперь можем выявлять классические аддитивные дефекты, такие как поры и трещины, и заранее отбраковывать детали, если с режимом построения было что-то не так. В томографе

совместно с командой компании-поставщика мы отладили у себя процессы использования софта для компенсации технологических деформаций в аддитивном производстве. Получилось очень плодотворное взаимодействие, по итогам которого разработчики получили квалифицированную обратную связь от прикладного пользователя и идеи для совершенствования продукта, а ЦАТ – отлично работающее ПО.

**– Как строится работа ЦАТ с подразделениями ОДК?**

– Я уже упомянул, что мы работаем в концепции ТРЦС. Эти десять территориально распределённых центров специализации на местах – наши точки опоры и «агенты влияния». Проблема в том, что в парках оборудования

**Мы работаем в концепции ТРЦС. Эти десять территориально распределённых центров специализации на местах – наши точки опоры и «агенты влияния».**

тации этой системы. Теперь у нас две габаритные DMD-установки, и уже есть заказы под них. А в текущем году мы загрузим эти две машины и будем дальше делиться заказами с ТРЦС на местах.

**– А в целом насколько расширился парк оборудования ЦАТ?**

– В прошлом году он пополнился на 14 единиц про-

можно исследовать изделия габаритом до полутора метров и массой до 200 килограммов. Эта впечатляющая установка изготовлена в России. С ее использованием у нас совершенствуется и ускоряется процесс выходного контроля изделий.

Нас также порадовали отечественные разработчики программного обеспече-

этих центров разноплановые машины от разных производителей; а когда речь идет о серийном аддитивном производстве, конечно, нужно определиться с ЕТП – единой технологической платформой, на базе которой будут масштабироваться серийные решения. Поэтому для начала было бы правильно документально унифици-

ровать деятельность ТРЦС, чтобы все они работали по одним правилам. Для этого мы уже начали разрабатывать стандарты ОДК по аддитивным технологиям. Первая серия стандартов уже сейчас запущена на согласование по всем ТРЦС. Это стандарты организации по оценке аддитивного оборудования на предмет пригодности к серийному аддитивному

ществом, ЦАТ, безусловно, стремится к эффективности в финансово-экономическом плане. Понятно, что иной раз для того, чтобы зайти на некий крупный проект, требуются особые стратегии выстраивания партнерства и применяются различные модели ценообразования. Но преимущественно мы придерживаемся нашей сложившейся внутренне утвержденной мо-

ства РосАТ для серийного авиационного двигателестроения. В числе наших контрагентов – не только госкорпорации, но и крупные промышленные компании, холдинги и научно-исследовательские институты. Я считаю, что это очень ценно для нас — не зацикливаться только на одной нише и показывать, как в различных отраслях можно реализовы-

**В числе наших контрагентов – не только госкорпорации, но и крупные промышленные компании, холдинги и научно-исследовательские институты. Я считаю, что это очень ценно для нас — не зацикливаться только на одной нише и показывать, как в различных отраслях можно реализовывать эффективные кейсы аддитивного производства.**

производству деталей для авиационного двигателестроения. После того как получим обратную связь от всех ТРЦС, согласуем стандарты в ОДК. И дальше при выборе нового оборудования для ЦАТа и ТРЦС будем ими руководствоваться.

**– ЦАТ, работающий под эгидой ОДК, при этом как поставщик продуктов и услуг не ограничен контуром двигателестроительной корпорации или Ростеха. К сожалению, об этом еще мало знают на рынке. Что сегодня делается для расширения круга партнеров?**

– Будучи акционерным об-

дели. При этом работаем над ее оптимизацией, чтобы сократить накладные расходы, обеспечить оптимальную себестоимость и, соответственно, выгодную рыночную стоимость продуктов ЦАТа для наших контрагентов.

В основном наша деятельность связана с ОДК, но есть проекты и с внешними партнерами. Например, мы плотно работаем с РосАТ и Роскосмосом по материалам и аддитивному оборудованию, в частности, по SLM-принтерам. До конца 2025 года мы планируем завершить работу по ним, и по итогам будет сделан вывод о пригодности материалов и SLM-систем производ-

вать эффективные кейсы аддитивного производства. К тому же в рамках такого партнерства мы многому учимся друг у друга и перенимаем лучшие практики.

**– А с вузами сотрудничаете на тех же принципах?**

– Да, реализуем взаимовыгодные инновационные проекты и помогаем друг другу развиваться и наращивать компетенции. Например, в рамках соглашения о сотрудничестве, которое ЦАТ в прошлом году заключил с Институтом машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ Петра Великого, запланирована совместная разра-

ботка технологии 3D-печати несвариваемых сплавов на высокотемпературном SLM-принтере и восстановления оборотной металлопорошковой композиции методом плазменной сфероидизации. Работы начнутся уже в этом году.

Кроме того, наша компания вступила в Бауманское братство; также состоялось официальное подписание соглашения о сотрудничестве с МГТУ имени Баумана, мы уже принимаем участие в ряде бизнес-мероприятий. Мы также подписали соглашение о сотрудниче-

обучили более 350 человек: производственников, конструкторов, технологов, преподавателей и студентов вузов и даже школьников.

**– Итак, минувший год, судя по всему, получился для ЦАТа насыщенным, богатым на новации и в целом успешным. Однако путь к успеху обычно пролегает через вызовы разной сложности. Какой вызов оказался самым трудным?**

– Пожалуй, тот вызов, который мы бросили сами себе, организовав в октя-

активно внедрялись в различных отраслях, в том числе в нашей отрасли авиационного двигателестроения.

Один из таких барьеров, упомянутый многими спикерами, – непонимание служб главных конструкторов и главных технологов предприятий того, что аддитивные технологии нужно уже сейчас воспринимать как реальный инструмент для производства. Причем не только на этапах научно-исследовательских работ (НИР) или опытно-конструкторских работ (ОКР), но и в серийном производстве.

**Один из таких барьеров, упомянутый многими спикерами, – непонимание служб главных конструкторов и главных технологов предприятий того, что аддитивные технологии нужно уже сейчас воспринимать как реальный инструмент для производства. Причем не только на этапах НИР или ОКР, но и в серийном производстве.**

стве с Самарским аэрокосмическим университетом. Сейчас вместе определяем тематику будущих совместных проектов.

**– Студентов технических вузов берете на стажировки?**

– Обязательно! И не только студентов. Как правило, стажеры начинают работать непосредственно на машинах в статусе инженера-оператора; потом, после того как стажер осваивает все необходимые ему технологии и оборудование, мы предлагаем ему уже инженерные позиции. За прошлый год, кстати, мы

бре первую всероссийскую конференцию «Аддитивные технологии: барьеры и преодоление». Мероприятие прошло в рамках 17-го Международного форума двигателестроения. Вызов был уже в самом названии конференции: мы решили сфокусироваться не на возможностях и преимуществах АП, о которых обычно много и говорят на мероприятиях подобного рода, а на том, что отечественным аддитивщикам критически важно преодолеть, чтобы аддитивные технологии впредь более

**– Странно! Если скепсис технологов еще можно понять – они больше сталкиваются с ограничениями АП, то конструкторы, для которых с применением этих инструментов открываются такие широчайшие возможности, должны быть обеими руками за!**

– Вероятно, это следствие того, что до последнего времени даже в ведущих технических вузах страны будущих конструкторов и технологов практически не обучали аддитивным технологиям. Сейчас ситуация начала менять-



ся; в вузах стали создавать профильные кафедры и читать соответствующие курсы лекций. Но должно пройти время, прежде чем появится заметный результат этих изменений в виде массовой подготовки специалистов, досконально разбирающихся в нюансах применения аддитивных технологий. Ведь у АТ как у любой другой технологии есть возможности, которые нужно четко понимать и эффективно применять. И есть ограничения, которые нужно учитывать при проектировании и изготовлении готовых изделий.

И здесь мы сталкиваемся еще с одним барьером – отсутствием релевантной нормативной базы, учитывающей специфику АП.

**– Ну это известная проблема для аддитивщиков, занятых во всех отраслях! Как она проявляется в двигателестроении?**

– В авиационном двигателестроении есть три категории безопасности для изготавливаемых компонентов: они бывают прочими, особо ответственными и основными. И для того, чтобы поставить в двигатель деталь, которая дальше будет работать в составе летательного аппарата, необходимо провести общую квалификацию материала и специальную квалификацию. За общую квалификацию ответственен ВИАМ, а за специаль-

ную – ЦИАМ.

Что мы имеем в настоящий момент с точки зрения нормативной документации? Даже для ненагруженных деталей, например, кронштейнов или корпусных элементов, относящихся к категории прочих, требования по испытаниям по спецквалификации эквивалентны основным; это значительно удорожает и удлиняет процесс сертификации продукции. Поэтому у нас до сих пор нет возможности говорить о массовом внедрении аддитивных технологий.

В мирнувшем году по инициативе ЦАТ, поддержанной Минпромторгом России, было проведено совместное совещание под председательством заместителя министра промышленности и торговли с участием представителей ОДК, ВИАМ, ЦИАМ, Росавиации и других заинтересованных сторон. Цель – зафиксировать необходимость внесения изменений в рекомендательные циркуляры норм летной годности, которые регламентируют подходы к определению расчетных значений характеристик конструкционной прочности и в целом к испытаниям 3D-печатных деталей. И еще важный момент – наделить Росавиацию полномочиями утверждения этих документов. Рассчитываем на ощутимые подвижки в этом направлении уже в этом году.

То есть один из главных

вызовов – это переформатирование нормативной документации, и мы со своей стороны сделали необходимые шаги.

**– Кстати, обратимся к мировому опыту. Пока у нас в муках рождается релевантная нормативная база для АП, Китай идет по пути не просто укрупнения, а гигантизма. Для них аддитивная фабрика, где стоят сотни принтеров и практически в условиях безлюдного производства серийно печатают готовые изделия – уже привычный формат. Но насколько эта реальность была бы релевантна для наших условий?**

– При устранении барьеров, о которых мы сейчас говорили, у нас это вполне достижимо. Преодолев эти барьеры, мы сможем перейти к формированию единой технологической платформы. И в итоге наступит момент, когда мы сможем масштабировать серийное производство деталей авиационных двигателей. 

**Беседовала:  
Светлана Бакарджиева**

Источник:

Альманах аддитивщика  
№2 январь 2025.



Прочти  
меня на  
сайте

# Преобразующие ВОЗМОЖНОСТИ

## Уникальные идеи и интеграции для создания электродвигателей

**Сравним традиционное и аддитивное производство для проектирования и производства электродвигателей**

Как вам идея модернизировать конструкцию электродвигателя, одновременно сокращая отходы и достигая непревзойденной производительности? Она вполне реализуема с помощью аддитивного производства, которое преобразует индустрию, освобождаясь от ограничений традиционных методов и подготавливая почву для следующего поколения инноваций.

Электродвигатели (ЭД) – один из ключевых элементов продукции многих современных отраслей, от автопрома до аэрокосмической промышленности, что

обуславливает необходимость инноваций в их проектировании и производстве. По мере роста спроса на высокопроизводительные, эффективные и компактные электродвигатели производители сталкиваются с растущим давлением в плане оптимизации производственных методов. Традиционные методы, долгое время доминировавшие в этой области, теперь столкнулись с вызовом со стороны аддитивного производства (АП), преобразующего подхода, предлагающего беспрецедентную свободу проектирования и повышение производительности.

В этой статье предлагается сравнительный анализ традиционных (ТП) и аддитивных (АП) методов

производства в контексте изготовления электродвигателей. Подчеркивая их соответствующие преимущества, ограничения и компромиссы, она предоставляет ценную информацию для профессионалов, стремящихся ориентироваться в меняющемся ландшафте проектирования ЭД. Ставите ли вы своей целью сократить издержки, выйти на устойчивое развитие или переосмыслить возможности дизайна, во всех случаях этот сравнительный анализ предоставит вам необходимые вдохновляющие и направляющие идеи.

### Традиционные методы производства

Многие десятилетия для производства электродви-

гателей успешно применялись традиционные методы – литье, механическая обработка,ковка и литье под давлением. Эти методы достигли высокого уровня эффективности для крупномасштабного производства и потому их до сих пор предпочитают при выпуске больших серий стандартизированных компонентов со сравнительно низкими затратами на единицу продукции. Однако в их использовании возникают значительные проблемы, когда речь идет об изготовлении сложных геометрий и индивидуальных, штучных конструкций.

### Аддитивное производство

Аддитивное производство уникально, а в отношении ТП имеет диаметрально противоположный метод создания продукции,

## ОГРАНИЧЕНИЯ ТРАДИЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА:

### 1. Материальные отходы:

– Отходы материала при механической обработке часто достигают значительных величин. В результате повышается себестоимость продукции и усиливается негативное воздействие на окружающую среду.

### 2. Ограничения конструкции:

– Сложная геометрия, например, та, которая требуется для двигателей с осевым потоком или трехмерных траекторий магнитного потока, очень тяжело дается при субтрактивном производстве.

– Интеграция систем терморегулирования в компоненты двигателя обычно невозможна.

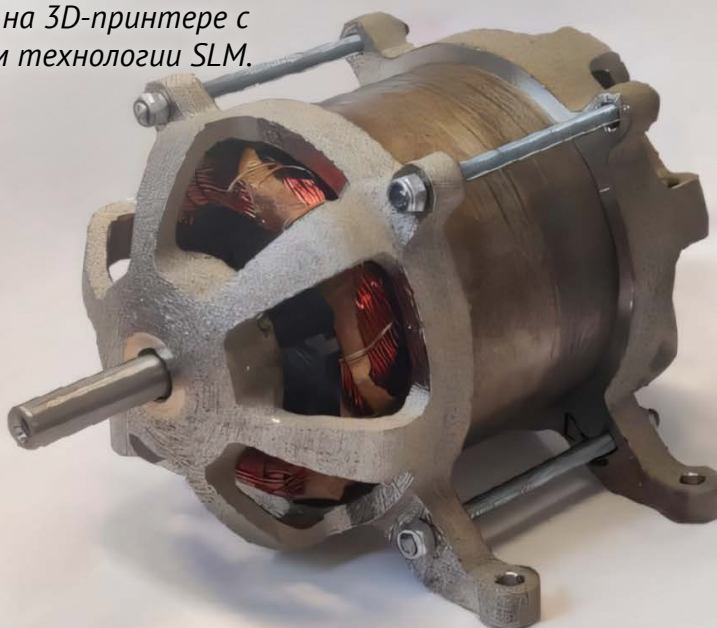
### 3. Стоимость и сложность для небольших объемов:

– Высокие затраты на оснастку и настройку делают традиционные методы экономически невыгодными для небольших серий производства или прототипов.

### 4. Компромиссы в производительности:

– Обычные конструкции, хотя и эффективны в снижении потерь на вихревые токи, накладывают конструктивные ограничения из-за анизотропных свойств материала.

*Асинхронный двигатель, напечатанный на 3D-принтере с использованием технологии SLM.*





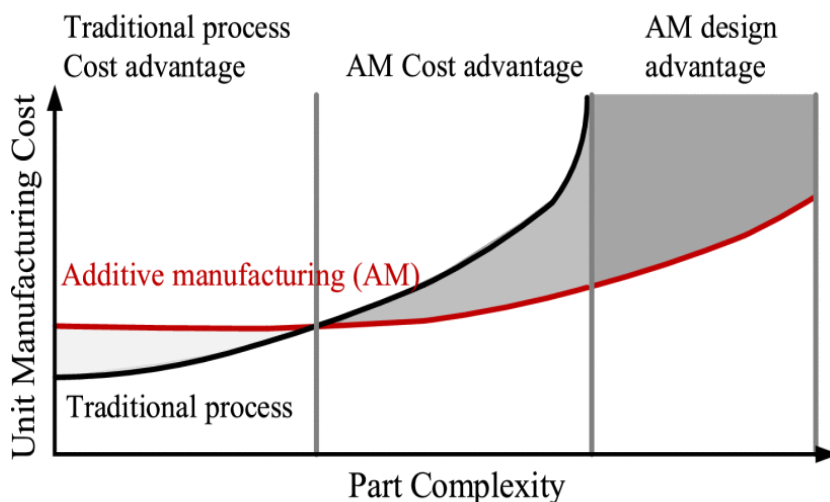


Рис. Сравнение расходов в различных производственных подходах АП и ТП.

ведь формирование деталей происходит послойно. Такой подход предлагает определенные преимущества, которые делают его привлекательной альтернативой для производства

электродвигателей.

#### Практические примеры и исследования

Давайте рассмотрим несколько убедительных примеров, подтверждающих

преимущества АП:

Улучшенное терморегулирование:

– АП позволило интегрировать охлаждающие каналы в обмотки статора. Например, полые проводники на основе алюминия, изготовленные с использованием АП, улучшают рассеивание тепла и снижают рабочую температуру двигателя.

Сложные основные структуры:

– Аддитивно изготовленные сердечники позволяют использовать сложные пути магнитного потока, что повышает крутящий момент и эффективность.

## ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА:

### Свобода дизайна:

- АП позволяет изготавливать изделия сложной геометрии, такие как полые обмотки, интегрированные каналы охлаждения и оптимизированные пути магнитного потока.
- Становится возможной топологическая оптимизация, позволяющая снизить вес изделия, сохранив или улучшив его производительность.

### Эффективность использования материалов:

- Процессы АП минимизируют отходы материалов, поскольку в данном случае используются материалы только в том количестве, которое необходимо для создания того или иного компонента. Исследования подтверждают сокращение использования материалов на 35-80% по сравнению с традиционными методами.

### Улучшение производительности:

- Послойный подход дает возможность создавать конструкции из нескольких материалов, осуществляя мечту многих промышленников в т.н. мультиматериальности за один технологический цикл, обеспечивая улучшенные тепловые, электро и магнитные свойства в соответствии с конкретными потребностями.
- АП позволяет изготавливать ферромагнитные сердечники и обмотки с уменьшенными потерями на вихревые токи, что способствует повышению плотности, мощности и повышению эффективности.

### Устойчивость:

- Сокращая отходы материалов и обеспечивая энергоэффективные производственные процессы, аддитивное производство является более экологичным методом.



## Металлы

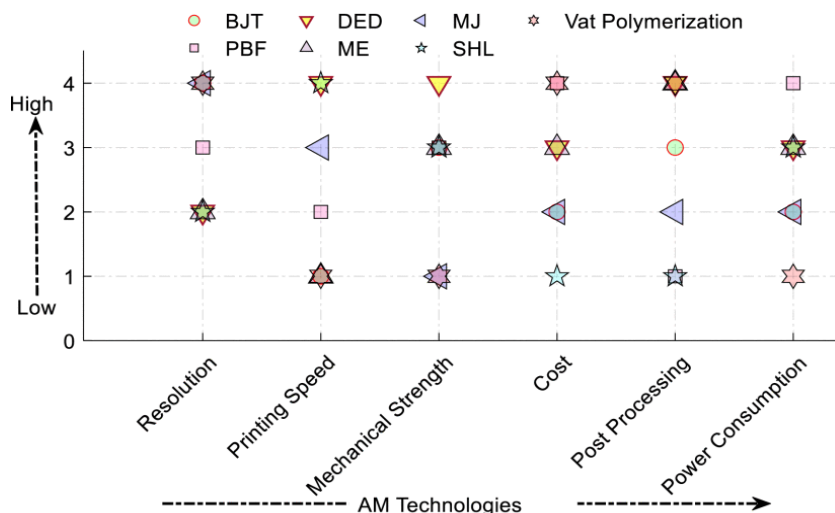


Рис. Сравнение основных характеристик современных технологий АП.

### Сравнительный анализ

| Аспект                         | Традиционное производство                                | Аддитивное производство                                          |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Использование материалов       | Высокие отходы материала из-за субтрактивных методов     | Минимальные отходы при послойном синтезе                         |
| Эффективность затрат           | Экономически эффективно для крупносерийного производства | Экономично для прототипов и мелкосерийных сложных деталей        |
| Сложность дизайна              | Ограничено ограничениями по инструментам и обработке     | Исключительная свобода создания сложных геометрических форм      |
| Оптимизация производительности | Сложность из-за стандартных свойств материала            | Индивидуальные свойства за счет интеграции нескольких материалов |
| Устойчивость                   | Более высокие отходы и потребление энергии               | Экологичность и сокращение отходов                               |

Такие конструкции, как модель Гильберта, значительно снижают потери вихревых токов.

Оптимизация намотки:

– Обмотки, изготовленные методом АП, достигают более высоких коэффициентов заполнения пазов и интегрируют систему терморегулирования, что приводит к повышению плотности крутящего момента и снижению потерь переменного тока.

### Проблемы и ограничения

Несмотря на свои преимущества, технология АП не лишена ограничений:

Шероховатость поверхности:

– Для достижения желаемого результата компоненты АП часто требуют последующей обработки.

Разрешение и точность:

– Современные методы АП могут не соответствовать точности традиционной обработки в некоторых областях применения.

Стоимость оборудования:

– Первоначальные инвестиции в оборудование АП высоки, хотя они могут окупиться в долгосрочной перспективе для специализированных применений.

Ограничения по объему:

– Во многих случаях АП остается менее конкурентоспособным для крупносерийного производства из-за более низкой скорости сборки по сравнению с традиционными методами.

### В качестве резюме

Аддитивное производство предлагает преобразующие возможности для проектирования и производства электродвигателей. Устраняя ограничения традиционных методов, АП прокладывает путь для инновационных разработок, улучшенных характеристик и устойчивых производственных практик. Несмотря на то, что проблемы остаются, быстрое развитие технологии АП позиционирует его как критически важный фактор для следующего поколения высокопроизводительных электродвигателей.

Поскольку отрасли продолжают уделять первостепенное внимание эффективности, кастомизации и устойчивому развитию, внедрение АП будет ускоряться, изменяя ландшафт производства электродвигателей на долгие годы вперед.



Светлана Бакарджиева

Источник: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10772070>.



Прочти  
меня на  
сайте

# Эра персонализации автомобильных интерьеров

**Представьте автомобиль, в котором каждая деталь салона создана специально для вас: руль идеально ложится в руки, кнопки на панели управления расположены именно там, где вам удобно, а декоративные элементы отражают вашу индивидуальность. И всё это — не результат многомесячной работы конструкторов и дизайнеров, а плод технологии 3D-печати. Добро пожаловать в будущее, где технологии перестают быть просто инструментом и становятся частью искусства!**

## **3D-печать: новый уровень кастомизации**

Автомобильный интерьер перестает быть просто функциональным, практичным и удобным пространством — теперь он может выражать стиль и характер владельца. Кто-то предпочитает минимализм, кому-то важна максимальная эргономика, а кто-то стремится к эксклюзивности в каждой детали. Раньше такие запросы оставались лишь мечтами, но теперь 3D-печать открывает безграничные возможности для персонализации.

Подголовники, рычаги переключения передач, вентиляционные решетки, декоративные элементы и даже сиденья — всё это можно напечатать, придав деталям уникальные формы и текстуры. Разнообразные методы 3D-печати позволяют не только персонализировать элементы, но и создавать сложные конструкции. Автопроизводители уже активно используют их в дизайне ин-

терьеров. Пока что речь идет в основном о премиум-сегменте, однако вскоре доступность таких технологии, вероятно, сделает их популярными и в массовом автомобильном рынке.

## **Alpine: ледяное вдохновение в электрическом A390\_β**

После создания серии кастомных аксессуаров для Peugeot 308 французская компания ERPRO, специализирующаяся на 3D-печати, объявила о сотрудничестве с маркой Alpine. Когда речь заходит о спортивных автомобилях, Alpine всегда стремится к передовым решениям. Их новый A390\_β — не просто электрокар, а квинтэссенция технологий. В его интерьере использованы детали, напечатанные с применением технологии SLS, а материалом стал биоразлагаемый Pebax® Rnew® от Arkema, что подчеркивает приверженность Alpine к устойчивым техно-



логиям. Но главное — это визуальная концепция: элементы покрыты прозрачным слоем, создающим эффект ледяных блоков. Чистота, мощь, экологичность — и всё это благодаря 3D-печати.

### **Bentley Batur: роскошь, созданная на принтере**

Когда Bentley что-то создает, это всегда роскошно. В 2022 году британский автопроизводитель Bentley Motors Ltd представил модель Batur, названную в честь озера на индонезийском острове Бали. Это один из самых мощных автомобилей Bentley, оснащенный 6,0-литровым двигателем W12 с двойным турбонаддувом и мощностью свыше 740 л.с. Однако, помимо впечатляющих характеристик, автомобиль примечателен использованием 3D-печати. Кто бы мог подумать, что 18-каратное золото можно... напечатать? В модели Batur именно так изготовлены вентиляционные решетки, а выхлопная система выполнена из титана с использованием аддитивных технологий. Каждая из 18 выпущенных машин уникальна, поскольку Bentley предоставля-



Фото: ERPRO.

ет владельцам возможность выбрать мельчайшие детали оформления. Настоящее искусство в мире автомобилей.



Фото: Bentley Motors Ltd.



Фото: Cadillac.

### **Cadillac Celestiq:**

#### **когда эксклюзивность зашкаливает**

Кастомизация в Celestiq выходит на новый уровень: здесь 115 деталей созданы с помощью 3D-печати! Переключатели стеклоподъемников, дверные ручки, декор центральной консоли и даже руль — всё можно адаптировать под вкус владельца. Также с использованием аддитивных технологий созданы некоторые элементы безопасности, например, пряжки ремней. А если учесть, что цена машины стартует от \$300 000, это, пожалуй, справедливая плата за абсолютную эксклюзивность.

### **Lamborghini Sián:**

#### **когда каждая решетка уникальна**

Lamborghini давно играет на грани технологий и искусства, и первая модель с кастомизируемыми 3D-печатными деталями — гибридный суперкар Sián FKP 37 — яркий тому пример. Центральные и боковые вентиляционные решетки этой лимитированной модели (всего 60 штук) полностью напечатаны, причём каждая — уникальна. Время от разработки концепции до выпуска готового изделия — всего две недели. В мире автомобилей это мгновение!

### **Maserati:**

#### **подголовники с трезубцем**

Maserati GranTurismo Fuoriserie One Off Luce выделяется не только звучным названием, но и инновационным интерьером. Подголовники напечатаны из переработанного ECONYL®, а фирменный трезубец нанесён прямо на ткань с помощью фотополимерного принтера Stratasys J850 Tech Style. Так и хочется сказать: роскошь встречается с экологией.



Фото: Lamborghini.





Фото: Maserati.

#### Автокресла Oechsler

Водительское сиденье играет ключевую роль в процессе вождения, особенно когда речь идет о кольцевых гонках. Этот аспект TECHART стремился подчеркнуть в своей модели GTstreet R Flyweight — гоночном автомобиле, выпущенном ограниченной серией в 19 экземпляров на базе Porsche 911 Turbo S. Для достижения этой цели



Гоночное сиденье с подушками, напечатанными на 3D-принтере. Фото: TECHART.

TECHART обратился к компании Oechsler с задачей перепроектировать сиденья. Основной задачей было совместить персонализацию и высочайший уровень производительности.

Результатом стали подушки сидений, созданные с помощью 3D-печати. Изготовленные по технологии Multi Jet Fusion из термопластичного полиуретана (TPU), они оснащены решетчатыми структурами, которые не только снижают нагрузку на тело, но и улучшают вентиляцию. Кроме того, были улучшены амортизационные свойства сидений. Благодаря 3D-печати удалось уменьшить точки давления, снизить температуру на 3–5 °C и обеспечить лучшую воздухопроницаемость, что значительно повышает комфорт вождения.

Еще одним преимуществом является быстрая сборка подушек, напечатанных на 3D-принтере, а также возможность их легкого переноса с одного гоночного автомобиля на другой.

#### MINI Electric Pacesetter: печать в мире гонок

Этот электрический сейфти-кар для Formula E получил не только мощный мотор, но и напечатанные элементы. Кастомизированные спортивные сиденья созданы



Фото: BMW Group.





Фото: Porsche.

с учетом анатомии водителя, а аэродинамические элементы сделаны из переработанного карбона. Высокие технологии на службе скорости!

### **Porsche:**

#### **персональные гоночные сиденья**

С 2022 года Porsche предлагает владельцам 3D-печатные вставки в сиденья, адаптируя их жесткость под индивидуальные предпочтения. Такие сиденья на 8% легче традиционных, и их можно установить даже в уже выпущенные автомобили. Это не просто комфорт, а реальный способ улучшить контроль над автомобилем, осо-

бенно на треке. Они включены в линейку Performance Parts и доступны в конфигураторе Porsche.

### **Range Rover Safari от LUNAZ:**

#### **классика встречается**

#### **с современностью**

LUNAZ занимается реставрацией легендарных автомобилей, превращая их в электрокары. В одном из их проектов — Range Rover Safari — использованы напечатанные интерьерные детали, что создает эффект баланса между традицией и современными технологиями с сохранением стиля оригинальной модели.

### **Renault 5 E-Tech:**

#### **индивидуальность в мелочах**

Новый электрический Renault 5 предлагает владельцам возможность украсить салон напечатанными аксессуарами. Органайзеры, держатели и декоративные элементы разных форм и цветов сочетают практичность и эстетику, делая машину по-настоящему уникальной. Если модель окажется успешной, 3D-печать может занять ещё более важную роль в будущем Renault.



Фото: LUNAZ.



*Фото: Renault.*

## 3D-печать для Peugeot 208

Для модели Peugeot 308 была разработана уникальная серия аксессуаров, созданных с использованием технологий 3D-печати. Этот проект стал результатом успешного сотрудничества между компаниями Peugeot, HP, Mäder и Erpro Group. В коллекцию вошли стильные держатели для очков, телефонов и различных мелочей, изготовленные из специального термопластичного полиуретана (TPU), который был разработан с учетом строгих требований автомобильной индустрии.

Инновационный материал, созданный при участии BASF и HP, сочетает в себе высокую гибкость и выдающуюся долговечность. Каждый аксессуар не только эффективно поглощает удары, но и отличается безупречной отделкой и тщательной проработкой деталей. Это воплощение совре-



*Фото: Peugeot.*

менного подхода к автомобильному дизайну, где передовые технологии гармонично сочетаются с практичностью и эстетикой.

## Ford Maverick

### и печать «домашних» аксессуаров

Не только люксовые бренды внедряют 3D-технологии. Ford в своем пикапе Maverick® представил систему FITS — специальные слоты для аксессуаров. Можно приобрести готовые решения или... напечатать их самостоятельно! Ford даже бесплатно предоставляет файлы для печати. Захотелось держатель для стакана или органайзер? Просто скачайте и напечатайте.



*Разделитель для контейнера — один из возможных аксессуаров, который владельцы Ford Maverick могут напечатать на 3D-принтере и установить в свой автомобиль. Фото: Ford.*

## Российские проекты

К российскому автопрому можно относиться по-разному: для кого-то это доступный вариант автомобиля, который подходит для непритязательного использования, где вопросы ремонта и кастомизации решаются с минимальными затратами. Однако большинство сходится во мнении, что нам еще есть куда расти.

Тем не менее, использование различных технологий 3D-печати при разработке российских автомобилей уже никого не удивляет: от утилитарных моделей АвтоВАЗа до





Фото: ERPRO.

люксовых Aurus. Возникает вопрос: то ли руководители отечественных предприятий и маркетологи опасаются говорить об использовании аддитивных технологий в разработке и производстве автомобилей, то ли этот процесс стал настолько рутинным, что перестал быть поводом для громких заявлений.

- Aurus Senat — это российский люксовый автомобиль, который позиционируется как флагман отечественного автопрома. Пока сложно назвать этот проект массовым, тем не менее, 3D-печать используется в интерьерах, силовой части и подвеске Aurus. Ну а уж при прототипировании и демонстрации опытных образцов – так и подавно.

- КАМАЗ-1221. Хотя КАМАЗ известен своими грузовиками, компания активно исследует возможности 3D-печати для создания деталей интерьера и экстерьера. Например, в 2021 году КАМАЗ представил концепт электромобиля КАМАЗ-1221, в котором использовались напечатанные на 3D-принтере элементы.

- Частные ателье и кастомизация. В России есть частные ателье, которые занимаются тюнингом и кастомизацией автомобилей. Некоторые из них уже используют 3D-печать для создания уникальных элементов интерьера, таких как декоративные панели, подсветка салона, индивидуальные ручки и переключатели.

- Электромобили и концепты. Российские компании, разрабатывающие электромобили, такие как Zetta или Ё-мобиль (проект, который был заморожен, но может возродиться), также рассматривают возможность использования 3D-печати для создания уникальных интерьеров. Например, напечатанные на заказ элементы панели управления или декоративные детали.

### Заключение

Приведенные примеры подтверждают, что 3D-печать в автомобильных интерьерах — это не просто целый спектр технологий, а новый стиль мышления. Границы между стандартными и индивидуальными автомобилями стираются, и каждый водитель получает возможность создать по-настоящему уникальное пространство, удобное и радующее глаз. Обилие зарубежных примеров использования 3D-печати в серийном производстве должно подтолкнуть «зажатых» российских промышленников взять курс на инновации и довериться перспективным инструментам, каковыми являются аддитивные технологии. 

**Дмитрий Трубащевский**

Адаптированный  
авторский перевод: [3Dnatives](https://3Dnatives.com).



Прочти  
меня на  
сайте

# Брать надежностью и доступностью

**Рассказываем, как известный завод традиционного оборудования ООО «ЮЗТС» активно осваивает производство передовых 3d-принтеров по маркой «Астрей».**

При том, что аддитивное производство сегодня очевидно переросло свой первоначальный опытно-экспериментальный и нишевый этап развития и все увереннее осваивается в роли признанного игрока на поле серийного производства, изрядная часть директората отечественных машиностроительных компаний по-прежнему предпочитает наблюдать этот процесс со стороны, не спеша с собственным вовлечением в него. И тем ценнее опыт машиностроительных компаний, инициировавших создание в своем контуре не просто отдельных участков АП опытного или вспомогательного назначения, а полноценных структурных подразделений аддитивного производства. Такой проект реализует Южный завод тяжелого станкостроения (ЮЗТС). Минпромторг России присвоил компании

статус отечественного производителя инновационных портальных токарно-фрезерно-расточных обрабатывающих комплексов. Эти центры способны обеспечить потребности предприятий аэрокосмической, авиационной, энергетической, судостроительной промышленности, а также оборонно-промышленного комплекса. А в 2023 году ЮЗТС представил российскую разработку популярной технологии LB-PBF/SLM аддитивного производства под маркой Астрей. Комплексы линейки Астрей предназначены для выполнения задач производства — единичного и мелкосерийного изготовления изделий сложной геометрии в самых разных областях промышленности. О том, как создавался этот проект, и каким видится его развитие, мы беседуем с его инициаторами и разработчиками.





Ю.П. Коваль

**– Было ли создание собственного производства оборудования для 3D-печати изначально в планах модернизации ЮЗТС, или оно стало ответом на более поздние вызовы?**

**Юрий Павлович Коваль, генеральный директор ООО «ЮЗТС»:** изначально такой задачи не стояло. Однако сложно было не заметить возрастающий интерес к аддитивным технологиям у нас в стране, успешные примеры внедрения АП в России, а тем более – за рубежом. Наше предприятие выпускает уникальное оборудование, и в поисках путей повышения его конкурентоспособности и сформировалась идея попробовать это новое для нас направление. Одним из ее вдохновителей стал заместитель гендиректора компании по развитию Анатолий Барышников. Он был давно знаком с командой специалистов в этой области – выпускников МГТУ им. Баумана, наработал с ними совместный опыт реализации целого ряда проектов и также видел значительный потенциал в развитии аддитивного производства. Несмотря на боль-

шой объем работ на ЮЗТС по металлообрабатывающим станкам, мы всё же решили рискнуть. Провели несколько совместных с бауманцами встреч и в результате открыли это направление.

**– Почему была выбрана именно технология LB-PBF/SLM? Планируете ли в дальнейшем производить оборудование и для других АТ?**

**Юрий Коваль:** определяющим фактором был сам коллектив, имеющий обширный научный и инженерный опыт именно в этом направлении. На выбор также повлияла возможность занять свободную нишу на внутреннем рынке, на котором до сих пор отсутствуют отечественные полноценные серийные комплексы. После реализации текущих планов не исключено освоение и других технологий, мы это уже обсуждаем.

**– Какова проектная мощность производства линейки Астрей? И насколько сейчас загружены мощности?**

**Юрий Коваль:** проектная мощность завода в целом – более 200 комплексов в год. Так как растет спрос на нашу продукцию, мы расширяем и производственные территории, и станочный парк. Так что мы без особых трудностей перекроем потребность в аддитивных комплексах с учетом растущего рынка и с учетом перспективных больших машин, которые сейчас в разработке.



Корпус в сборе из сплава Аk9ч. Фото: ООО «ЮЗТС».





Бурмистров Максим

*– Как формировалась команда разработчиков линейки Астрей? Над чем работаете сейчас и какие задачи ставятся на перспективу?*

**Максим Бурмистров, ведущий инженер-конструктор:** мы все – выпускники одного факультета Бауманки, раньше работали в разных небезызвестных командах, кто-то в самом университете и МЦЛТ, кто-то в AddSol. На одном из совместных проектов поняли, что вместе работать для всех выгоднее и проще, поскольку все мы смотрим в одном направлении. У нас готова ходовая серийная модель комфортного для работы, надежного принтера с полем 150x150 мм на базе отечественной лазерно-оптической системы. Текущие задачи – принтер с полем 300x300 мм с двумя сканаторами и зоной перекрытия 80%, чтобы еще двумя лазерами одну деталь печатать, да ещё и всё на отечественном ПО. И далее – поле 600x600 мм. Конструктивные и технологические решения для этого комплекса также находятся в проработке.



Камера построения. Фото: ООО «ЮЗТС».

**Дмитрий Колчанов, ведущий инженер-технолог:** можно сказать, что команда формировалась постепенно естественным путём на этапе становления СЛП в России. Кандидатские диссертации обязательно имели прикладной характер, а инженеры всегда сопрягали работу с научными исследованиями. В лучших традициях советской инженерной школы и современных ведущих мировых аддитивных компаний.



Дмитрий Колчанов

*– Разрабатывая свою линейку, вы больше ориентировались на образцы от лидеров рынка оборудования для АП или ставка делалась на собственные идеи?*

**Дмитрий Колчанов:** мы всегда внимательно изучали опыт производителей оборудования – отечественных и зарубежных,





Цех по сборке станков. Фото: ООО «ЮЗТС».

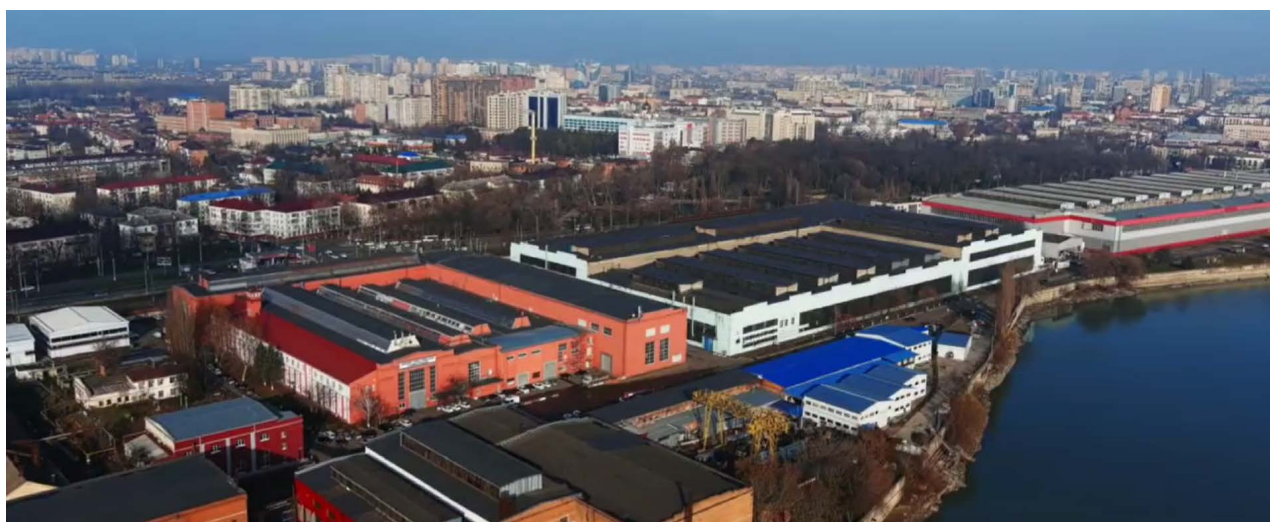
крупных и небольших. И для того, чтобы развить их лучшие идеи, и для того, чтобы избежать их ошибок.

**Максим Бурмистров:** у продукции всех производителей, помимо сильных сторон, есть и свои недостатки, у кого-то конструктивные, у кого-то – ценовые. Мы постарались сделать Астрей надежным и доступным оборудованием, а главное, чтобы оно соответствовало требованиям заказчика с точки зрения повторяемости физико-механических свойств и геометрии изделий. У наших машин оригинальная оптимизированная система нанесения с откидывающимся ножом и упрощенная компоновка

системы построения и дозирования. Благодаря опыту станкостроения разработчиков данного комплекса удалось добиться высокой герметичности всей системы, экономичного расхода газа.

**– Расскажите о самом производстве. На каком оборудовании изготавливаются ваши комплексы? Сертифицированы ли они по ISO или это – в планах?**

**Дмитрий Колчанов:** «ЮЗТС» в первую очередь производит металлообрабатывающие станки – токарно-карусельные, 5-осевые фрезерные станки, порталные обрабаты-



ЮЗТС с высоты птичьего полета. Фото: ООО «ЮЗТС».

вающие центры, которые могут обрабатывать детали массой до 125 тонн. Так что станочный парк обширный. Есть возможность выделить необходимые мощности при увеличении спроса на аддитивные комплексы. ЮЗТС сертифицирован на соответствие требованиям стандарта ISO 9001, внедрена АИСУП. Выпускаемая продукция входит в реестр промышленных товаров в рамках ПП №719.

**– На сайте компании указано, что до 90% комплектующих для комплексов Астрей производится на территории РФ. Кто поставляет лазеры, направляющие? Берёте серию или требуется кастомизация под ваши продукты? Чье ПО используете? Печтаете больше на импортных или отечественных порошках – каково соотношение?**

**Дмитрий Колчанов:** лазеры берем у компании ИРЭ-Полус из г. Фрязино Московской области. Доработок никаких не требуется. Тем более, что они в ближайшее время планируют запустить серию излучателей, специально под СЛП, даже на этот счет про-

водили опрос производителей. Оптико-механическая система тоже отечественная. Программное обеспечение также хорошо известно – это Глайсер, входит в реестр российского ПО. У разработчиков опыт в аддитивке с 2014 года. Мы плотно с ними работаем над продуктом под комплексы Астрей, создан в том числе терминал управления принтерами с полной интеграцией с Глайсером. Уже реализованы инструменты, позволяющие не только удалять объекты из проекта печати в процессе выращивания, но и изменять режимы на каждом объекте в процессе печати. Это открывает большие возможности для дальнейшего запланированного внедрения датчиков, сенсоров и обратной связи. По порошкам соотношение примерно 50/50, в зависимости от требований заказчика. Для кого-то отечественные материалы – обязательное условие. И сейчас есть российские производители, обеспечивающие высокое качество порошков.

**– Какие компоненты изготавливаются сейчас и планируется производить в дальнейшем на ваших комплексах для нужд ЮЗТС? И какие детали и конечные изделия чаще печтаете на заказ?**

**Дмитрий Колчанов:** мы прочитали серию лекций по аддитивным технологиям конструкторам металлообрабатывающих станков. Они постепенно начинают применять новые знания. Например, проектируется под изготовление на наших принтерах элементы системы подачи СОЖ. Печтаем для комплексов Астрей эргономичные ручки, а в дальнейших планах – печатать некоторые функциональные компоненты. В целом подход с повышением квалификации конструкторов и технологов в области аддитивных технологий – обязательное условие их успешного внедрения. Именно поэтому мы разработали такой курс для наших заказчиков или тех, кто только задумывает-

Макет клиновидного ЖРД из Inc718.  
Фото: ООО «ЮЗТС».







Стоматология, сплав CoCr. Фото: ООО «ЮЗТС».

ся о применении аддитивных технологий.

**– А за контуром ЮЗТС вас уже хорошо знают? Есть сторонние заказы на печать изделий? Из каких отраслей? Рассматриваете ли вариант в будущем вырасти до ЦАТа регионального или межрегионального значения?**

**Дмитрий Колчанов:** по печати пока мы не загружены на 100%, но заказы поступают. От предприятий, связанных с освоением космоса, из ВПК, пищевой промышленности. Уже давно сложилось понимание, что напечатать из металла изделие, отделить подпорки, зашлифовать места контакта подпорок – это зачастую еще не значит получить готовую деталь. Мы проводим полный цикл производства, начиная от подготовки модели к выращиванию, её доработки и оптимизации под процесс, заканчивая непосредственным изготовлением – печать, термическая обработка, многоступенчатая механическая

обработка в соответствии с КД. Станочный парк и специалисты завода включаются в процесс производства готового изделия. Это еще один важный компонент нашей работы по внедрению аддитивных технологий на производстве с использованием наших комплексов Астрей. Мы принимаем участие в разработке технологии изготовления конечной продукции заказчика, чтобы встраивание процесса СЛП в производственную цепочку было наиболее эффективным. Что касается развития регионального ЦАТа – такое направление рассматриваем. Рост аддитивного рынка у нас в стране мы оцениваем позитивно. Еще многое предстоит сделать.

**– Как полагаете, сумеете ли вы выстоять в конкуренции с китайскими принтерами? Или почва, на которой вы находитесь, очень зыбкая? Сможет ли государство регулировать эту отрасль? Принятие каких регулирующих**





Ступень осевой турбины перспективного ГТД из Inco718. Фото: ООО «ЮЗТС».

**механизмов и протекционистских мер требуется в первую очередь?**

**Максим Бурмистров:** Китай пока хромает с сервисом, а ценник на машины сильно выше, чем у нас. Farsoon работает со ScanLab'ом и IPG и других вариаций не рассматривается. IPG в России стоит дешевле, чем за рубежом. Посмотрите на внутренности BLT, там разве что синей изолянты не хватает! Поэтому мы будем брать надежностью и доступностью.

**Дмитрий Колчанов:** не все вопросы отрасли – в компетенции самих производителей, без должного госрегулирования достаточно просто можно потерять аддитивный рынок. С нашей стороны мы делаем всё возможное, чтобы наши комплексы были надежными, стабильными и выдавали качественную продукцию, а процесс их внедрения на производство был эффективным.

**– Ваша альма-матер «Бауманка» известна в том числе адаптацией изделий под аддитивное производство с использованием топологической оптимизации и генеративного дизайна. У вас уже есть такие кейсы или эксперименты в этой области? Расскажите о них.**

**Дмитрий Колчанов:** в рамках проекта Астрей пока таких задач не было, но у команды опыт есть: в области судостроения, ракетостроения, спецтехники. Создавали изделия из

алюминиевых и титановых сплавов, конструкционных сталей. Проводили моделирование, прочностные расчеты, испытания. Снижение массы некоторых изделий достигало 70%. Объединяли до 9 элементов в одно изделие. При этом трудоёмкость их изготовления снижалась в 10 раз. Уверены, что такие задачи будут появляться и множиться, так как функциональная оптимизация геометрии раскрывает потенциал аддитивных технологий наиболее полно. Тогда, по возможности, расскажем о них подробнее.

**– Ваше отношение к исследованию, проведенному KAT (<https://k-at.ru>). Разделяете ли вы с его авторами оценку положения дел и перспектив отрасли, согласны ли с приводимыми в нем цифрами?**

**Дмитрий Колчанов:** мы однозначно разделяем мотивацию, веру авторов в перспективы российской индустрии аддитивных технологий. Подход основательный, считаем, что поставленные цели достигнуты. Исследование нужное и своевременное. Приведены различные сценарии при оценке перспектив рынка, с учетом мнения самих участников рынка. Так что указанные цифры мы оцениваем, как адекватные. 

**Беседовала: Светлана Бакарджиева**



Прочти  
меня на  
сайте

# MatterGen: ИИ создает материалы будущего

**Всего за несколько последних лет искусственный интеллект (ИИ) завоевал репутацию мощного инструмента в области материаловедения, открывающего новые горизонты для создания и оптимизации материалов с уникальными свойствами. Одним из наиболее значимых прорывов в этой области стал проект MatterGen, разработанный исследователями Microsoft. MatterGen – это генеративная модель, способная проектировать неорганические материалы с заданными характеристиками. Она не только ускоряет процесс создания новых материалов, но и делает его более экономически эффективным и потому очень привлекательным для промышленности, научных исследований и аддитивного производства.**

## Что такое MatterGen?

MatterGen основана на методах глубокого обучения. В отличие от традиционных подходов, часто требующих перебора множества вариантов и длительных экспериментов, MatterGen использует данные о существующих материалах (на данный момент их более 608 000) для генерации

новых структур с заданными параметрами. Таким образом процесс разработки материалов значительно ускоряется, что особенно важно для таких областей, как энергетика, электроника, медицина и аддитивное производство.

Проект MatterGen базируется на передовых технологиях машинного обучения,

включая генеративно-состязательные сети GAN (англ. Generative adversarial network) и трансформеры, позволяющие модели не только предсказывать свойства материалов, но и генерировать совершенно новые структуры, ранее не известные науке. Это делает MatterGen уникальным инструментом для исследователей, стремящих-

ся выйти за пределы традиционных методов материаловедения.

### Как работает MatterGen?

MatterGen использует архитектуру генеративных моделей, обученных на огромных массивах данных о кристаллических структурах и их свойствах. Модель способна генерировать новые материалы, комбинируя элементы и структуры таким образом, чтобы они соответствовали заданным требованиям. Например, исследователи запросят желаемые свойства материала, в том числе проводимость, прочность или термостойкость, и MatterGen предложит несколько вариантов структур, которые могут удовлетворять этим критериям.

Одна из ключевых особенностей MatterGen – ее способность учитывать физические и химические ограничения, и потому создание генерируемых ею материалы не только возможно в теории, но и вполне реально на практике. Это достигается за счет интеграции знаний из области квантовой механики и термодинамики в процесс обучения модели. Например, MatterGen может учитывать такие параметры, как энергия кристаллической решетки, стабильность структуры и электронные свойства, чтобы предложить материалы, которые

не только обладают желаемыми характеристиками, но и могут быть синтезированы в лабораторных условиях.

Кроме того, MatterGen использует подход, известный как разработка материалов, ориентированная на свойства (англ. Property-guided materials design). Это означает, что модель может быть настроена на поиск материалов с конкретными характеристиками, например, с высокой электропроводностью или с низкой теплопроводностью. Это очень востребованное качество при создании материалов для специализированных применений, таких как термоэлектрические устройства или сверхпроводники.

### Влияние MatterGen на аддитивное производство

Аддитивное производ-

ство — одна из самых быстроразвивающихся технологических сфер, которая уже сегодня трансформирует промышленность. И могла бы это делать еще быстрее и эффективнее, если бы не известное ограничение 3D-печати: пока что есть не так много материалов, которые можно использовать для создания объектов методами АП. MatterGen может кардинально изменить эту ситуацию, предлагая новые материалы, специально разработанные для аддитивного производства.

1. Создание специализированных материалов для 3D-печати

MatterGen способна генерировать материалы с уникальными свойствами, которые идеально подходят для 3D-печати. Например, модель может предложить материалы с высокой прочно-

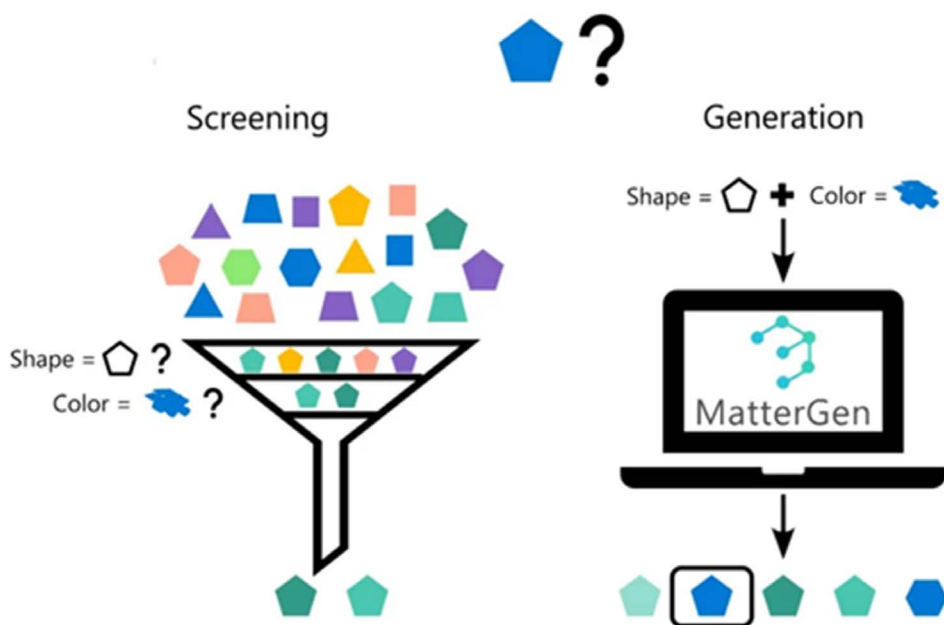


Рис. Скрининговые и генеративные подходы к проектированию материалов.



стью и низкой плотностью, что особенно важно для аэрокосмической промышленности, где каждый грамм на счету. А также разрабатывать материалы с улучшенной адгезией между слоями, что повышает качество и долговечность напечатанных изделий.

## 2. Оптимизация параметров печати

MatterGen может не только создавать новые материалы, но и предлагать оптимальные параметры для их 3D-печати. Это включает температуру плавления, скорость печати и другие параметры, влияющие на качество конечного продукта. Такой подход позволяет минимизировать количество брака и повысить эффективность аддитивного производства.

## 3. Разработка композитных материалов

Аддитивное производство часто использует композитные материалы, которые сочетают в себе несколько компонентов для достижения уникальных свойств. MatterGen может генерировать новые композиты, которые будут обладать улучшенными механическими, тепловыми или электрическими характеристиками. Это открывает новые возможности для создания сложных деталей, которые невозможно изготовить традиционными методами.

## 4. Ускорение разработки

материалов для биопечати

Биопечать — это одно из самых перспективных направлений аддитивного производства, позволяющее создавать ткани и органы для медицинских целей. MatterGen может ускорить разработку биосовместимых материалов, которые будут безопасны для использования в организме человека. Это поспособствует созданию новых методов лечения и улучшению качества жизни пациентов.

## Применение MatterGen в реальном мире

MatterGen уже показала свою эффективность в ряде исследований. Например, в статье, опубликованной в журнале Nature, исследователи продемонстрировали, как можно использовать модель для разработки новых материалов для аккумуляторов с улучшенной энергоемкостью и долговечностью. Это особенно важно для развития возобновляемой энергетики, где эффективные системы хранения энергии играют ключевую роль. MatterGen помогла идентифицировать новые композиции электродов, которые могут значительно увеличить срок службы батарей и их производительность.

Кроме того, с помощью MatterGen можно создавать материалы с уникальными оптическими или магнитными свойствами, что расши-

ряет спектр возможностей для разработки устройств следующего поколения, таких как квантовые компьютеры или высокоэффективные сенсоры. Например, модель может предложить материалы с высокой магнитной восприимчивостью, которые найдут свое применение в спинтронике — области, изучающей использование спина электронов для создания новых типов электронных устройств.

Еще один пример применения MatterGen – разработка материалов для катализаторов. Катализаторы играют ключевую роль в химической промышленности, и их эффективность напрямую влияет на стоимость и экологичность производственных процессов. MatterGen может помочь в создании новых каталитических материалов, которые будут более эффективными и менее дорогими, чем существующие аналоги.

Преимущества MatterGen

1. Ускорение разработки материалов. MatterGen позволяет сократить время, необходимое для открытия новых материалов, с нескольких лет до нескольких месяцев или даже недель. Это особенно востребовано в условиях быстро меняющихся технологических запросов, когда традиционные методы разработки материалов не успевают за потребностями промышленности.

2. Снижение затрат. Использование ИИ для предсказания свойств материалов уменьшает потребность в дорогостоящих экспериментах и тестах. Таким образом процесс разработки становится более экономически эффективным, что наверняка оценят небольшие компании и стартапы, которые могут не иметь достаточных ресурсов для проведения масштабных экспериментов.

3. Гибкость. Модель может быть адаптирована для решения различных задач, от разработки материалов для энергетики до создания биосовместимых покрытий для медицинских имплантатов. Это делает MatterGen универсальным инструментом, применимым в самых разных областях науки и техники.

4. Инновационный подход. MatterGen не просто оптимизирует существующие материалы, но и создает совершенно новые структуры, способные привести к революционным открытиям. Это открывает новые возможности для исследований и разработок, которые ранее были недоступны из-за ограничений традиционных методов (открытый исходный код MatterGen, выпущенный по лицензии MIT, доступен для скачивания [здесь](#)).

### **Будущее MatterGen и аддитивного производства**

MatterGen представляет собой лишь начало новой эры в материаловедении и

аддитивном производстве. С развитием технологий ИИ и увеличением объемов данных, доступных для обучения моделей, можно ожидать, что подобные системы станут еще более точными и универсальными. И тогда станет реальным создание материалов, которые сегодня кажутся фантастикой, например, сверхпроводники, работающие при комнатной температуре, или материалы с программируемыми свойствами.

Одно из перспективных направлений развития MatterGen – интеграция с другими технологиями, такими как квантовые вычисления. Это может позволить модели учитывать еще более сложные физические и химические взаимодействия, что приведет к созданию материалов с еще более уникальными свойствами. Кроме того, MatterGen может быть использован для разработки материалов для космических технологий, где требования к прочности, термостойкости и другим характеристикам особенно высоки.

Еще одним важным аспектом будущего MatterGen станет его применение в области устойчивого развития. С помощью этой модели можно разрабатывать материалы, которые будут более экологичными и энергоэффективными, что поможет снизить воздействие промышленности на окружающую среду. Например, но-

вые типы биопластиков или материалы для улавливания углекислого газа.

### **Заключение**

MatterGen — это не просто инструмент для ученых, а настоящий прорыв, способный изменить подход к разработке материалов и ускорить технологический прогресс в самых разных областях, включая аддитивное производство. С его помощью человечество сможет быстрее отвечать на глобальные вызовы, такие как переход к чистой энергии, создание более устойчивых технологий и развитие персонализированной медицины. Уже сегодня MatterGen демонстрирует впечатляющие результаты, и его потенциал только начинает раскрываться. В будущем мы можем ожидать, что подобные технологии станут неотъемлемой частью научных исследований, промышленного производства и 3D-печати, открывая новые горизонты для инноваций. 

### **Дмитрий Трубашевский**

При создании статьи были использованы следующие источники:

1. Nature Article
2. Microsoft Research Blog: MatterGen
3. Microsoft Research Publication: MatterGen
4. Microsoft Research Blog: Property-Guided Materials Design
5. GitHub Repository: MatterGen



Прочти  
меня на  
сайте

# Интеграция ИИ в китайскую индустрию 3D-печати

Недавний прорыв Китая в области искусственного интеллекта (ИИ), ярко продемонстрированный успехом DeepSeek, открывает новые горизонты для промышленного применения ИИ в стране. Несмотря на жесткие ограничения в поставках чипов, DeepSeek достиг впечатляющих результатов благодаря инновационной оптимизации моделей и эффективной архитектуре. Используя 8-битную точность с плавающей запятой и архитектуру MoE (Mixture of Experts), которая активирует лишь 37 миллиардов из 671 миллиарда параметров на токен, DeepSeek смог значительно снизить вычислительные затраты, сохраняя при этом высокую производительность. Это достижение идеально вписывается в традиционную стратегию Китая, где упор делается на практическое применение технологий, доступность и эффективность. Такой подход может стать ключевым для производственных секторов, включая 3D-печать, где оптимизация производительности при минимизации затрат остается одной из главных задач для промышленного внедрения.

Глобальный тренд на создание «умных фабрик» в сочетании с растущим спросом на кастомизацию ускорил внедрение ИИ в производственные процессы. Как показал DeepSeek, китайские компании способны разрабатывать эффективные решения на

основе ИИ, которые демонстрируют высокую производительность даже в условиях аппаратных ограничений. Эта способность, подкрепленная мощной производственной базой Китая, открывает новые перспективы для аддитивного производства. По мере



того, как отрасль делает первые шаги в интеграции ИИ, такие ключевые направления, как проектирование на основе ИИ, симуляция и оптимизация процессов, а также контроль качества в реальном времени, развиваются всё более активно.

### **Рост рынка и корпоративные достижения**

Рынок 3D-печати Китая, по прогнозам, достигнет \$7,9 млрд к 2030 году, демонстрируя ежегодный рост на 27,5%, — для сравнения, в Северной Америке этот показатель составляет 22,4%. Несколько китайских производителей уже добились значительных успехов на глобальной арене. Например, Eplus3D поставила более 100 крупногабаритных металлических 3D-принтеров по всему миру, что подчеркивает способность Китая производить и масштабировать промышленное оборудование. Bright Laser Technologies (BLT) зафиксировала рост выручки на 60% в

2024 году, укрепив свои позиции среди мировых лидеров в области аддитивного производства, особенно в аэрокосмической и медицинской отраслях.

### **Промышленное внедрение**

Китайские производители активно исследуют возможности интеграции ИИ в аддитивное производство, и первые результаты выглядят многообещающе. Farsoon Technologies разработала систему Support Reduction System (SRS), которая полностью контролирует подачу энергии и распределение температуры в процессе печати. Эта система позволяет печатать конструкции с углами наклона более 20-25 градусов без поддержек и получать горизонтальные отверстия диаметром до 50 мм без дополнительных опор. Эти возможности были успешно протестированы на различных материалах, включая титановые, алюминие-



*Центр аддитивного производства на основе 3D-принтеров Eplus. Фото: EPlus.*

вые и нержавеющие сплавы.

UnionTech, в свою очередь, представила систему D300, сочетающую два 4K DLP проекционных модуля с алгоритмами ИИ для достижения точности 0,05 мм при применении в стоматологии. Система демонстрирует высокий уровень автоматизации, обрабатывая до 180 стоматологических молдов за 24 часа, включая автоматическую компоновку, пополнение смолы, печать и сортировку.

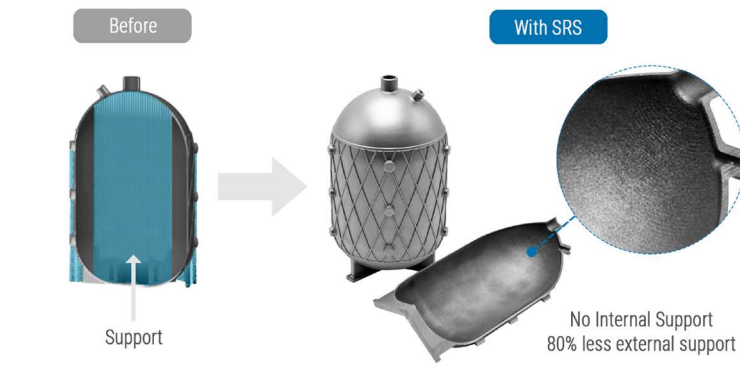
Принтеры BLT-S800 от BLT оснащаются 20 лазерами и используют проприетарное программное обеспечение BLT-VP для оптимизации серийного производства. Система способна сократить время плавления до 30 минут для крупных деталей с объемом данных 25 ГБ.

RapidDirect, поставщик производственных услуг из Шэньчжэня, в марте 2024 года запустил систему мгновенного расчета стоимости для листового металла с использованием ИИ, достигнув 82% точности в автоматическом распознавании чертежей и расчете цен.

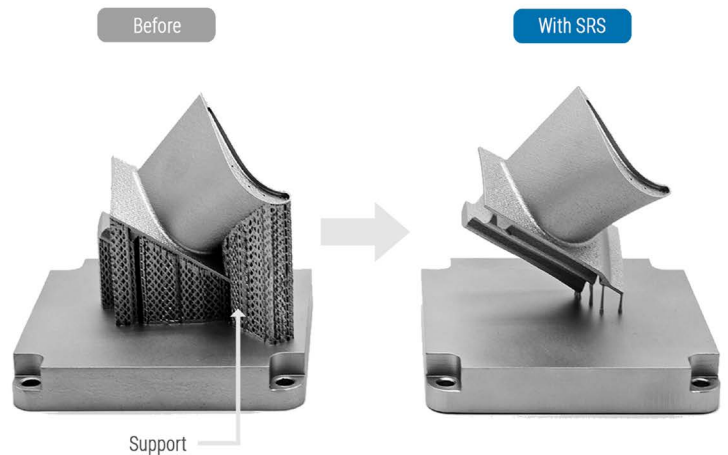
### Крупномасштабные проекты

Интеграция ИИ и 3D-печати выходит за рамки промышленного производства и охватывает инфраструктурные проекты.

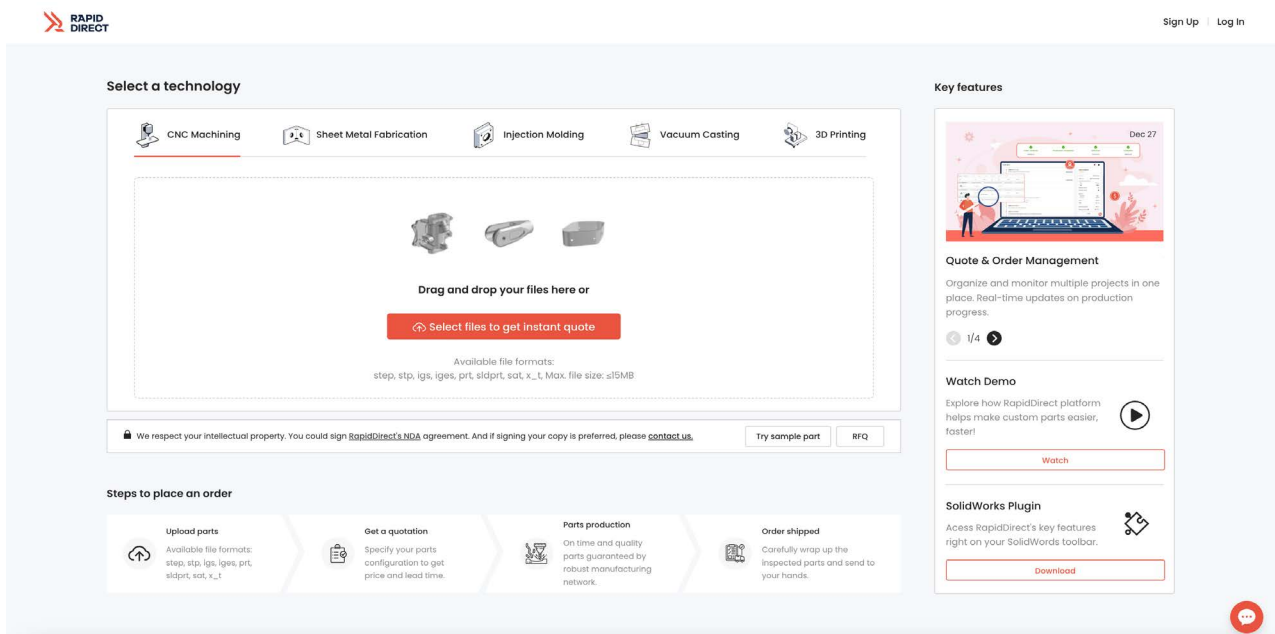
Fuel Tank  
0° Circular internal down surface



Turbine Blade  
Reduce support up to 99.8%



*Система Support Reduction System (SRS) для контроля подачи энергии и распределение температуры в процессе печати. Фото: Farsoon Technologies.*



*Рис. Система мгновенного расчета стоимости изготовления на базе искусственного интеллекта (RapidDirect).*

Яркий пример – строительство 180-метровой гидроэлектростанции на Тибетском нагорье, где используются 3D-принтеры с ИИ и автономное оборудование. Система отслеживает условия окружающей среды — ветер, температуру, влажность — и корректирует скорость нанесения материала, демонстрируя практическое применение автоматизации в экстремальных условиях.

### Применение в медицине

В сфере здравоохранения интеграция ИИ сосредоточена на конкретных, достижимых задачах. Weiyun AI & Robotics автоматизирует проектирование и производство индивидуальных стоматологических изделий, от сканирования до финального производства, сокращая ручной труд и минимизируя ошибки. Их системы охватывают весь спектр продукции — от элайнеров до коронок. Сотрудничество UCrest и Hangsukeji направлено на биопечать, включая разработку тканевых каркасов и производство медицинских имплантатов, что отвечает растущим потребностям китайского рынка здравоохранения.

### Государственная поддержка и промышленная стратегия

Китайское правительство активно поддерживает интеграцию ИИ в производство через инициативу «AI+». Инициативная группа

«AI+» (2024-2025) ставит перед собой амбициозные цели: разработка 3-5 передовых базовых моделей ИИ, 100 отраслевых программ и 1000 успешных кейсов к концу 2025 года. Этот план отражает стратегию Китая, которая стится на принципах «государственного руководства, инновационного развития и ориентации на сферы применения». Используя преимущества Пекина в вычислительной мощности и данных, инициатива стремится стандартизировать и масштабировать внедрение ИИ в различных отраслях, включая аддитивное производство.

Национальный план развития ИИ следующего поколения (2017-2030) дополняет эту стратегию, ставя целью превратить Китай в глобальный центр инноваций в области ИИ к 2030 году. На местном уровне провинции, в том числе Гуандун, Цзянсу и Шаньдун, предлагают гранты и налоговые льготы производителям, внедряющим ИИ-технологии. Инновационные центры, такие как научный парк Чжунгуаньцунь в Пекине и кластеры ИИ в Шанхае, предоставляют финансирование и инфраструктурную поддержку стартапам.

### Текущие вызовы

Однако китайская индустрия аддитивного производства сталкивается с рядом препятствий. Новые экспортные ограничения США на передовые чипы ИИ, введенные в

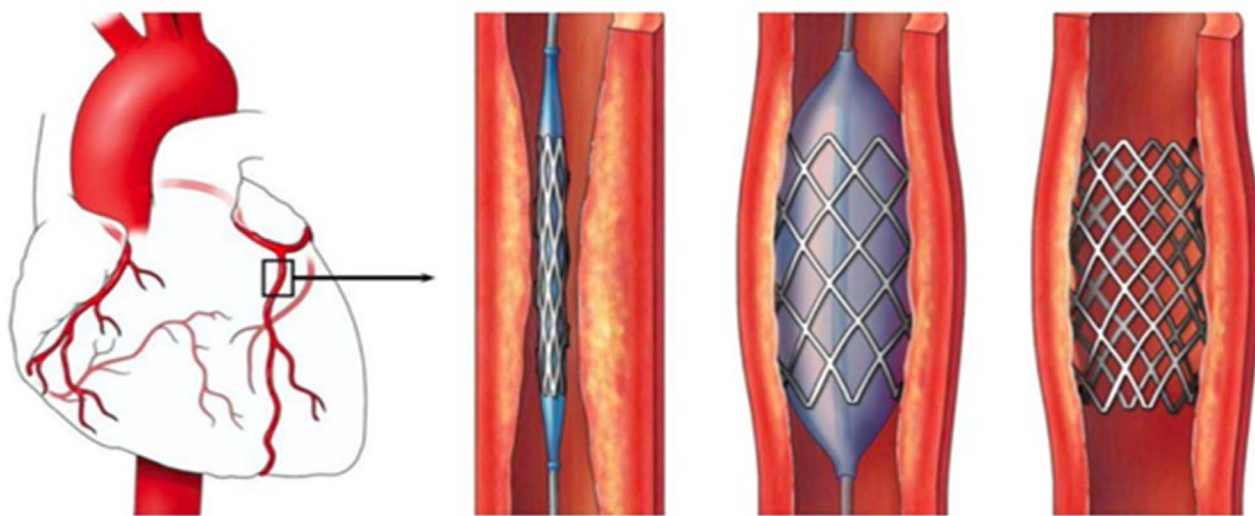


Рис. Схематическая визуализация установки и работы напечатанных коронарных стентов (UCrest Berhad)



январе 2025 года, создали серьезные барьеры для разработки ИИ-решений. Кроме того, Китай испытывает острую нехватку квалифицированных кадров — около 5 миллионов специалистов в области ИИ, при этом большинство из них сосредоточено в крупных технологических центрах, таких как Пекин и Шэньчжэнь. Это создает дисбаланс в распределении кадров и ограничивает возможности для внедрения ИИ в регионах.

Проблемы интеллектуальной собственности также остаются актуальными. Например, в августе 2024 года Stratasys подала иск против Bambu Lab по десяти патентам, связанным с ключевыми технологиями 3D-печати. Аналогичный случай произошел с VoxelDance на выставке Formnext в ноябре 2024 года, где их экспонат был удален после судебного иска от nTop. Эти инциденты подчеркивают необходимость развития независимых программных решений в Китае.

Кроме того, Закон о защите персональных данных усложняет внедрение ИИ в медицинской сфере, где защита данных пациентов имеет критическое значение. При том, что эти меры необходимы для обеспечения безопасности, они создают дополнительные сложности для производителей.

### Заключение

Успех DeepSeek может стать поворотным моментом для китайской индустрии, демонстрируя, что даже в условиях ограничений можно достичь высокой производительности и эффективности. Этот подход, основанный на оптимизации и практичности, идеально соответствует традиционным сильным сторонам Китая — делать технологии доступными и применимыми в реальных условиях. В то время как западные компании часто сосредотачиваются на технологических прорывах, китайские производители делают ставку на оптимизацию и массовое внедрение.

Эффект от успеха DeepSeek выходит за рамки ИИ. Китайские производители, разра-

батывая узкоспециализированные ИИ-решения, готовы трансформировать аддитивное производство через практические инновации. Это сочетание экспертизы в области ИИ, производственного прагматизма и мощной государственной поддержки создает мощный задел для будущего, где 3D-печать с использованием ИИ станет не только более доступной, но и коммерчески жизнеспособной, что может изменить глобальный ландшафт аддитивного производства. 

**Дмитрий Трубашевский**

Авторский перевод статьи Сангмин Ли.

### От редакции

*Настоящая статья очень четко отражает ситуацию на высококонкурентном рынке аддитивных технологий, который пока еще даже не достиг зрелости. Однако Китай благодаря своей мудрости и нацеленности на глобальное превосходство уверенно идет к экспансии, концентрируясь не на узкоспециализированных решениях и функциях, а на том, что нужно для замещения традиционных производственных методов аддитивными. И у них это стало очень хорошо получаться, что заставляет европейские и американские компании нервничать и искать пути удешевления своей продукции. Вторым аспектом, на который делает ставки Китай, — это повсеместное использование ИИ для большинства социальных, творческих, технологических и коммерческих задач. Кратно сокращая затраты на обучение больших языковых моделей, Поднебесная и тут бросает вызов «королю» ChatGPT. Более производительный и доступный DeepSeek однозначно завоюет рынок и ускорит внедрение инноваций в аддитивное производство. Китай в дополнение к производственному лидерству начинает проявлять гигантизм и в интеллектуальных технологиях. Всему миру это обстоятельство нужно принять как неизбежное, подстраиваясь под лидера.*

# Люди слова и дела

Дорогие читатели!

Мы рады представить вам новую рубрику в нашем журнале — «Люди слова и дела». В этом разделе мы будем рассказывать о тех, кто не просто говорит о будущем, но и активно его создает. Это люди, которые своими идеями, трудом и настойчивостью меняют мир вокруг нас, внедряя инновации, преодолевая трудности и вдохновляя других на новые свершения.

В современном мире, где технологии развиваются с невероятной скоростью, важно не только следить за трендами, но и понимать, кто стоит за этими изменениями. Это инженеры, ученые, предприниматели, врачи — те, кто каждый день делает шаг вперед, чтобы сделать нашу жизнь лучше, удобнее и технологичнее.

В этой рубрике мы будем знакомить вас с историями успеха, прорывными проектами и людьми, которые не боятся брать на себя ответственность за будущее. Мы поговорим о том, как они пришли к своим идеям, с какими вызовами столкнулись и как смогли преодолеть их. Вы узнаете, что движет этими людьми, какие ценности они разделяют

и как их работа влияет на развитие технологий в самых разных сферах — от промышленности до медицины.

Мы уверены, что их опыт станет для вас не только источником вдохновения, но и практическим руководством к действию. Ведь каждый из нас может внести свой вклад в создание будущего, если будет следовать своим убеждениям и не бояться идти вперед.

Присоединяйтесь к нам, чтобы узнать больше о тех, кто уже сегодня меняет мир. Вместе мы сможем увидеть, как идеи превращаются в реальность, а слова — в дела.

Добро пожаловать в рубрику «Люди слова и дела»! 

**С уважением, редакция издания**

СПбГМТУ

# Красота – в совершенстве инженерных решений

Уважаемые читатели!

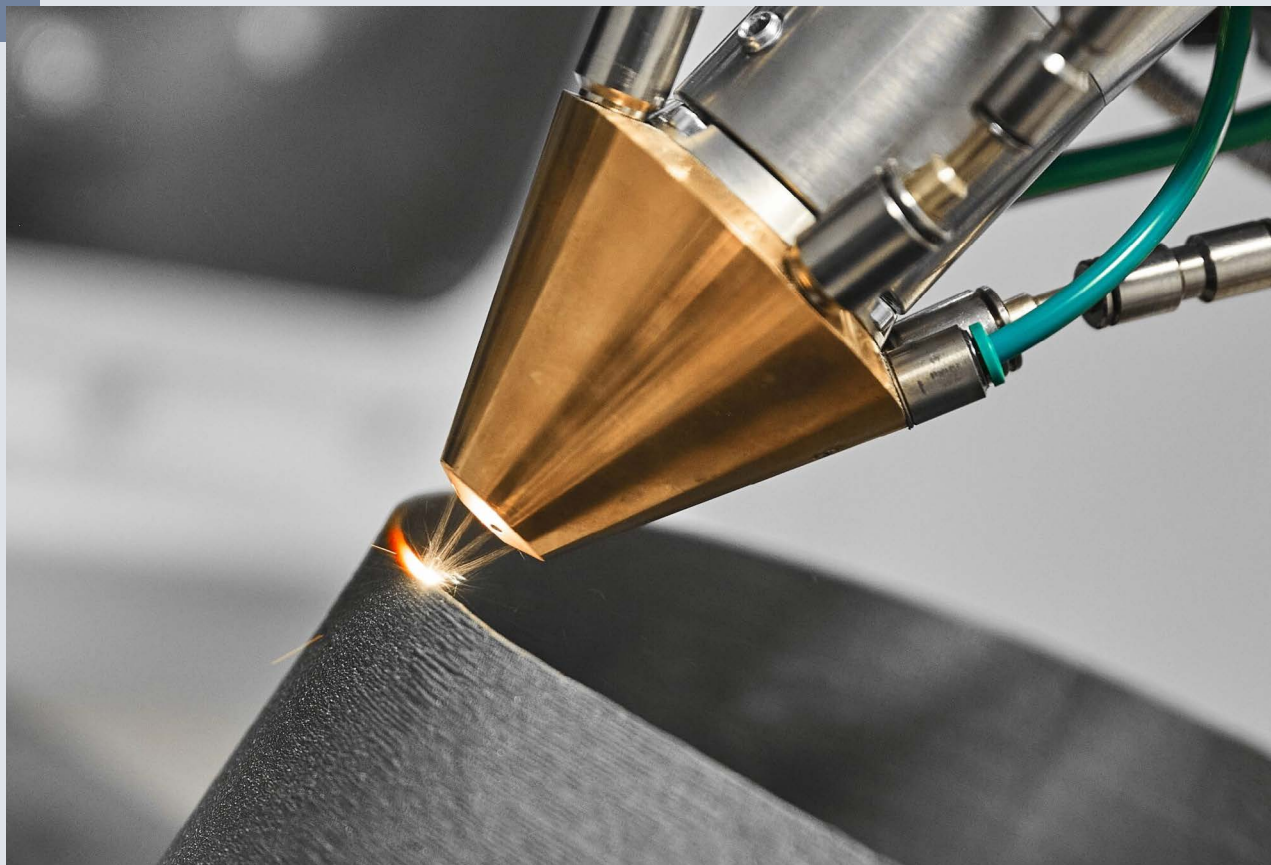
Приветствую вас на страницах нового издания! Меня зовут Константин Бабкин, я руководитель отделения аддитивных технологий института лазерных и сварочных технологий СПбГМТУ. Последние десять лет мы занимаемся развитием аддитивных технологий, их популяризацией и внедрением в промышленность. Основная точка приложения наших сил – прямое лазерное выращивание, известная технология создания крупногабаритных металлических заготовок.

Наш путь начался десять лет назад – именно тогда был придуман термин «прямое лазерное выращивание». Все началось для нас с просмотра видео компании BeAM на YouTube и вопроса – сможем ли мы сделать так же. Имея в активе «образец номер ноль», (выращенный цилиндр диаметром 30 мм и высотой в 5 мм), мы взялись за первый проект – создание машины под изделие до 1500 мм диаметром. Затем был долгий период разработки, путь ошибок и наработки опыта. Проекты сменяли друг друга, требования к деталям росли, и каждый раз при-

ходилось прыгать все выше и выше. Много раз мы совершали ошибки, учились на них, переосмысливали накопленный опыт. Сейчас мы собираем сороковую по счету машину. Наше технологическое подразделение в прошлом году вырастило более 10 000 кг деталей. Конструкторское бюро на пороге кратного увеличения производительности на всех машинах.

Но сегодня я хочу рассказать вам не про это. Я хочу поделиться тем сокровенным, что заставляет меня гореть работой и зажигать тягу к новым открытиям в молодых ребятах. Как это ни банально, но дело в красоте. Так уж получилось, что я не умею рисовать, не занимаюсь музыкой, да и вообще с художественным творчеством у меня никогда не ладилось. Но я научился видеть красоту в совершенстве инженерных решений. И в этом смысле аддитивка подобна магии, это способ материализации идей, возможность оторваться от технических ограничений традиционного производства. Каждый раз глядя, как достают из машины новое выращенное изделие, я испытываю непередаваемые чувства: ведь еще пару дней назад это





было ведро серого, невзрачного порошка, а теперь в этот мир явилось новое создание. Его ждет интересная жизнь: оно будет гореть пламенем газовой турбины, помогать дышать тепловозному двигателю, сдерживать атомный распад или качать ракетное топливо, стремясь к звездам. Не об этом ли мечтали фантасты прошлого?

А чтобы магия работала – оборудование тоже должно быть красивым, эта красота скрыта в совершенстве технических решений. Как скульптор, отсекая лишнее, создает прекрасную статую, так и конструктор, выстраивая логические цепочки и формализуя технические ограничения, нащупывает тот один-единственный способ создать новую установку.

В следующих выпусках издания АПгрейд я постараюсь с новой стороны открыть для вас мир аддитивных технологий, поделиться моим видением технических и организационных проблем и путей их решения. Мы погрузимся в мир инженерных задач и посмотрим, как их решать. Я расскажу про наши разработки в области прямого лазер-

ного выращивания и про то, как мы сами применяем аддитивные технологии в новых разработках.

Ну и напоследок процитирую моего шефа – ректора СПбГМТУ, профессора Глеба Андреевича Туричина: «Мы из пыли и света делаем красивые железки». Присоединяйтесь к нам – будет интересно! 



URAL3D

## Аддитивные технологии показывают зубы

Приветствую, коллеги и партнеры!

Меня зовут Наиль Сабириянов, я основатель и директор компании «Квалитет. Школа цифровой стоматологии». С 2018 года мы обучаем стоматологов цифровым протоколам, поставляем передовое оборудование и материалы. До этого, начиная с 2012 года, мы занимались классическими инструментами стоматологической отрасли. Уяснив для себя очевидную истину, что за цифровыми технологиями будущее, и мы успешно интегрировали аддитивные технологии в стоматологию. Этот опыт вдохновил нас на новый шаг — создание компании URAL3D, в которой реализуем кейсы в самых разных сферах — от промышленности до общей медицины. Но сегодня я хочу поговорить о том, в чем мы действительно эксперты, — об аддитивных технологиях в стоматологии.

Говоря о 3D-печати в стоматологии, важно понимать ключевой момент: каждая работа здесь уникальна, потому что каждый пациент индивидуален. В отличие от промышленности с ее серийностью, в стоматологии все напечатанные изделия — это единичное производство. Еще одна особенность этой

сферы — специалисты здесь охотнее делятся знаниями, опытом, инсайтами и технологическими решениями. Нам есть с чем сравнивать, ведь мы работаем и с промышленным сектором, где уровень открытости совершенно другой.

Когда мы только начинали осваивать 3D-печать, мне невероятно повезло с наставниками и соратниками. Мы оказались в сообществе специалистов, которые действительно хотели развивать эту технологию. Вместе с нами работали Иван Голобородько и команда Harz Labs во главе с Александром Юрасовым. Это было время экспериментов, поиска решений, развития новых протоколов моделирования и 3D-печати в стоматологии. Мы вместе профессионально росли — осваивали технологию, тестировали оборудование, совершенствовали подходы. Именно так строится настоящая экспертиза — через практику, ошибки и находки.

Однажды мне сказали: «Деньги в двух вещах — в новых технологиях и в продажах». В аддитивном производстве эта фраза работает на 100%. Мы выстраиваем бизнес, опи-

раясь на глубокие знания оборудования, материалов, программного обеспечения, но этого недостаточно. Просто продать технологию — мало. Важно научить ею пользоваться, показать ее ценность, обеспечить поддержку на всех этапах работы. Вот три базовые составляющие основы бизнеса: конкурентное торговое предложение и компетентные менеджеры; программы обучения и сервисное обслуживание. На этом комплексном подходе к работе с заказчиком и строится наша бизнес-модель: экспертиза, обучение, сервис и сопровождение. Именно так можно конкурировать с крупными игроками на рынке, выстраивая доверительные и долгосрочные отношения с клиентами.

Когда мы только начинали, нас выбирали потому, что 3D-печать в стоматологии была чем-то новым, и всем нужен был проводник в эту технологию. Сегодня ситуация изменилась: уровень освоения 3D-печати в стоматологической индустрии вырос колоссально. По моим субъективным оценкам, уже не менее 50% всех стоматологических работ выполняются с ее применением. Это стало возможным благодаря развитию интраоральных сканеров, совершенствованию навигационной хирургии и появлению новых композитных материалов для долговечных ортопедических конструкций. Сам хожу с напечатанными коронками уже более трех лет, и все отлично.

Технологии развиваются, и 3D-печать становится не просто удобным инструментом, а необходимостью. Сегодня без нее в современной стоматологии невозможно двигаться дальше, и это понимают все специалисты в этой области. Конечно, степень освоенности технологии различается в зависимости от региона: в мегаполисах она уже вошла в стандартную практику, в небольших городах пока успехи скромнее. Но процесс идет, и чем дальше, тем быстрее он набирает обороты.

Важно понимать, что на одних лишь услу-

гах 3D-печати в стоматологии полноценный бизнес не построишь. Они — лишь часть экосистемы. Если вы хотите быть конкурентоспособными в этом сегменте, есть два пути: либо вы создаете зуботехническую лабораторию полного цикла, либо становитесь поставщиком 3D-решений для стоматологов, обладая глубокими знаниями в этой сфере, разбираясь в ее процессах и технологиях. Без понимания специфики индустрии и технологических нюансов добиться успеха невозможно. Я сам по первому образованию инженер-металлург, но сейчас в стоматологии разбираюсь больше, чем в машиностроении. Надеюсь, проект URAL3D поможет мне столь же глубоко изучить и промышленность.

Одно из наиболее прибыльных направлений сегодня — SLM-печать металлических конструкций из CoCr и титана. Однако высокие затраты на оборудование делают эту технологию недоступной для большинства лабораторий. Казалось бы, отличная рыночная ниша. Но есть один важный нюанс: доля металла в стоматологических конструкциях сокращается, а цифровые протоколы продолжают вытеснять традиционные методы. Литье и ручное моделирование постепенно уходят в прошлое, а на их место приходит 3D-печать каркасов из CoCr. С титаном ситуация еще интереснее, но об этом я расскажу в следующих материалах.

Стоматология стремительно меняется, и вместе с ней трансформируются подходы к лечению, протезированию и даже ведению бизнеса. Мы находимся в центре этих изменений и видим, как технологии буквально переформатируют рынок. Те, кто вовремя адаптируются и осваивают новые инструменты, получают огромное конкурентное преимущество. А значит, самое интересное — впереди. 





# Как оставить уникальный след или новые обувные горизонты

**Не правда ли, верный способ оставить после себя след – сделать это с помощью обуви? А у дизайнеров обуви в этом смысле возможности еще шире: они могут заметно наследить в истории своей отрасли. Особенно если воспользуются возможностями аддитивного производства...**

## Введение

Обувная индустрия – одна из самых динамичных и высококонкурентных отраслей, где скорость вывода продуктов на рынок имеет решающее значение. 3D-печать в ней сегодня используется на разных этапах производства, в том числе – на этапе разработки и проектирования. Аддитивные технологии позволяют быстро создавать прототипы и образцы обуви, точно соответствующие ожиданиям потребителей. 3D-принтеры преобразуют цифровые данные в реальные физические объекты, что помогает дизайнерам и инженерам получить точную картину будущей модели и вносить необходимые изменения на ранних стадиях. Это значительно ускоряет весь процесс, оптимизируя время и ресурсы.

## Преимущества 3D-печати

Сегодня обувная индустрия, опирающаяся на многовековые традиции, переживает настоящий технологический переворот. 3D-печать меняет правила игры, заменяя сложные и затратные процессы традиционного производства современными методами, которые ускоряют производство, сни-

жают расходы и открывают безграничные возможности для дизайнеров и управленцев. Выделим основные преимущества:

### 1. Персонализированные продукты.

Современные потребители ждут от обувщиков уникальных, индивидуально подобранных под анатомические особенности товаров. Добиться этого сегодня уже помогает 3D-сканирование для сбора данных о стопе клиента, после чего создаются адаптированные стельки или межподошвы. Прежде компании предлагали лишь ограниченную возможность кастомизации обуви — изменение цвета или материалов. Теперь же 3D-печать открывает новые горизонты для создания обуви, которая идеально подходит под потребности и особенности каждого владельца. Хотя массовая персонализация обуви все еще в стадии развития, с каждым годом появляются новые возможности для более глубокого внедрения этой технологии.

### 2. Цифровизация производства.

Традиционное изготовление обуви — сложный и многофакторный процесс, требующий использования различных станков и вовлечения множества специалистов. Благодаря

3D-печати производство оптимизируется, обходясь без дополнительных производственных процессов и оснастки. Создание обувных деталей становится гораздо более быстрым и эффективным благодаря цифровому процессу проектирования, который значительно снижает количество ручного труда.

**3. Время и стоимость.** Для каждого размера обуви необходима отдельная форма, изготовление которой может стоить тысячи долларов и занимать несколько месяцев. В отличие от традиционных методов, при 3D-печати можно создавать обувные пресс-формы напрямую, минимизируя и упрощая стадию инструментального производства. Таким образом заметно ускоряется вывод новых моделей на рынок.

**4. Дизайн.** Практически полное отсутствие ограничений в 3D-печати позволяет дизайнерам полностью посвятить себя творческому процессу. Согласования с инженерами и технологами теперь переходят в плоскость дружеского общения и разговоров о прекрасном, ведь возможности современного проектирования и аддитивных технологий безграничны: ячеистые структуры, новые формы, материалы, мультиматериальные свойства – всё это с легкостью поддерживается инновациями.

**5. Хранение данных.** Переход от физического хранения колодок каждого размера

к цифровым данным, которые моментально можно использовать с помощью печати, не только экономит место на складах, но и значительно снижает затраты на хранение и логистику.

**6. Защита интеллектуальной собственности.** С помощью аддитивного производства производители могут создавать пресс-формы прямо у себя на производстве, минимизируя риск утечек информации и значительно снижая потребность в сложных и дорогих логистических цепочках. Это также способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду, так как сокращается объем перевозок и хранение излишков на складах.

### Технологии и материалы для 3D-печати

Как известно, традиционные методы используются не первое столетие: они прошли проверку временем и остаются экономичными для крупносерийного производства. Однако современные высокоинерционные производства крайне прожорливы в смысле затрат для целей прототипирования и малых серий.

Видя такое несовершенство и имея достойную альтернативу, обувной рынок сегодня начал использовать 3D-печать для прямого и непрямого производства продукции. В первом случае речь идет о конечной продукции или прототипах. Во втором –



Высокодетализированная текстурированная поверхность. Фото: Uniontech.



печати оснастки для пилотного (из полимеров) или серийного производства (из металлических сплавов).

В качестве материалов используются настоящие эластомеры, а также новые термопластичные материалы, ассортимент которых постоянно пополняется. Однако все чаще в проектах начинают применять фотополимерные смолы, обладающие изумительной фактурой и визуальной премиальностью. А вот металлам отводится роль оснастки для помощи реальному производству. Рассмотрим эти материалы подробнее.

#### а) Полимеры

Печать прототипов, конечной продукции и оснастки сегодня может осуществляться при помощи технологий, работающих с фотополимерными смолами: фотополимеризации в ванне (SLA, DLP/LCD), а также струйного нанесения материала (MJP/MJM). Эти методы позволяют создавать изделия с высокой точностью и скоростью печати, а также использовать гибкие и упругие материалы, такие как термопластичный полиуретан (TPU), сочетающий в себе долговечность и гибкость, необходимые для функциональных и комфортных моделей обуви.

Компания Carbon, например, совместно с Adidas разработала эластомерный полиуретановый материал для межподошвы кроссовок Adidas FutureCraft, значительно улучшающий амортизацию и комфорт. Аналогичным образом New Balance сотрудничает с компанией Formlabs для создания



*Межподошва кроссовок Adidas FutureCraft. Фото: Carbon.*



*Кроссовки New Balance 990 sport triple cell с промежуточной подошвой из материала Rebound Resin. Фото: Formlabs.*

новых материалов, таких как фотополимерная смола Rebound Resin, которая отличается высокой прочностью и упругостью, идеально подходя для создания прочных, эластичных структур. Их кроссовки модели 990 sport triple cell продаются по вполне демократичной цене – от 50 долларов США.

Сегодня 3D-печать из фотополимерных смол участвует во многих аспектах жизненного цикла продукции. С их помощью можно печатать формы для быстрой и точной отливки обувных подошв, обладающих высокой стойкостью к износу и легко



извлекаемых из формы. Это ускоряет весь процесс и даже вставки в металлические пресс-формы. Многие компании специально разрабатывают такие составы, которые удовлетворительно работают при высоких температурах, не деградируя даже при серийном производстве. Например, высококачественная смола Ultracur3D® ST45 от Forward AM для печати форм обладает повышенной прочностью, ударной вязкостью и температурной стабильностью.



*Фотополимерная пресс-форма и отлитая подошва. Фото: BASF.*

Также активно применяются порошковые технологии, в том числе синтез на подложке SLS и MJF/SHS для работы с термопластами и эластомерами. Эти методы особенно эффективны при производстве таких компонентов, как стельки, и межподошвы благодаря их высокой скорости печати, качества, а также отсутствию поддержек. То есть эти технологии чаще используются для прототипирования и конечной продукции.

### **б) Металлические сплавы**

Классическая промышленность подвержена инерции и зачастую не стремится к экспериментам: работает – и ладно. Производители серийной обувной продукции для изготовления пресс-форм обычно используют фрезерные станки, которые долго обрабатывают материал, образуя большое количество стружки. При таком

подходе не всегда удастся воспроизвести детализированную геометрию, текстуры и паттерны. А это крайне важно для привлечения потребителя. Совсем иначе обстоит дело с аддитивными технологиями, которые значительно расширяют возможности традиционного производства.

Технология синтеза на подложке L-PBF/SLM на основе металлопорошковых композиций используется исключительно для производства оснастки: штампов, пресс-форм, знаков и других износостойких компонентов. В данном случае речь идет преимущественно о мартенситностареющих инструментальных сталях, сплавах на основе никеля, сочетающих в себе высокую прочность, вязкость, износостойкость, надежность и коррозионную стойкость.



*Металлические пресс-формы и текстуры, изготовленные по технологии SLM. Фото: Kings3d.*

Не стоит думать, что после 3D-печати пресс-форму можно сразу же использовать. Обязательно потребуется дополнительная обработка ответственных поверхностей (например, полировка или нанесение покрытий) для приведения их качества в соответствие с инженерными требованиями.

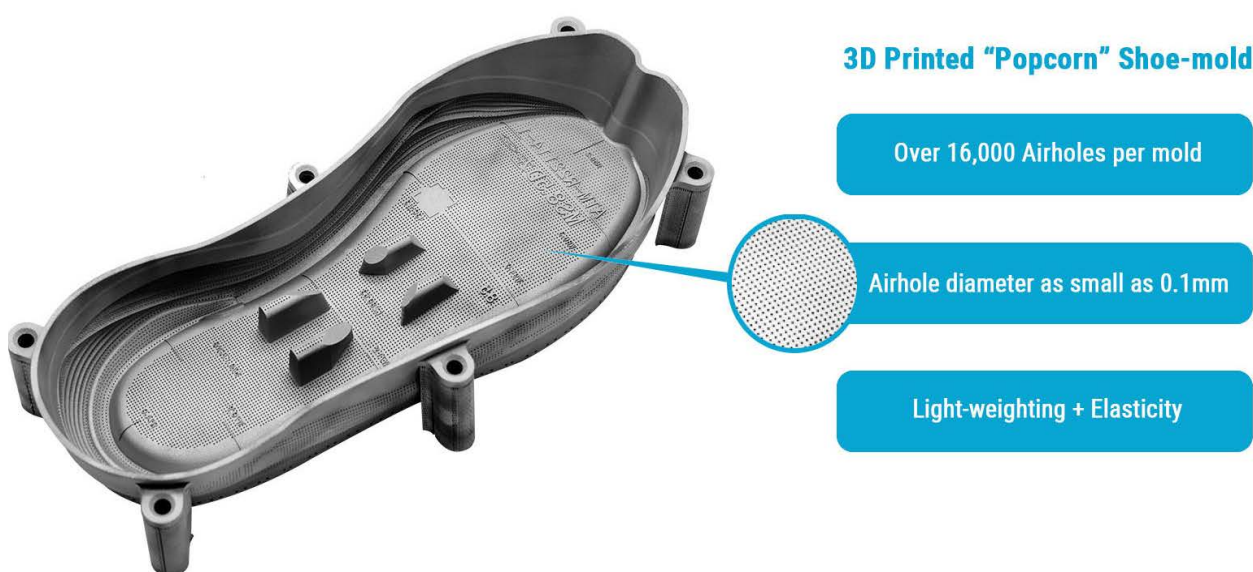
Готовые пресс-формы устанавливаются в оборудование для литья под давлением или других процессов производства обуви, чтобы изготавливать подошвы из термопластичных материалов (например, TPU или EVA).

Популярные и во многом зрелые технологии 3D-печати SLA (в меньшей степени) и L-PBF/SLM уже сегодня формируют новую эру в наименее затратном и быстром создании пресс-форм, особенно для кастомизированного и малосерийного производства. Независимо от того, что в этих технологиях используются совершенно разные виды материалов, они способны радикально изменить подходы к проектированию и производству.

Металлопорошковая технология SLM позволяет осуществлять прямую печать сложных металлических форм с нанесением текстур, что исключает необходимость трудоемких этапов травления. Для

не знакомых с технологией химического травления поясним: сначала на форму наносится специальная пленка, затем форма погружается в кислотную ванну. Кислота выборочно удаляет незащищенные участки, создавая нужную текстуру. Такие текстуры сложны в исполнении, поэтому их обычно выполняют специализированные предприятия. Сам процесс занимает от 2 до 5 дней. Создание же сложных текстур с помощью 3D-печати гарантирует невероятную детализацию, обеспечивает точность и снижает экологическую нагрузку за счет отказа от химических процессов.

С помощью 3D-принтеров китайского производителя по технологии SLM – Farsoon Technologies уже сегодня создано более 100 миллионов пар спортивной и повседневной обуви! Обувщики действительно начинают смотреть в сторону аддитивного производства, которое в данном конкретном случае способно ускорить производственные циклы с двух недель до всего 10 часов, что особенно важно для производителей, постоянно обновляющих свои коллекции в соответствии с сезонными модными тенденциями.



Форма для обуви Farsoon «Popcorn». Фото: Farsoon.

## Обувь



*Пресс-форма MBJ для получения обувных подошв. Фото: СПИН.*

Одним из ключевых достижений компании стала разработка и производство обувных пресс-форм RB. Это уникальное решение позволяет интегрировать тысячи сложных паттернов в единую форму, что значительно повышает гибкость производства и идеально соответствует запросам современного потребителя.

Второй тип форм под названием «попкорн» с 16 000 вентиляционными отверстиями диаметром всего 0,1 мм обеспечивает превосходную аэрацию, предотвращает засорение и делает обувь невероятно легкой и эластичной. Благодаря ей можно создавать модели, которые буквально «дышат», обеспечивая максимальный комфорт даже при длительной носке.

Не менее впечатляет форма EVA с усовершенствованными охлаждающими каналами. Эта разработка значительно ускоряет процесс производства, сохраняя при этом высокое качество продукции. Благодаря улучшенной системе охлаждения производители могут сократить время цикла изготовления, что делает процесс более экономичным и экологичным.

Зарождающийся серьезный конкурент предыдущей технологии по металлам и сплавам – Metal Binder Jetting (MBJ/VJT), также способен перевернуть представление промышленников о рентабельном производстве, способном значительно ускорить процесс создания сложных пресс-форм и улучшить их качество. Не-

смотря на отличия в техпроцессе по сравнению с L-PBF, MBJ имеет ряд неоспоримых преимуществ: создание пресс-форм с внутренними каналами для охлаждения, что улучшает качество литья под давлением и ускоряет процесс производства, отсутствие поддержек, напряжений в деталях.

Стоит отметить, что производители 3D-принтеров стараются оптимизировать свое оборудование, технологию, а также материалы таким образом, чтобы обеспечить наибольшую эффективность для многих применений, например, увеличивая количество и производительность лазеров, сокращая количество поддержек, а вместе с этим и время на постобработку.

В следующей главе мы расскажем о наиболее ярких примерах создания обуви с использованием аддитивного производства. 

**Дмитрий Трубашевский**

**Вторая часть:**



**Третья часть:**







Прочти  
меня на  
сайте

# Metal MEX: МИКС ИЗ ИННОВАЦИОННОСТИ, ДОСТУПНОСТИ и универсальности



**Узнайте, как технология MEX производит эволюцию в отраслях благодаря неограниченной свободе проектирования, своей доступности и универсальности. Погрузитесь в наш подробный технический обзор и оставайтесь в авангарде аддитивного производства.**

## **Что такое технология MEX?**

Экструзия материалов MEX (англ. Material Extrusion) — это максимально нейтральная и ёмкая аббревиатура всем известного процесса FDM (патент Stratasys Inc.), а после и FFF, FGF, и многочисленной группы на основе шнековой/поршневой и прочей экструзии паст и жидкотекучих материалов. Пора и нам привыкать к такому названию, описывающему всё семейство. Это семейство работает с разнообразными материалами, начиная от нитей/филаментов, гранул и заканчивая смолами и прочими жидкотекучими, в том числе армированными материалами – настоящее раздолье для ученых, бизнеса и энтузиастов.

Семейство MEX способно работать с композитами, наполненными металлами или

сплавами, и уже получило неофициальное название Metal MEX (чтобы быстро сориентировать интересующихся именно его металлургическим направлением). В отличие от традиционного литья металла под давлением MIM (англ. Metal Injection Molding), где сырьё впрыскивается в форму, в Metal MEX материал выдавливается через сопло (филлеру) на рабочую платформу 3D-принтера. Эта технология обеспечивает высокую гибкость и эффективность в проектировании, что делает её очень любопытной в сфере производства.

## **Как работает Metal MEX**

Процесс MEX состоит из четырех основных этапов: подготовка сырья, печать, удаление связующего и спекание.

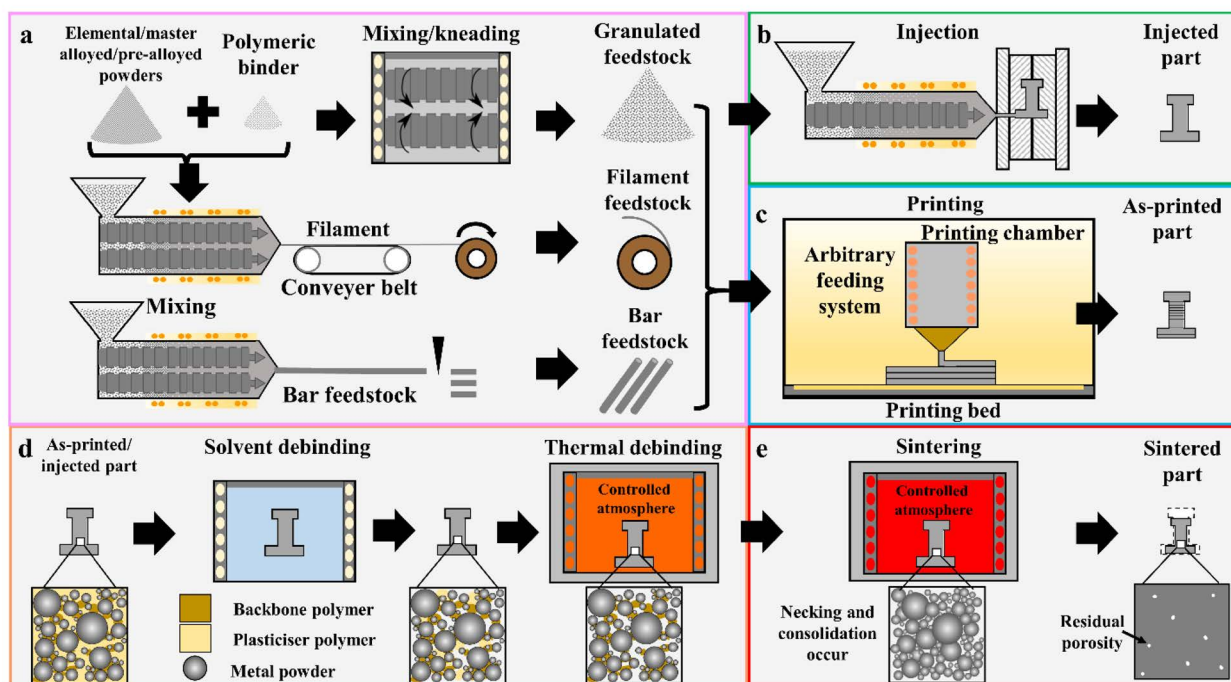
Подготовка сырья включает смешивание металлического порошка с полимерными связующими для создания однородного материала, пригодного для экструзии. Это сырье может быть сформировано в гранулы, стержни или нити в зависимости от конкретных требований используемой системы Metal MEX.

На этапе печати исходный материал нагревается до тех пор, пока он не станет мягким и его можно будет выдавливать через сопло. Затем пастообразный материал наносится на платформу, где он охлаждается и затвердевает. Следуя модели САПР, объект строится слой за слоем, что позволяет создавать сложные геометрии.

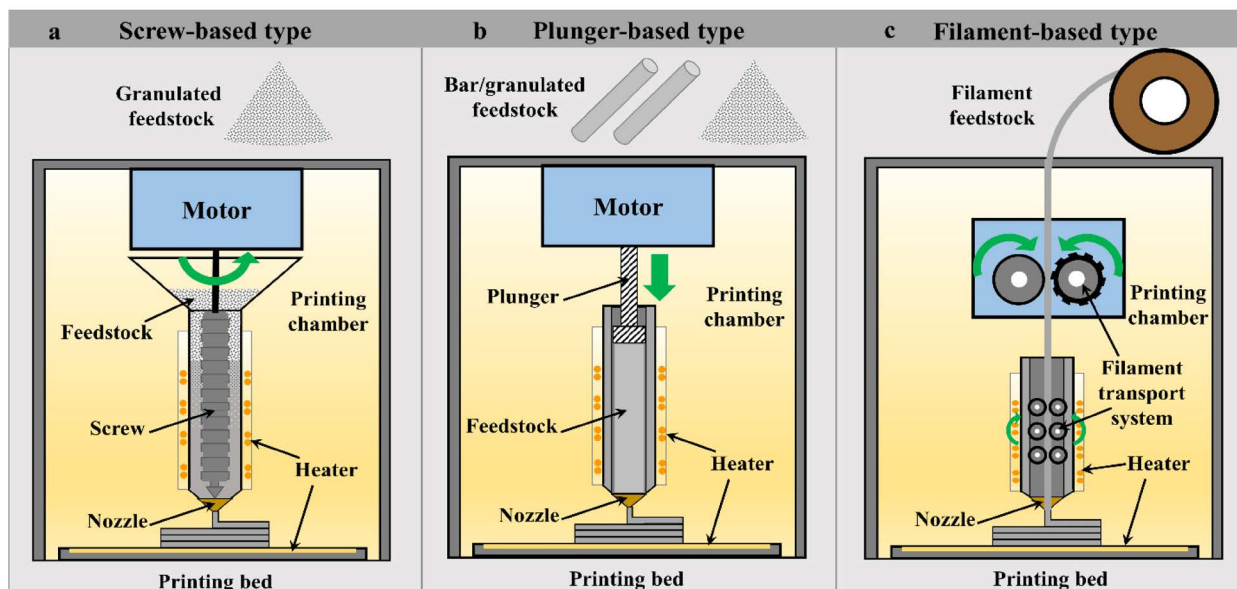
После печати получается т.н. «зеленая» модель (такой цвет характерен для таких деталей из-за большого количества полимерного связующего, которое и придает им характерный цвет и

## На эффективность спекания влияют несколько факторов:

- *Температура спекания:* более высокие температуры ускоряют диффузию, способствуя быстрому уплотнению. Однако их необходимо тщательно контролировать, чтобы избежать плавления или деформации материала.
- *Время спекания:* увеличение времени спекания способствует повышению плотности, но также может привести к росту зерен, что негативно сказывается на механических свойствах материала.
- *Скорость нагрева детали:* она влияет на микроструктуру и конечную плотность изделия. Контролируемая скорость нагрева помогает избежать термических напряжений и дефектов.
- *Характеристики порошка:* размер и форма частиц металлического порошка определяют их поведение при спекании. Мелкие частицы с большей площадью поверхности спекаются легче.
- *Атмосфера спекания:* от нее во многом зависят конечные свойства детали. Использование инертной или восстановительной атмосферы предотвращает окисление и загрязнение материала.



Сравнение техпроцесса Metal MEX (a, c, d, e) и литья MIM в ТПА (a, b, d, e).



Варианты экструзии Metal MEX: (а) шнековая, (б) плунжерная, (с) филаментная.

хрупкость), которая содержит как металл, так и связующий (полимерный) материал. Процесс удаления связующего осуществляется, как правило, в два этапа. На первичном этапе удаляют низкомолекулярные полимеры, часто с использованием растворителей или термических методов. Вторичный этап – это удаление оставшихся высокомолекулярных полимеров, после чего остается пористая металлическая структура, называемая «корич-

невой» деталью (происходит обычно из-за остатков связующего и пористой структуры).

Заключительный этап — спекание, когда деталь нагревается до температуры ниже точки плавления металла. Это заставляет металлические частицы связываться вместе, уплотняя деталь, повышая ее плотность. Спекание обычно проводится в контролируемой атмосфере, например, в водороде, азоте, аргоне, или же в вакууме, чтобы предотвратить

Процесс спекания «коричневой» детали.  
Фото: Markforged.







## РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС METAL MEX

**Типичный процесс изготовления детали с использованием технологии Metal MEX состоит из нескольких этапов:**

- **Проектирование.** Заранее спроектированная деталь в программе CAD нарезается на слои с получением G-кода – инструкций для работы принтера.
- **Подготовка сырья.** На этом этапе подбирают и смешивают металлический порошок со связующим веществом. Это необходимо для создания материала, подходящего для экструзии.
- **Печать.** Подготовленный материал загружают в принтер. Принтер наносит материал слой за слоем, формируя деталь в соответствии с цифровой моделью. Также выкладывается тонкий слой керамики из второй фильеры принтера для последующего удобного разделения вспомогательных опор от изделия. Керамика после процесса спекания становится хрупкой и легко отделяется.
- **Удаление связующего вещества.** После печати «зеленая» деталь проходит процесс удаления связующего вещества. В результате получается «коричневая» деталь, все еще хрупкая, но уже состоящая в основном из металлических частиц.
- **Спекание.** Деталь подвергается спеканию, чтобы уплотнить металлические частицы, улучшить механические свойства и достичь нужных размеров (в процессе происходит усадка).
- **Постобработка.** В зависимости от требований, деталь может проходить дополнительные этапы обработки: механическую, термическую или финишную обработку поверхности. Это необходимо для соблюдения точных размеров и стандартов качества.

окисление и обеспечить высокое качество конечного продукта. После спекания детали приобретают окончательные свойства и цвет металла, из которого они изготовлены.

### **Подробное описание спекания в Metal MEX**

Спекание является критическим этапом в процессе Metal MEX, преобразуя пористую «коричневую» часть в плотный, твердый объект с желаемыми механическими свойствами. Во время спекания между соседними металлическими частицами образуются шейки, инициирующие процесс связывания. По мере повышения температуры эти шейки растут, и частицы консолидируются, уменьшая пористость и увеличивая плотность.

### **Ключевые характеристики технологии Metal MEX**

Одно из главных преимуществ технологии Metal MEX — это практически неограниченная свобода в проектировании. Она позволяет инженерам создавать детали со сложной

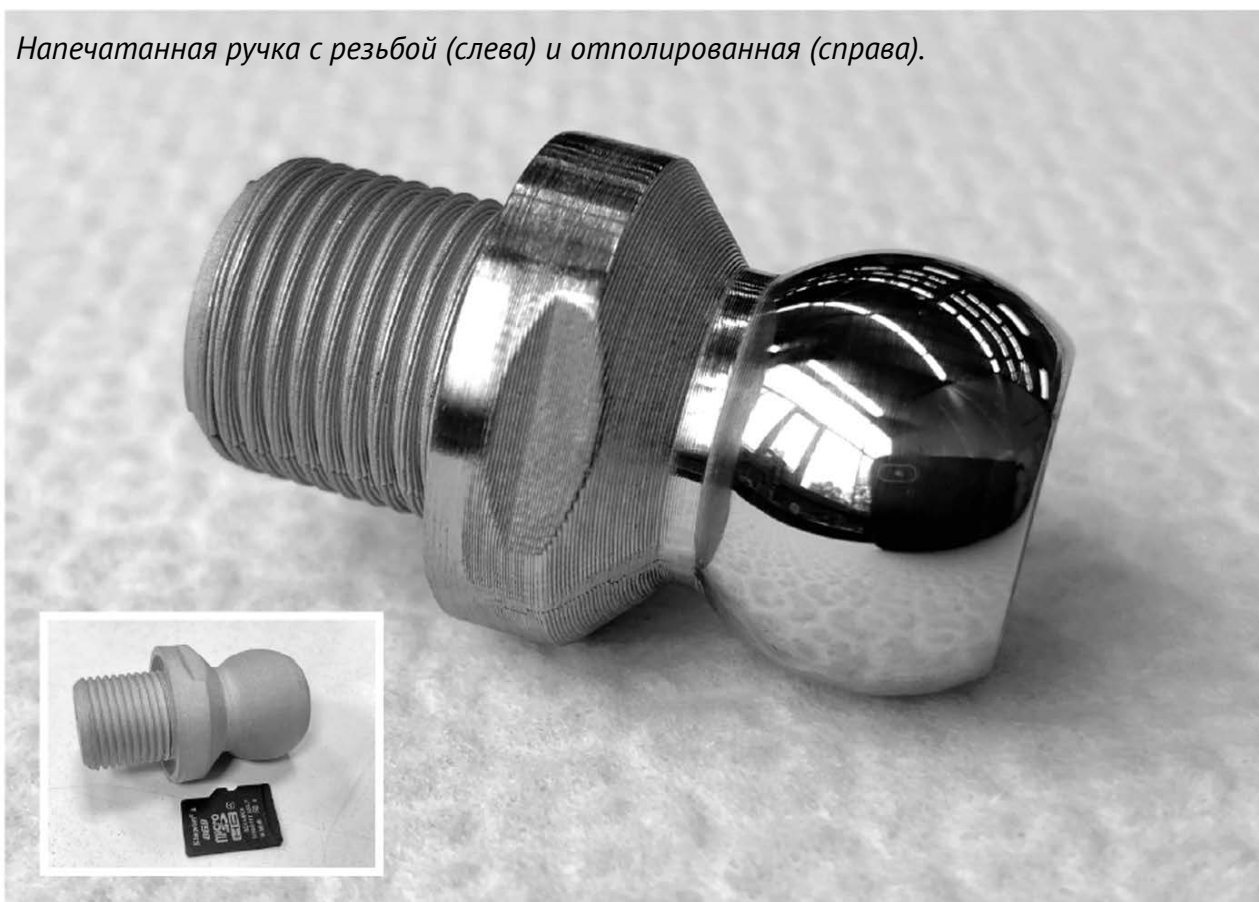
геометрией, включая внутренние каналы, которые невозможно или крайне сложно изготовить традиционными методами.

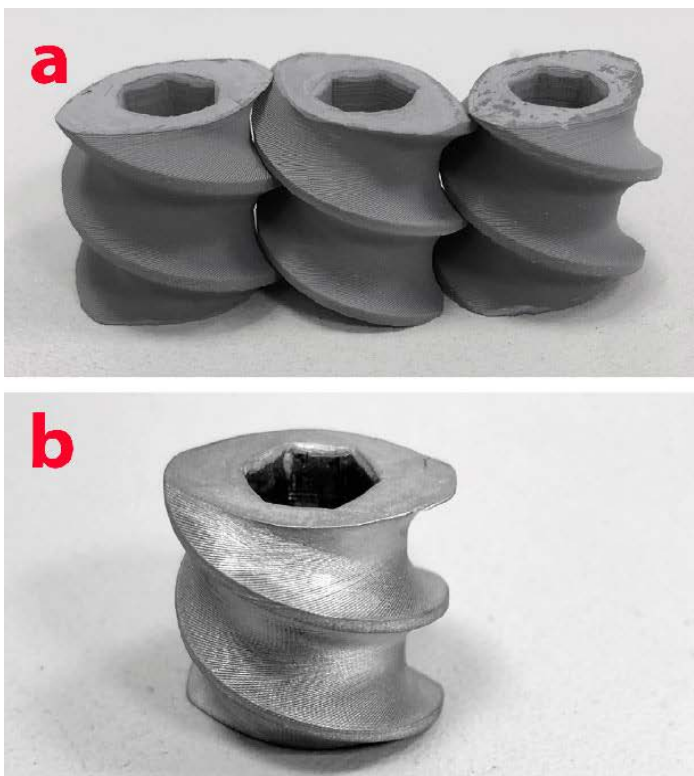
Ещё одно важное преимущество — эффективное использование материалов. Metal MEX позволяет получать детали с минимальными допусками на обработку, что значительно сокращает количество отходов и уменьшает необходимость дополнительной механической обработки. Это не только снижает затраты, но и делает производство более экологичным.

Возможность создавать индивидуальные детали особенно важна в таких областях, как биомедицинская инженерия. Например, имплантаты, изготовленные с учётом анатомии конкретного пациента, могут значительно улучшить результаты лечения. Технология Metal MEX позволяет производить такие детали без дорогостоящей оснастки или форм, что делает процесс более гибким и экономичным.

А ещё эта технология сокращает сроки производства. Благодаря отсутствию не-

*Напечатанная ручка с резьбой (слева) и отполированная (справа).*





*Сборный шнек гранулятора, изготовленный из стали 316L. Фото а – «зеленые» детали, b – спеченная деталь, два фото справа – спеченные детали и собранный шнек. Фото: Sascha Lenze.*

обходимости в оснастке и возможности быстрого прототипирования, Metal MEX идеально подходит для мелкосерийного производства или ситуаций, когда важна скорость выполнения заказа.

Кроме того, некоторые системы MEX поддерживают печать из нескольких материалов. Это позволяет создавать детали с комбинированными свойствами, например, разной твёрдостью или теплопроводностью, что расширяет функциональность конечного продукта.

### Зрелость технологии Metal MEX

Технология Metal MEX пока ещё молодая, особенно если сравнивать её с другими методами 3D-печати, например, с лазерным спеканием. Однако она быстро развивается. Благодаря улучшениям в материалах, оборудовании и программном обеспечении, Metal MEX стала более доступной и надёжной. Уже сейчас на рынке есть несколько коммерческих систем, предлагающих широкие возможности для разных отраслей и задач.

Популярность технологии растёт, и её всё чаще используют в различных сферах. Это связано с её экономичностью и универсальностью. По мере того как продолжают исследования и разрабатываются отраслевые стандарты, Metal MEX может стать заслуженной альтернативой традиционным методам производства.

Во второй части публикации мы подробнее расскажем о преимуществах и об узких местах Metal MEX, об областях ее применения и о том, как правильно подобрать для нее сырьё. 

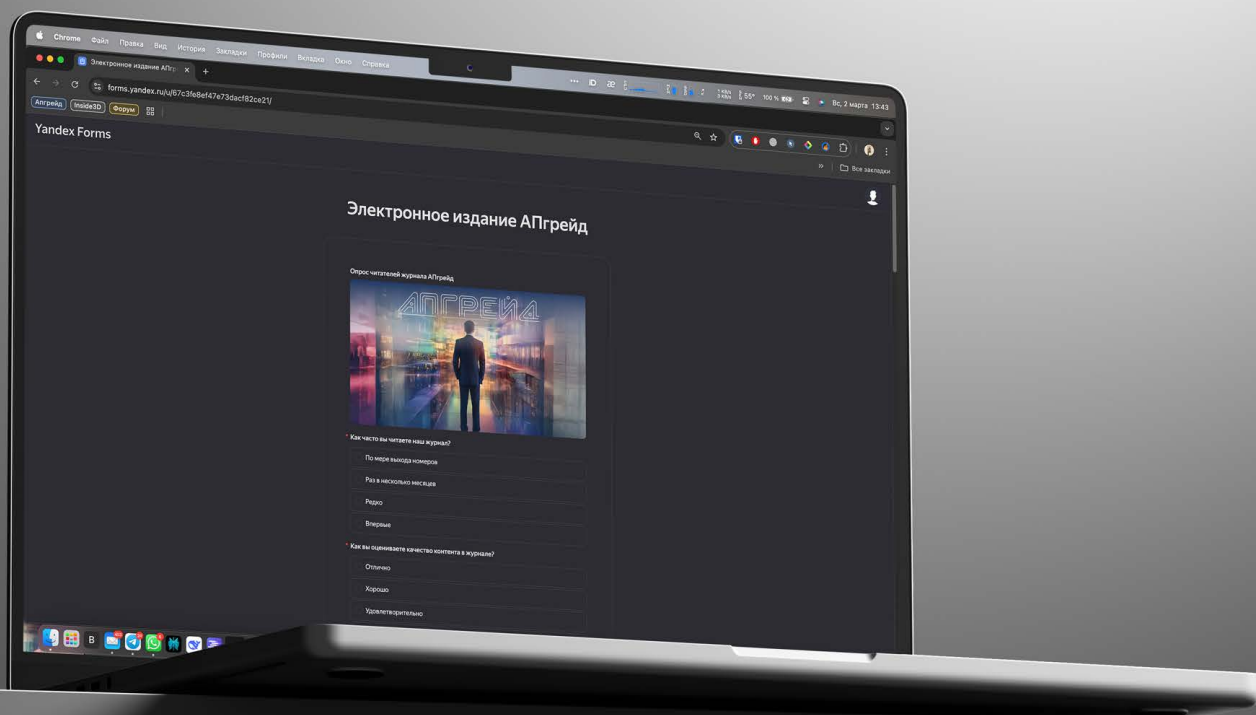
**Дмитрий Трубашевский**

При подготовке статьи были использованы материалы [A Review on Material Extrusion Additive Manufacturing of Metal and How It Compares with Metal Injection Moulding](#).

Вторая часть:







## Электронное издание АПГрейд

Опрос читателей журнала АПГрейд



\* Как часто вы читаете наш журнал?

- ☐ По мере выхода номеров
- ☐ Раз в несколько месяцев
- ☐ Редко
- ☐ Впервые

\* Как вы оцениваете качество контента в журнале?

Помогите нам стать лучше! Пройдите короткий опрос и поделитесь своим мнением о журнале!





Прочти  
меня на  
сайте

**КАТ**

клуб  
аддитивных  
технологий

© 2024. Клуб аддитивных технологий.

# Перечень наименований аддитивных технологий

| Международные                  |                                                                                                  | Российские                    |                                        |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|
| Наименования технологий        | Альтерн. наименования                                                                            | ГОСТ Р 57558-2017             | Наименования технологий                |
| BJ (Binder Jetting)            | PCM                                                                                              | Струйное нанесение связующего | Струйное нанесение связующего по ПММА  |
| PEM (Paste Extrusion Modeling) | RPL, PDM, EOD, EFF, ABEF, FBW, FEF, DIW, биопечать, RPRD, MF, MJS, 3DFD, RC, LSR, RDM, 3DCP, COP | Экструзия материала           | Моделирование осаждением пасты         |
| SLA (Stereolithography)        | LMM, PureForm                                                                                    | Фотополимеризация в ванне     | Лазерная стереолитография              |
| DLP (Digital Light Processing) | Carbon DLS, LMM, ML, PureForm                                                                    | Фотополимеризация в ванне     | Цифровая светодиодная проекция         |
| LCD (Liquid Crystal Display)   | MSLA                                                                                             | Фотополимеризация в ванне     | Масочная стереолитография              |
| MJ (Material Jetting)          | MJM, MJP, PolyJet, DOD, NPJ                                                                      | Струйное нанесение материала  | Струйное нанесение материала           |
| BJ (Binder Jetting)            | PCM                                                                                              | Струйное нанесение связующего | Струйное нанесение связующего по песку |



| Международные                                            |                                                | Российские                        |                                                                    |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Наименования технологий                                  | Альтерн. наименования                          | ГОСТ Р 57558-2017                 | Наименования технологий                                            |
| FD (Friction Deposition)                                 | FSLD, MELD                                     | Экструзия материала               | Ротационная сварка трением                                         |
| Metal SL (Sheet Lamination)                              | LOM, UAM                                       | Листовая ламинация                | Листовая ламинация                                                 |
| E-DED (W) (Electron Beam Wire Direct Energy Deposition)  | DED, DED-W, EBF3, EBAM, EB-DED                 | Прямой подвод энергии и материала | Электронно-лучевая наплавка проволокой                             |
| L-DED (W) (Laser Wire Direct Energy Deposition)          | DED, DED-W, WLAM, LWC, LMD-W, LWD              | Прямой подвод энергии и материала | Лазерная наплавка проволокой                                       |
| Arc-DED (W) (Arc (Plasma) Wire Direct Energy Deposition) | DED, DED-W, RPD, PMD, PAW                      | Прямой подвод энергии и материала | Плазменная наплавка проволокой                                     |
| Arc-DED (W) (Arc Wire Direct Energy Deposition)          | DED, DED-W, WAAM                               | Плазменная наплавка проволокой    | Электродуговая наплавка проволокой, прямое дуговое выращивание/ПДВ |
| L-PBF (Laser Beam Powder Bed Fusion)                     | PBF, SLM, DMLS, LaserCUSING, MLS               | Прямой подвод энергии и материала | Селективное лазерное плавление/СЛП                                 |
| E-PBF (Electron Beam Powder Bed Fusion)                  | PBF, EBM, EBSM                                 | Синтез на подложке                | Электронно-лучевое плавление/ЭЛП                                   |
| L-DED (P) (Laser Beam Powder Direct Energy Deposition)   | DED-P, DMD, LMD, LENS                          | Прямой подвод энергии и материала | Лазерная (газопорошковая) наплавка, прямая лазерная наплавка (ПЛВ) |
| Cold Spray                                               | DED, DED-P, SP3D, TKF                          | Прямой подвод энергии и материала | Холодное газодинамическое напыление/ХГН                            |
| MBJ (Metal Binder Jetting)                               | SPJ, MJF, BJT, MJ3DP                           | Струйное нанесение связующего     | Струйное нанесение связующего по металлам и сплавам                |
| Metal Pellet MEX (Metal Pellet Material Extrusion)       | FGF                                            | Экструзия материала               | Шнековая экструзия                                                 |
| Metal MEX (Metal Filament Material Extrusion)            | Filament MEX, , Metal FFF, FFF, FDM, ADAM, BMD | Экструзия материала               | Экструзия материала                                                |
| CF3D (Continuous Fiber 3D Printing)                      | Filament MEX, $\mu$ AFP, CFD, AFT, CFC, CFF    | Экструзия материала               | Экструзия непрерывного композиционного волокна                     |
| Pellet MEX                                               | FGF, LFAM, BAAM, SEAM, APF, BAAM               | Экструзия материала               | Шнековая экструзия                                                 |
| MEX (Filament Material Extrusion)                        | FDM, FFF                                       | Экструзия материала               | Экструзия материала                                                |
| SLS (Selective Laser Sintering)                          | PBF, PLS, PPBF                                 | Синтез на подложке                | Селективное лазерное спекание                                      |
| SHS (Selective Heat Sintering)                           | MJF, HSS                                       | Синтез на подложке                | Селективное тепловое спекание                                      |
| SL (Sheet Lamination)                                    | LOM, CBAM                                      | Листовая ламинация                | Листовая ламинация                                                 |





Мы ищем

# таланты и формируем круг соратников!

Станьте блогером-профи на страницах АПГрейд, делитесь открытиями и размышлениями, расскажите миру о своих успехах в сфере аддитивного производства, 3D-сканирования, разработки оборудования, ПО, новых материалов.

**Если не знаете,  
с чего начать**

— обращайтесь к нам, мы  
всегда рады помочь!

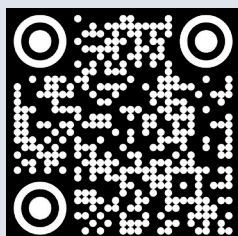
**Наиболее активные авторы получают от нас особое  
внимание и помощь в продвижении проектов!**

Пишите нам на  
[chief\\_editor@industry3d.ru](mailto:chief_editor@industry3d.ru)

Читайте нас на [industry3d.ru](http://industry3d.ru).



# ИНДУСТРИЯ



industry3d.ru



Освещаем главные новости и тренды в сфере промышленных аддитивных технологий, 3D-сканирования, метрологии, автоматизации и цифровизации современных производств.