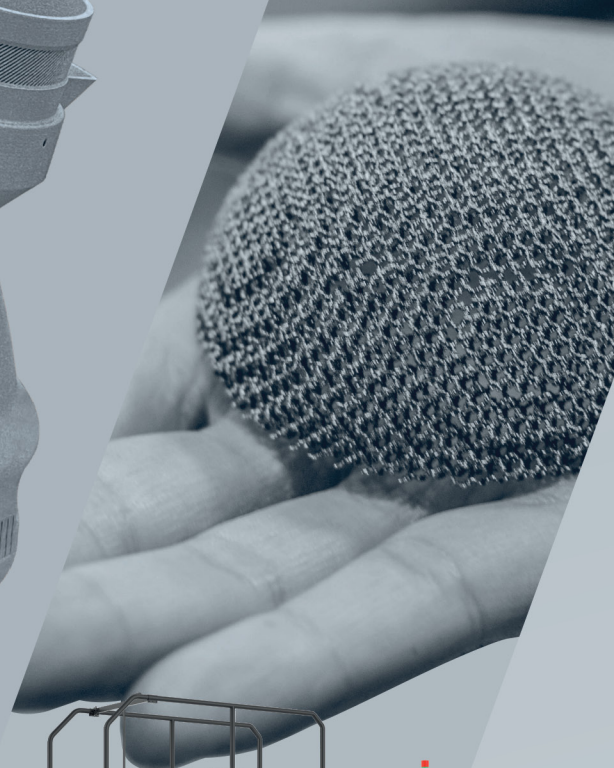
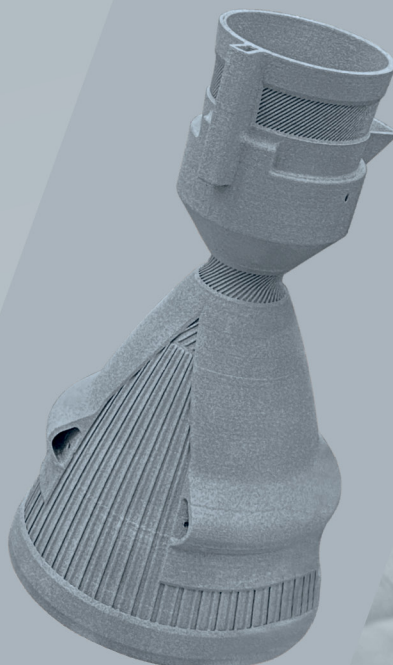




清研智束
QBEAM

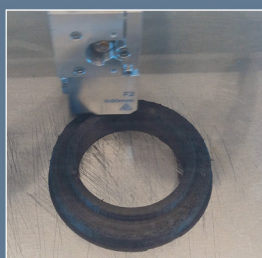
EBSM®

селективная плавка
электронным лучом

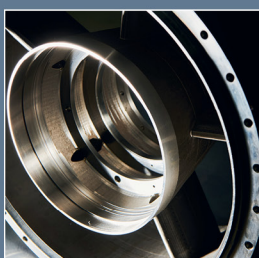


4 ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ПУШКИ В ОДНОМ УСТРОЙСТВЕ

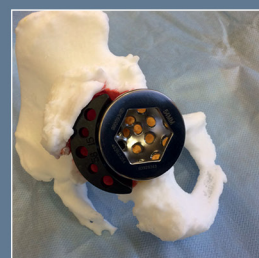
Подробнее на стр. 6



Мобильные комплексы аддитивного производства
18



Напечатать самолёт – 3D-печать в авиастроении
26



Прецизионные макеты для предоперационного планирования
36

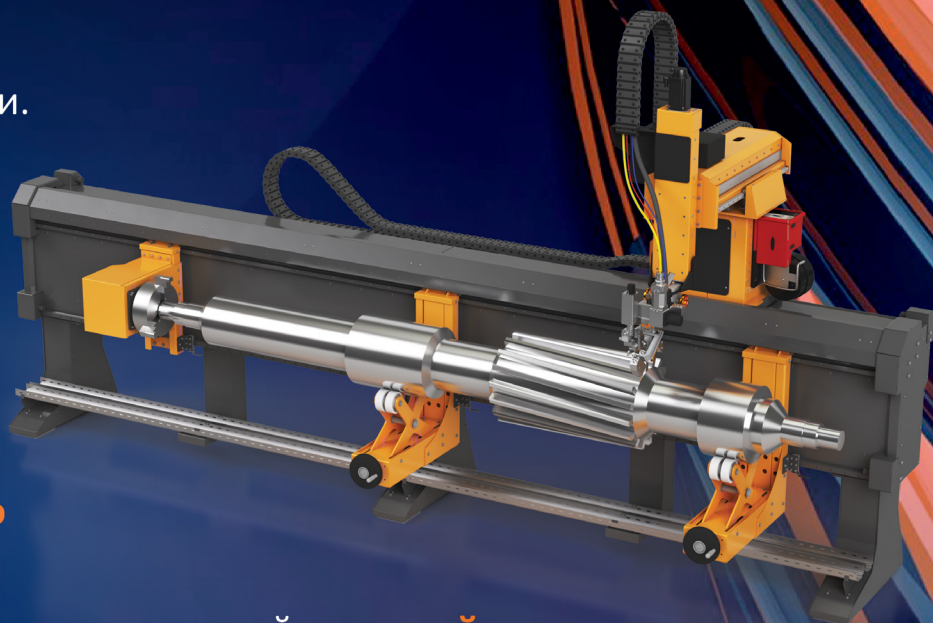
ПОЛНОСТЬЮ УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ FL-CPM



FL-CPM – универсальная система лазерной обработки.

Модульная конструкция координатной системы и **широкий выбор** съемных навесных элементов крепления заготовок дают возможность создать Вашу **уникальную конфигурацию** станка.

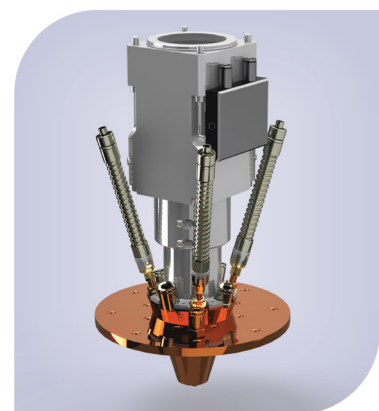
4-осевая сопловая насадка для порошковой **лазерной наплавки** - будет **идеальным дополнением** к системе.



ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР IPG ПОЗВОЛЯЕТ СОКРАТИТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ

Высокий коэффициент использования материала: в случае наплавки проволокой – 100% (до 90% при наплавке порошком). Локальная обработка поверхности, минимальная постобработка, стабильная высота наплавляемого слоя, минимальное перемешивание основного и наплавляемого материалов. Отсутствие деформации изделия в процессе обработки. Также система позволяет проводить высокоэффективную лазерную сварку и термообработку.

4-осевая сопловая насадка предназначена для четырехсторонней подачи наплавляемого материала и защитного газа в область фокусировки лазерного луча. Насадка полностью совместима с головками FLW D50. 4-осевая сопловая насадка – точный и надежный инструмент, с дополнительной защитой от воздействия отраженного излучения.



Подробнее обо всех новинках Вы можете узнать у наших консультантов по e-mail и телефону:

+7 (495) 477-72-77; sales@ntoire-polus.ru

www.fl-cpm.ru





6



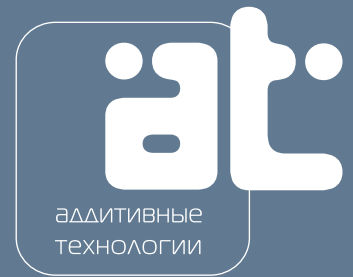
28



22

СОДЕРЖАНИЕ

- 4** Аддитивная арена: диалог экспертов.
Первый дискуссионный клуб по АТ
- 6** Принцип электронно-лучевой 3D-печати (EBM)
в порошковом слое
- 10** Тенденции аддитивного производства в 2023 году
- 13** Мировой рынок материалов для 3D-печати: анализ и прогноз
- 14** Десять крупнейших отраслей, развивающих аддитивное
производство в 2023 году
- 16** Услуги в сфере аддитивных технологий
- 18** Мобильные комплексы аддитивного производства:
обзор рынка, опыт внедрения, концепция мобильной фабрики
- 22** 3D-печать в строительстве: тенденции и перспективы развития
- 26** Напечатать самолёт – 3D-печать в авиастроении
- 28** 3D-печать в авиастроении. Полетит ли самолет?
- 31** Электрические свойства ПЭТГ-пластика после 3D-печати
по экструзионной технологии
- 34** Аддитивные технологии обеспечивают свободное движение
- 36** Прецизионные макеты для предоперационного планирования



Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор
М. Копытина

отдел редакции:
Т. Карпова, Э. Сашкая
С. Куликова

консультант:
Н.М. Максимов
nikamax@gmail.com

отдел рекламы
т/ф (499) 55-9999-8

АДРЕС: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1
т/ф (499) 55-9999-8
(многоканальный),
e-mail: info@additiv-tech.ru
www.additiv-tech.ru

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС 77-67106 от 15.09.2016.

Тираж 5000 экз.
Распространяется на выставках
и по подписке.

Перепечатка опубликованных
материалов разрешается только
при согласовании с редакцией.
Все права защищены ®.

Редакция не несет ответственности
за достоверность информации
в рекламных материалах
и оставляет за собой право
на редакторскую правку текстов.
Мнение редакции может
не совпадать с мнением авторов.

Центр общего доступа

26 сентября в Ижевске компания-интегратор российской атомной отрасли «Русатом – Аддитивные технологии» (ООО «РусАТ», входит топливную компанию Росатома «ТВЭЛ») и Удмуртский государственный университет (УдГУ) открыли первый в России Центр аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД). Деятельность ЦАТОД в Ижевске будет направлена на выполнение как производственных, так и образовательных задач «Росатома» и региона в области аддитивных технологий.



<https://rusatom-additive.ru/>

Программа стандартизации

14 сентября 2023 г. в рамках реализации «Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации» на период до 2030 года Минпромторгом России совместно с Росстандартом была утверждена перспективная «Программа стандартизации в целях развития отрасли аддитивных технологий в Российской Федерации на 2023–2030 годы». В ходе реализации программы будут решаться задачи по:

- улучшению технических характеристик и характеристик безопасности аддитивного оборудования;
- повышению качества и конкурентоспособности изделий, полученных методами аддитивных технологий;

• гармонизации требований документов национальной системы стандартизации с наилучшими международными практиками;

• совершенствованию документов национальной системы стандартизации, обеспечивающих разработку и внедрение в производство аддитивного оборудования.

Программа разработана по семи основным направлениям и содержит 57 стандартов, определяющих в том числе общие принципы применения аддитивных технологий, оборудование, сырье, квалификацию персонала и получаемые изделия.

<https://minpromtorg.gov.ru/>



Приглашение к участию

1 декабря в Воронеже состоится VI международная конференция по импортозамещению с применением комплексного реверс-инжиниринга и аддитивных технологий «3D КонЦентрАТ». Участников мероприятия будут ждать актуальные экспертные оценки и решения из области АТ и 3D-технологий, новинки исследований и разработок, а также успешные бизнес-кейсы.

С 10:00 до 20:00 в современном Инновационном бизнес-инкубаторе имени профессора Ю. М. Борисова вы услышите более двадцати докладов от экспертов из области цифрового производства.

Программа поделена на пять секций: «Промышленность», «Оборудование», «Вузы», «Материалы» и «Зарубежье». Помимо российских спикеров опытом внедрения 3D-технологий поделятся эксперты из Китая, Израиля и Белоруссии. Конкретно об использовании АТ как рабочего инструмента для решения производственных

задач расскажут представители АО «Силовые машины», «Газпром нефть», СИБУР, НПО «Машиностроения», «Наука и инновации», МГТУ им. Баумана, МИСиС, ИЛиСТ и др.

Конференция пройдет в очном формате. Ее планируют посетить специалисты госкорпораций «Ростех», «Росатом», «Роскосмос», субъекты малого и среднего предпринимательства.

Организаторами конференции выступили Центр аддитивных технологий (ЦТКАТ), Департамент промышленности и транспорта Воронежской области, ВГТУ и Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ) при поддержке Минпромторга РФ, правительства Воронежской области и др.

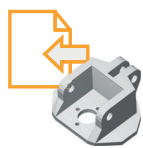
30 ноября в рамках конференции ТГУ проведёт «Школу молодых ученых» на тему «Перспективные материалы и передовые производственные технологии».

<https://3d-made.com/>

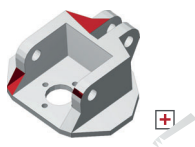
 **Voxeldance Additive**

**Программное обеспечение
для технологической
подготовки к 3D-печати**
(SLM, DMLS, SLS, SLA, DLP/LCD)

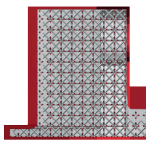
Процесс подготовки данных в Voxeldance Additive



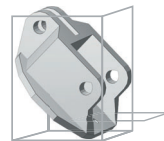
Импорт CAD



Исправление ошибок



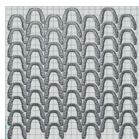
Редактирование



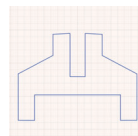
Ориентация



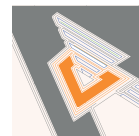
**Моделирование
поддержек**



**Автоматическая
компоновка**



Слайсинг



**Задание траектории
сканирования**

**Почему
Voxeldance
Additive?**

- Удобное и функциональное программное обеспечение по более доступной цене
- Полная подготовка файла к печати в одном ПО
- Оптимизированное вычислительное ядро быстро обрабатывает сложные массивы данных
- Вводный тренинг с учётом вашей отрасли. Сопровождение в процессе использования

Для заказа тестовой лицензии
обратитесь к официальному
дистрибьютору Voxeldance
в РФ — «ИННФОКУС»

in@infcs.ru
8 800 222 77 59
voxeldance-russia.ru



Аддитивная арена: диалог экспертов. Первый дискуссионный клуб по АТ

В сентябре 2023 года состоялось первое в своём роде мероприятие, посвящённое аддитивным технологиям, в формате открытого диалога — дискуссионный клуб «Аддитивная арена: диалог экспертов». Спикеры-эксперты в области аддитивных технологий и участники мероприятия обсуждали острую тему: почему «традиционщики» с трудом входят в область аддитивных технологий и в чем их ошибка? Организаторами выступили ЦАТ «Ростеха» и Академия аддитивных технологий «Цифра Цифра».



Гарегин Асланян, Колчанов Дмитрий, Андрей Рипецкий и Александр Юрасов представили уникальные точки зрения и рассказали о своем опыте внедрения аддитивных технологий в различные сферы промышленности. Участники, в свою очередь, поделились реальными кейсами и в формате открытого диалога обсудили возможные варианты решения, а помогал им в этом специальный приглашенный гость — Юрий Басюк.

Среди участников были не только представители аддитивной промышленности и специалисты по аддитивным технологиям, но и предприниматели, инженеры, студенты, которые только начинают свой путь в аддитивке.

«Это был настоящий интеллектуальный фестиваль! Спасибо организаторам за возможность окунуться в мир аддитивных технологий и услышать мнение таких ярких лидеров отрасли», — поделилась своим впечатлением одна из участниц.

Самое главное — это возможность общения и знакомство с представителями абсолютно разных сфер, обсуждение реальных и острых вопросов в относительно новой сфере.

«Я получил большое удовольствие от организации, общения с экспертами и гостями. Надеюсь, что такие встречи станут регулярными и полезными для всех сторон», — отметил модератор встречи Дмитрий Трубашевский, основатель бренда «Логика слоя».

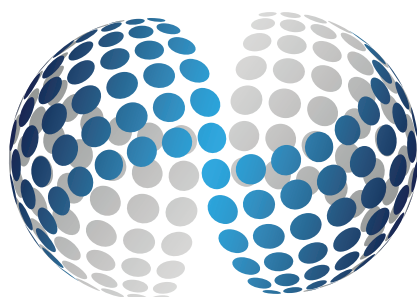
Внедрение аддитивных технологий сегодня — тренд, который позволяет оперативно и с максимальной точностью закрывать потребности в части импортозамещения в различных отраслях промышленности и создавать абсолютно различные по своему конструктиву изделия. Дискуссионный клуб объединил на своей площадке практиков и теоретиков и создал пространство для обмена идеями и обсуждения перспектив. Каждый участник и эксперт может задать направление дискуссии или предложить тему, привлекая внимание к важным вопросам индустрии.

«Мы хотим сделать дискуссионный клуб традицией, где происходит открытый диалог, без прикрас, о конкретном и актуальном и даже — спорном. А спорящие стороны — это профессионалы, авторитеты, помогающие слушателям определиться в своем выборе или мнении», — отметила Марина Данильченко, руководитель образовательных проектов ЦАТ.

«Задача нашей академии как представителя сферы дополнительного профессионального образования — реализовать только эффективные и интересные образовательные форматы. Проект Дискуссионного клуба был создан прежде всего для формирования заинтересованного сообщества и аддитивного мышления у как можно более широкого круга сотрудников промышленных предприятий. Мы искреннее верим, что новые и свежие подходы в учебных программах помогут преодолеть разрыв между рынком труда и образовательными структурами в сфере аддитивных технологий. Это был пилотный запуск данного проекта. Нам кажется, что получилось очень живо и с пользой для всех», — подвела итог генеральный директор Академии аддитивных технологий «Цифра Цифра» Дарья Орехова.



Проект аддитивных технологий
в промышленности в рамках
выставки RUPLASTICA



Additive Minded

23–26 янв
2024
МОСКВА
РОССИЯ

Принцип электронно-лучевой 3D-печати (EBM) в порошковом слое



К.О. Большаков, менеджер по работе с ключевыми клиентами i3D

В данной статье мы сравним три основных производителя 3D-принтеров по технологии EBM в производительности, габаритах камеры и точности печати.

Сама технология электронно-лучевой 3D-печати в порошковом слое (электронно-лучевое плавление) получила развитие в начале 90-х годов XX века. Ее принцип включает в себя послойное формование детали посредством послойной плавки электронным лучом предварительно засыпанного и нагретого металлического порошка в вакуумной защите.

Технология имеет ряд очевидных преимуществ:

- высокая эффективность формования;
- высокий коэффициент использования энергии;
- низкое создаваемое напряжение при формовании.

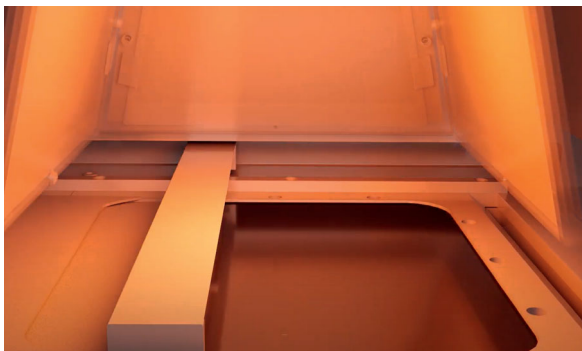
При этом процесс реализуется в среде вакуума.

Эта технология получила широкое применение в биомедицине, авиации, космонавтике и других сферах.

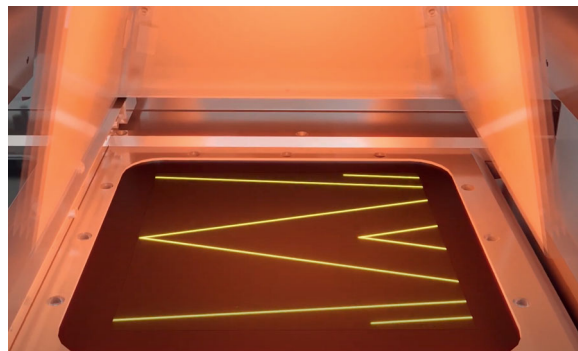
[Подробное описание принципа работы технологии](#)

Сначала трехмерную модель детали в файле CAD разбивают на послойные срезы заданной толщины в направлении ее высоты, чтобы получить информацию о двухмерной плоскости сечения каждого слоя. После этого на рабочую платформу насыпают тонкий слой

Процесс формования



Насыпание слоя порошка



Предварительный нагрев слоя порошка



Опускание платформы



Выборочная плавка

порошкового материала и электронным лучом с помощью компьютерного управления начинают равномерно разогревать порошок. Затем в соответствии с данными о плоскости сечения каждого слоя избирательно расплавляют металлический порошок в определенных участках, при этом порошок в участках, не подвергающихся расплавлению, остается в состоянии предварительного спекания. После того как обработка слоя завершена, рабочая платформа опускается на заданную высоту (равную заданной толщине слоя). Описанный процесс «подача слоя порошка — предварительный нагрев слоя порошка — избирательная плавка — опускание платформы» циклически повторяется до полного завершения изготовления детали. После завершения цикла камера заполняется гелием до полного остывания. Затем формованную деталь извлекают и подвергают необходимой завершающей обработке (удаление остатков порошка, удаление поддержек, полировка и шлифовка и т.д.) и в завершении получают законченную объемную деталь.

Преимущества технологии электронно-лучевой 3D-печати в порошковом слое

В сравнении с технологией формования посредством селективного лазерного плавления (SLM) технология электронно-лучевой 3D-печати (EBM) в порошковом слое имеет следующие отличительные преимущества:

- Использование электронного луча в качестве носителя энергии: бомбардировка металлического порошка электронным лучом характеризуется низким коэффициентом отражения, высокой проникающей способностью

и большей глубиной спекания. Электронный луч быстро и точно перемещается под контролем магнитного поля. Технология позволяет выполнять формование металлических материалов с высокой температурой плавления, при этом изделия отличаются высокой эффективностью формования и более высокой плотностью.

- Формование в вакуумной среде: более чистая среда формования, замедленная передача тепла и понижение температуры. Детали отличаются более высокой чистотой и низким внутренним напряжением. Имеется возможность формования из высокоактивных металлов.

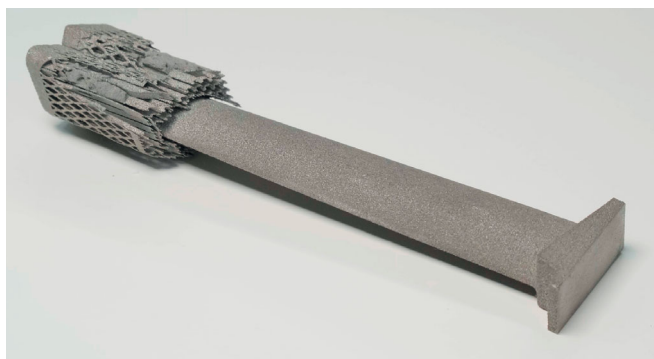
- Высокая температура порошкового слоя: в процессе формования применяется высокая температура порошкового слоя; после формования происходит медленное охлаждение в камере построения. Изделия отличаются низким внутренним напряжением, что позволяет изготавливать хрупкие и подверженные растрескиванию детали; крупные технические элементы конструкций; тонкостенные изделия и мелкие стержнеобразные пустотелые элементы конструкций.

- После предварительного нагрева и спекания порошковый слой обретает определенную прочность, что позволяет минимизировать использование поддержек для изготавливаемой детали и за счет наслаивания изделий и изготовления партиями повысить эффективность производства.

- Высокая мощность электронного луча и толстый слой формования позволяет использовать порошок с более крупными частицами (более дешевый).

- Электронный луч с успехом печатает теплопроводными материалами, такими как медь. Так же печатает материалами, которым свойственно растрескиваться. Сплав γ -TiAl практически не использовался до приме-





нения в 3D-печати из-за сложности в обработке. При печати на SLM-принтере в материале лопаток возникали трещины. EBM решил эту проблему, так как процесс идет при высокой температуре (до 1300°C). Лопатки из данного сплава отлично зарекомендовали себя в авиационной отрасли.

Производители установок для электронно-лучевой 3D-печати (EBM). Модельный ряд и преимущества

На данный момент производством коммерческих установок занимается не более десяти производителей в мире. Большинство из них недоступны к заказу, поэтому рассмотрим трех производителей: один с европейского рынка и два из Азии.

За эталон возьмём шведский Arcam, из (General Electric), установки данного производителя недоступны к заказу, но Arcam является родоначальником данной технологии и имеет наибольшее распространение по миру. На коммерческий рынок производитель вышел в начале 90-х годов XX века и уже успел завоевать авторитет и доверие клиентов благодаря своей стабильной работе. Номенклатура производителя насчитывает 5 типов установок:

- 1) Arcam Q10plus;
- 2) Arcam Spectra H;
- 3) Arcam Spectra L;
- 4) Arcam A2X;
- 5) Arcam Q20 PLUS.

Для удобства сравнения выделим Arcam Q10plus, Arcam Spectra H и Arcam Spectra L. Установки разли-

чаются между собой по мощности электронно-лучевой пушки и камере построения.

Второй производитель доступен к заказу в России. Родом из столицы Поднебесной — QBeam.

В то время как Arcam вышел на коммерческий рынок, научный состав будущей компании QBeam только начал работу над прототипом своей электронно-лучевой установки. На базе университета в Чинхуа в 1990 г. был создан первый прототип. Далее команда взялась за разработку рабочего образца. Работа над первой машиной шла долго, и в 2004 г. была разработана первая установка и получен патент на изобретение в Китае. Установка была задействована для выполнения заказов для заказчиков из различных отраслей внутри Китая. Параллельно шла работа по усовершенствованию работы оборудования. В 2015 г. была зарегистрирована компания QBeam, и в 2017 г. были выдвинуты первые коммерциализированные установки. Номенклатура производителя насчитывает три типа установок: QBeam 200, QBeam 350, QBeam 600. Установки различаются между собой по мощности электронно-лучевой пушки, их количеству и камере построения.

Поговорим о третьем производителе

Sailong — производитель из г. Сиань, Китай. Исследования технологии электронно-лучевой печати научный состав будущей компании начал в 2005 г. на базе Северо-Западного научно-исследовательского института цветных металлов. В 2013 г. была зарегистрирована компания Xi'an Sailong. Помимо электронно-лучевых установок Sailong занимается производством оборудования для изготовления металлических порошков по технологии PREP. Номенклатура производителя, как и вышеупомянутый QBeam насчитывает 3 типа установок: Sailong 150, Sailong 200, Sailong 400. Установки различаются между собой по мощности электронно-лучевой пушки и камере построения.

Разделим всех производителей по типоразмеру установок и сравним между собой по ключевым параметрам.

Начнем с начальных установок по габаритам камеры построения (табл. 1).

Таблица 1

Параметр	Arcam Q10plus	QBeam 200	Sailong 150
Камера построения, мм	200×200×200	200×200×230	170×170×180
Мощность электронно-лучевой пушки, кВт	6	(Есть комплектация с 1 или 2 пушками) 6	6
Точность печати, мм		±0,2/100	≤+/-0,1
Минимальный диаметр луча, мкм	200	180	100
Степень вакуума перед печатью, Па	<5×10 ⁻⁴	<10 ⁻²	<5×10 ⁻³
Температура нагрева порошкового слоя, °C	1100	1100	1300

Если мы говорим о малых камерах построения, то по габаритам камеры построения здесь всех опережает QBeam.

В случае, если вам нужна точность и производительность, то нужно выбрать Sailong 150.

Установки способны работать с одинаковым спектром материалов. Среди них — сплавы титана, медь и медные сплавы, интерметаллиды, жаропрочные никелевые сплавы, тугоплавкие сплавы и монокристаллические сплавы (табл. 2).

Таблица 2

Параметр	Arcam Spectra H	QBeam 350	Sailong 200
Камера построения, мм	250×430	350×350×700	200×200×450
Мощность электронно-лучевой пушки, кВт	6	(Есть комплектация с 1 или 2 пушками) 6	6
Точность печати, мм		±0,2/100	≤+/-0,1
Минимальный диаметр луча, μm	200	180	100
Степень вакуума перед печатью, Па	<5×10 ⁻⁴	<10 ⁻²	<5×10 ⁻³
Температура нагрева порошкового слоя, °C	1100	1100	1300

В случае с средним типоразмером камер построения ситуация немного иная.

Точность печати за Sailong.

Габариты и производительность за QBeam.

Печатать установки способны из тех же материалы что и конкуренты. Среди них все те же — сплавы титана, медь и медные сплавы, интерметаллиды, жаропрочные никелевые сплавы, тугоплавкие сплавы и монокристаллические сплавы (табл. 3).

Таблица 3

Параметр	Arcam Spectra L	QBeam 600	Sailong 400
Камера построения, мм	350×430	600×600×700	400×400×400
Мощность электронно-лучевой пушки, кВт	4,5 кВт	4 пушки ×6	6
Точность печати, мм		±0,2/100	≤+/-0,3
Минимальный диаметр луча, μm	200	180	300
Степень вакуума перед печатью, Па	<5×10 ⁻⁴	<10 ⁻²	<5×10 ⁻³
Температура нагрева порошкового слоя, °C	700	900	750

А вот в крупноформатных установках ситуация иная. QBeam вне конкуренции.

Оборудование от данного производителя превосходит:

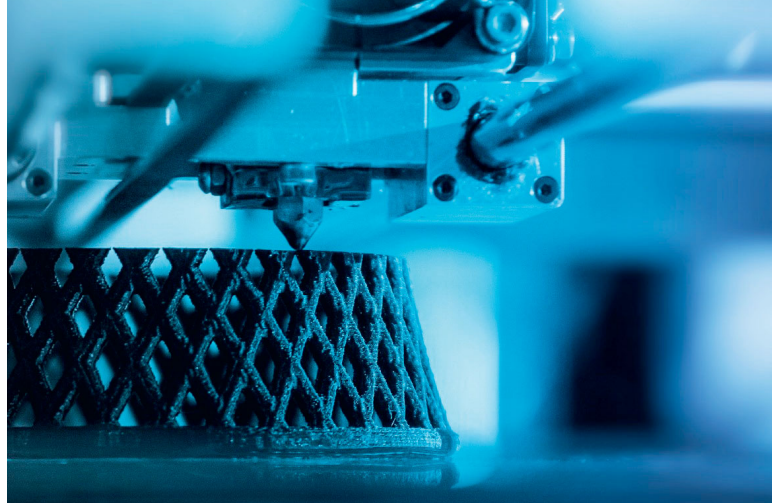
- шире охват сплавов за счет более высокой температуры прогрева порошкового слоя;
- больше камера построения, чем у конкурентов;
- высокая производительность за счет массива из четырех пушек;
- лучшая точность.

Вывод

Технология EBM привлекла значительное внимание в последние годы. Она предлагает преимущества в производительности и возможность создания металлических деталей из широкого спектра материалов.

Выбор между этими тремя производителями зависит в конечном счете от конкретных потребностей пользователя. Каждый из них имеет свои особенности и достоинства, и к выбору надо подходить с глубоким пониманием требований каждого пользователя. ■

Тенденции аддитивного производства в 2023 году



iQB Technologies

В постоянно развивающемся мире современных технологий такие прорывы, как искусственный интеллект и облачные вычисления, произвели революцию в функционировании предприятий, открыв путь к беспрецедентному повышению эффективности и производительности. Среди этих передовых инноваций особое место занимает аддитивное производство — технология, которая прочно заняла свое место в производственной сфере.

С 2017 года международная компания по предоставлению производственных услуг Jabil раз в два года проводит опрос руководителей, от-

ветственных за принятие решений в области аддитивного производства, чтобы определить ритм развития отрасли и ее масштабное влияние на производственный сектор.

В отчете, спонсируемом Jabil, представлены результаты опроса двухсот лиц, принимающих решения (ЛПР), — руководителей среднего и высшего звена, курирующих аддитивное производство в своих организациях. Сведения, полученные Jabil в сотрудничестве с компанией SIS International Research, охватывают такие аспекты, как текущее состояние 3D-печати, проблемы, используемые материалы, планы и ожидания, связанные с этой технологией.

3D-печать: современные тренды и ожидания

1. Прототипирование остается основной областью применения, другие функции значительно расширяются

Прототипирование по-прежнему является задачей номер один, которую компании решают с помощью 3D-принтеров, причем их использование быстро растет (рис. 1) по сравнению с предыдущим исследованием. Кроме того, с 2017 года значительно увеличилось число организаций, использующих аддитивное производство для изготовления деталей. Одновременно почти вдвое выросла такая позиция, как 3D-печать средств технологического оснащения. Вместе с тем 3D-принтеры значительно меньше применяются для ремонта изделий.

Какие задачи решает ваша компания с помощью 3D-печати?

Выберите все подходящие варианты (по числу принтеров)

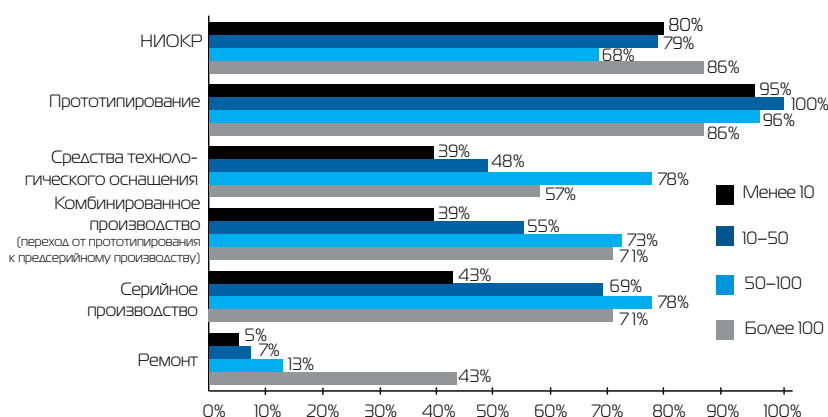


Рис. 1

Источник © jabil.com

Какой примерно процент вашего аддитивного производства составляет создание функциональных или конечных деталей?

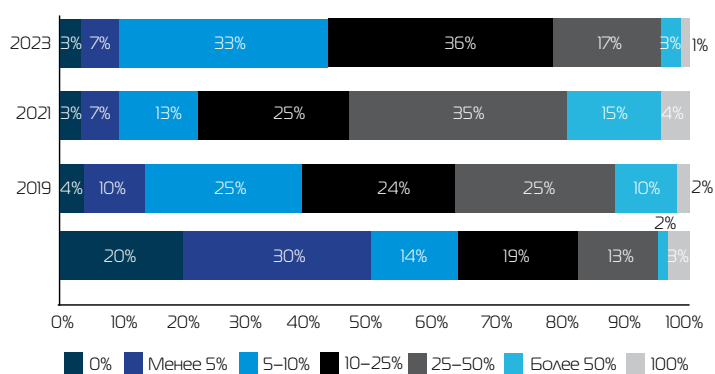


Рис. 2

Источник © jabil.com

2. Почти все компании используют 3D-печать для изготовления конечных изделий

Впечатляющие 97% участников опроса заявили, что их компании создают функциональные или конечные детали аддитивными методами. Большинство из них используют для этого от 10% до 25% своих мощностей 3D-печати (рис. 2).

3. Почти у всех есть свои 3D-принтеры

96% респондентов сообщили, что в их компаниях используются собственные 3D-принтеры. Наиболее популярный вариант аутсорсинга — пользование услугами сетевых RP-центров, о чем сообщили 38% участников опроса. 35% обращаются к подрядчикам, а 21% — в сервисные бюро.

4. Большинство руководителей ожидают умеренного роста

Аддитивные технологии совершили революцию в проектировании, обеспечивая повышенную гибкость и позволяя дизайнерам исследовать возможности, выходящие за рамки цифровых моделей.

Благодаря 3D-печати можно создавать кастомизированные детали, сочетающие в себе множество традиционных компонентов, что сокращает количество необходимых деталей. Кроме того, аддитивное производство оптимизирует и ускоряет многие ранние этапы жизнен-

ного цикла изделия, помогая компаниям быстрее перейти к крупномасштабному производству и внедрению.

5. Стоимость и доступность материалов — серьезная проблема

Наблюдается значительный рост вызовов, связанных с расходными материалами для 3D-печати, причем 85% руководителей заявили, что такие проблемы мешают их компаниям наращивать объемы аддитивного производства (рис. 3). Этот факт можно объяснить растущим спросом на материалы, который не удовлетворяется соответствующим ростом предложения. Также заметно возросло число проблем, связанных с технологическими процессами, — с 2021 года они увеличились на 21%.

6. Респонденты видят в 3D-печати разнообразные выгоды

Как и в предыдущих исследованиях Jabil, наиболее значимыми преимуществами аддитивного производства участники опроса считают ускорение сроков поставки и снижение себестоимости продукции, при этом почти все назвали различные выгоды (рис. 4). Наиболее часто упоминаемое преимущество — быстрые поставки. Любопытно, что этот показатель увеличился на 21% по сравнению с 2021 годом: значит, ЛПП ожидают дальнейшего сокращения времени поставок за счет 3D-печати.



Рис. 3

Источник © jabil.com

7. Большинство топ-менеджеров признают аддитивное производство стратегическим преимуществом

Более 50% руководителей высшего звена рассматривают применение аддитивных технологий как стратегическую возможность для развития своей организации (рис. 5). Кроме того, 40% топ-менеджеров видят в 3D-печати альтернативный метод проектирования и производства продукции.

8. Материалы для 3D-печати: предпочтения пользователей и перспективы применения

Почти все респонденты (97%) заявили, что их организация использует в процессах 3D-печати пластики/полимеры

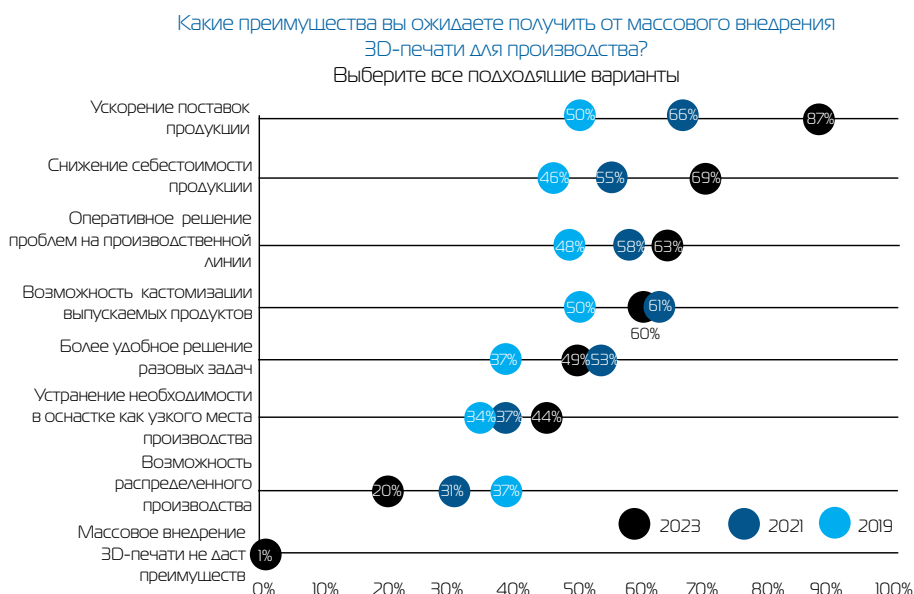


Рис. 4

Источник © jabil.com

(рис. 6). И хотя они занимают верхние строчки рейтинга, значительно возросло применение металлов. Такой рост интереса можно объяснить потребностями заказчиков в долговечных материалах. Металлы также востребованы клиентами, которым нужны надежные и прочные изделия, — например, производителями аэрокосмической техники.

20% руководителей ответили, что в своих технологических процессах они используют пластики и металлы в одинаковом объеме.

96% респондентов высказываются в пользу металлических материалов при соответствующих условиях. Хотя 88% по-прежнему хотели бы печатать пластиками/полимерами при наличии сертифицированных материалов по разумной цене, этот показатель ниже тех, кто в настоящее время использует пластики (97%). Вероятно, такое предпочтение объясняется более низкой стоимостью и доступностью пластиков по сравнению с металлами.

Две трети компаний-респондентов используют в процессах аддитивного производства материалы, разработанные по индивидуальному заказу. Подбирая состав и структуру материала в соответствии с точными техническими требованиями конкретной задачи, производители могут создавать детали с высокими эксплуатационными характеристиками, такими как прочность, долговечность,

Каково мнение о 3D-печати топ-менеджеров вашей компании?

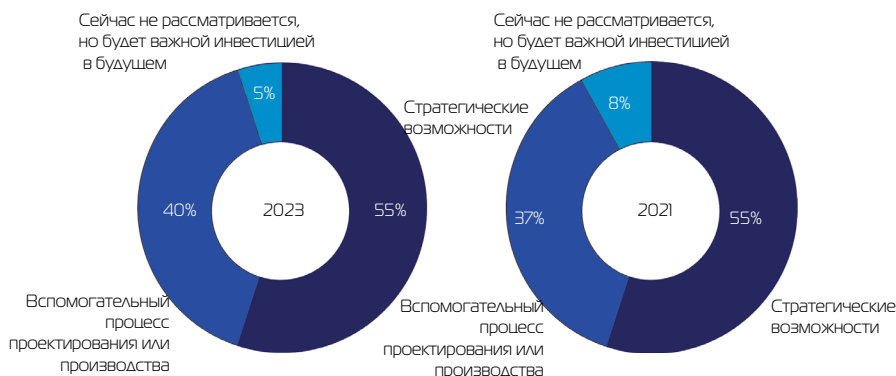


Рис. 5

Источник © *jabil.com*

Какие типы материалов для 3D-печати используются сейчас в вашей компании? Выберите все подходящие варианты

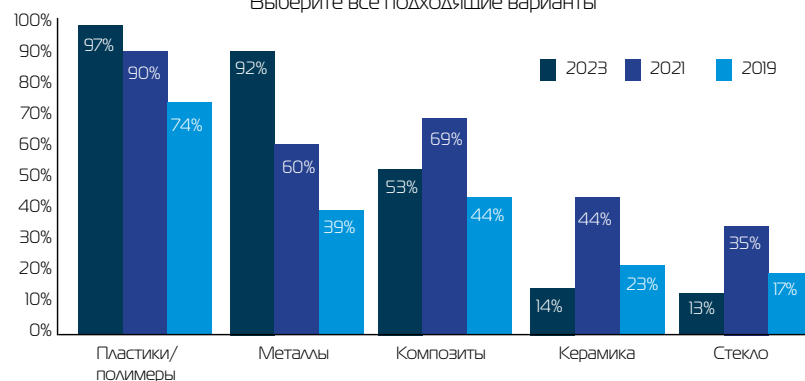


Рис. 6

Источник © *jabil.com*

теплостойкость и электропроводность. Кроме того, кастомизированные материалы могут использоваться для снижения веса или улучшения внешнего вида изделий в тех случаях, когда это необходимо. ■

Источник: *jabil.com*.
 Материал приводится в сокращении
 Блог компании *iQb Technologies*,
<https://blog.iqb.ru/jabil-3d-printing-trends-2023/>

Прогноз

Компания *Materialise*, лидер на международном рынке 3D печати, предложила свой прогноз на основе четырех важнейших тенденций, которые будут способствовать развитию отрасли в течение следующих двенадцати месяцев:

- рост умного, распределенного производства;
- фокус на снижении затрат;
- переход от автоматизации отдельных процессов к комплексной автоматизации рабочего процесса;
- приоритетные безопасность и целостность данных.

В 2023 году вышеуказанные тренды станут ключом к преодолению барьеров, которые все еще связаны с внедрением технологии в промышленное производство. Решение этих вопросов поможет компаниям расширить масштабы 3D печати и перейти к серийному производству, а также ускорить внедрение 3D-печати.



3D-печать в компании *CNH*, © *cnhindustrial.com*

<https://blog.iqb.ru/3d-printing-trends-2023/?ysclid=incncy1g64307305324#data>

Мировой рынок материалов для 3D-печати: анализ и прогноз

Обзор отрасли

Мировой рынок материалов для 3D-печати оценивался в 1 миллиард долларов США в 2022 году и, как ожидается, достигнет 5,82 миллиарда долларов США к 2030 году при среднегодовом темпе роста 23,82% в течение прогнозируемого периода, то есть 2023–2030 годов. Географически рынок быстро расширяется в Северной Америке, Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе в результате присутствия крупных компаний и инвестиций в 3D-печать; однако он сталкивается с такими ограничениями, как совместимость материалов, гарантия качества и отсутствие правил.

В зависимости от типа материала мировой рынок материалов для 3D-печати сегментирован на полимеры, металлы и металлические сплавы, керамику и др. Полимеры доминируют благодаря своей адаптируемости и простоте. Они используются для широкого спектра применений благодаря их низкой температуре плавления и совместимости с различными процессами 3D-печати. Кроме того, биоразлагаемые полимеры, такие как PLA, соответствуют целям устойчивого развития. Их популярность дополнительно поддерживается доступностью и способностью создавать сложные формы. В 2022 году на мировом рынке материалов для 3D-печати доминировала аэрокосмическая промышленность из-за жестких требований к производительности и сложной геометрии компонентов самолетов. Такие материалы, как титан, алюминий и специализированные композиты, отвечают ее уникальным требованиям, а 3D-печать позволяет изготовить любую деталь за значительно меньшее время, чем традиционные методы производства. Кроме того, аддитивное производство обеспечивает быстрое прототипирование и индивидуальную настройку.

Динамика

Одним из факторов, способствующих расширению сектора услуг 3D-печати, является высокая стоимость оборудования для 3D-печати. Компании, которым нужны детали, напечатанные на 3D-принтере, имеют возможность приобрести 3D-принтеры или передать их поставщику услуг. Многие предпочитают объединить эти два фактора, воспользовавшись преимуществами доступа к передовым технологиям, снижения инвестиционного риска, внутренних производственных мощностей и экспертных знаний в области аддитивного производства.

Компании, нуждающиеся в разнообразных продуктах и услугах, для решения которых у них может не хватить ресурсов или знаний, часто передают свои требования на аутсорсинг.

Инвестиции в 3D-печать — это больше чем просто приобретение машины; сюда также входят материалы, обслуживание принтеров и настройка программного обеспечения. Малые предприятия хотят протестировать 3D-печать через сервисы, а не делать значительные инвестиции во внутренние операции. Даже компании из списка Fortune 500 передают на аутсорсинг проекты 3D-печати для прототипов и производственных циклов, поэтому поставщики услуг постоянно дополняют собственные возможности. Эти поставщики являются важными партнерами для предприятий, желающих использовать технологию, поскольку они обладают глубоким пониманием рынка, контролем процессов и навыками 3D-печати. Рынок материалов для 3D-печати также растет в результате быстрого внедрения технологий 3D-печати в отрасли здравоохранения, удовлетворяя растущую потребность в индивидуальных медицинских изделиях. Создание хирургических шаблонов, протезирование и индивидуальное воспроизведение костей, органов и кровеносных артерий во многом зависит от 3D-программного обеспечения и услуг.

Барьеры

Требование стандартизации материалов и обеспечения качества является серьезным барьером на мировом рынке материалов для 3D-печати. При таком разнообразии доступных материалов важно гарантировать стабильное качество и совместимость с различными технологиями 3D-печати. Для точных и высококачественных отпечатков решающее значение имеет достижение однородности параметров материала, таких как вязкость и температура плавления. Кроме того, одобренные материалы необходимы для обеспечения безопасности и производительности в секторах со строгими нормативными требованиями, таких как аэрокосмическая промышленность и здравоохранение. Чтобы вселить уверенность в надежности и эффективности материалов для 3D-печати, важно иметь общеотраслевые стандарты и строгие процедуры тестирования, которые в настоящее время не являются строго обязательными в индустрии 3D-печати.

<https://www.vynzresearch.com/chemicals-materials/3d-printing-materials-market>

Десять крупнейших отраслей, развивающих аддитивное производство в 2023 году



Сектор аддитивного производства (АП) трансформирует производственные операции, ускоряя производственные циклы и обеспечивая массовую индивидуализацию. Кроме того, 3D-печать минимизирует потери материалов и снижает производственные затраты. Вот почему производители интегрируют на своих заводах решения АП. Ведущая европейская компания по инновациям и стартапам StartUs представила на сайте обзор десяти новых стартапов в области АП, сопоставленных с десятию отраслями, которые они оптимизируют.

1. Производство

Аддитивное производство устраняет необходимость в специализированном производственном оборудовании и придает гибкость производственным линиям, обеспечивает прибыльное и высокоскоростное производство как мелкосерийных, так и устаревших деталей, децентрализует производство и приближает его к сборочным линиям, сокращая затраты на логистику. Чтобы ускорить его внедрение, стартапы, работающие в этом секторе, внедряют инновации, чтобы снизить начальную стоимость решений для АП и повысить точность печати.

NematX — швейцарский стартап, занимающийся разработкой кинематической 3D-печати. Стартап объединяет жидкокристаллические полимеры (LCP) и собственную технологию экструзии материалов для создания высокопроизводительных деталей. Они обладают лучшими механическими и термическими свойствами по сравнению с обычными термопластами, такими как PEEK и PEI. Кроме того, технология стартапа обеспечивает высокую точность печатаемых деталей.

2. Инженерное дело

Инженеры-технологи используют АП для быстрого создания физических моделей деталей. Это, в свою очередь, позволяет сократить расходы на создание прототипов, ускорить пересмотр проекта и вывод продуктов на рынок.

Satori — британский стартап, создающий Satori VL2800 — 3D-принтер для быстрого прототипирования. Стартап также предлагает программное обеспечение для 3D-печати и решения для постобработки. Программное обеспечение поддерживает генеративный дизайн для автоматического создания поддержки отпечатков. Это позволяет дизайнерам и инженерам работать эффективнее и исключить дорогостоящие мелкосерийные производственные циклы для доработки проекта.

3. Электроника

Электронная промышленность использует АП для оптимизации и ускорения проектирования схем. В отличие от традиционных процессов данный процесс печатает схему, одновременно создавая деталь, инкапсулирующую схему. Более того, погрешность электронной 3D-печати очень мала благодаря высокоточному управлению компьютеризированными системами. Это позволяет производителям электроники напрямую печатать сложные и индивидуальные схемы на таких поверхностях, как гибкие пленки и смартфоны. Кроме того, 3D-печать устраняет необходимость травления и снижает использование химикатов.

Enovate3D — китайский стартап, который создает оборудование для электронной 3D-печати с точностью 1–10 микрон. Стартап использует прецизионное АП, функциональные материалы и 3D-интеграцию для печати материалов.

4. Строительство

3D-печать бетонных элементов повышает их долговечность за счет способа сборки. Более того, строительство с использованием АП сильно влияет на сроки завершения проекта, управление материалами и проектирование зданий. Вот почему стартапы разрабатывают технологии экструзии для различных применений.

Hyperion Robotics — финский стартап, занимающийся производством микрозаводов по производству бетонных элементов. Стартап объединяет робототехнику и 3D-печать бетона для производства железобетонных конструкций из переработанных материалов. Решение применяется для сокращения времени выполнения заказов, снижает потери материалов во время строительства и выбросы углекислого газа.

5. Аэрокосмическая промышленность

Производители аэрокосмической отрасли используют АП для создания крупномасштабных и сложных деталей самолетов короткими партиями. Чтобы помочь этому, стартапы предлагают решения для 3D-печати, которые поддерживают высокую точность и сложные структуры. Это позволяет производителям самолетов создавать индивидуальные компоненты без повторяющихся затрат на переоснащение. Кроме того, использование пластиковых напечатанных деталей облегчает самолет и снижает расход топлива, снижая воздействие отрасли на окружающую среду.

Additive America — американский стартап, предлагающий цифровое производство для аэрокосмических компаний. Стартап позволяет производителям и дизайнерам отправлять цифровые модели компонентов для изучения затрат на производство или прототипирование. После утверждения дизайна компания печатает детали на 3D-принтере и доставляет их своим клиентам.

6. Здравоохранение

Медицинская промышленность использует АП для предоставления персонализированной медицинской помощи пациентам и разработки медицинских устройств, ускоряя производство и окупаемость капитальных затрат. Это позволяет производителям медицинского оборудования снизить риски в цепочках поставок и децентрализовать производство. Кроме того, производители и поставщики медицинских услуг могут адаптировать имплантаты, протезы и ортопедические изделия в соответствии с требованиями пациента, что повышает эффективность лечения. Стартапы также разрабатывают анатомические модели, чтобы лучше разрабатывать хирургические стратегии.

Prescrib3d Technologies — американский стартап, который разрабатывает медицинские имплантаты, напечатанные на 3D-принтере, для настраиваемой доставки противомикробных препаратов. Запатентованные внутренние каналы стартапа позволяют врачам доставлять антибиотики непосредственно в инфицированные ткани. В отличие от обычных спейсеров из полиметилметакрилата (ПММА), спейсер Prescrib3d Technologies Selective Targeted Therapeutic Release обеспечивает постоянную концентрацию антибиотиков в окружающих тканях. В результате сокращается время выздоровления пациентов с инфекциями, связанными с заменой сустава.

7. Автомобильная промышленность

Аддитивное производство автомобильных компонентов облегчает и массовую индивидуализацию. К ним относятся среди прочего АП деталей двигателя, корпусов аккумуляторов, систем охлаждения и теплообменников.

Stelna Designs — индийский стартап, который обеспечивает мелкосерийное производство для автомобильных компаний. Стартап использует АП, чтобы снизить высокие капитальные затраты, связанные с короткими производственными циклами. Кроме того, использование услуг Stelna Designs позволяет автопроизводителям избежать переоснащения, ускорить создание прототипов и расширить поддержку выпуска устаревших деталей.

8. Чистые технологии

В отличие от традиционных производственных процессов, АП значительно снижает потери материала во

время производства. Кроме того, 3D-принтеры заменяют многочисленное оборудование на производственных линиях и имеют компьютеризированное управление. Это снижает выбросы углекислого газа от производственных операций. Кроме того, стартапы используют АП для повторного использования выброшенных материалов, включая органические отходы.

f3nice — итальянский стартап, предлагающий переработанные порошки из дорогостоящих материалов для АП. Порошки f3nice доступны в различных размерах.

9. Индустрия 4.0

Интеграция промышленной 3D-печати с другими технологиями Индустрии 4.0 позволяет автоматизировать производственные линии. Для достижения этой цели стартапы предлагают комплексные рабочие процессы 3D-печати, которые легко интегрируются в производственные предприятия. Это позволяет производителям запускать производственные циклы с минимальным вмешательством. Кроме того, это повышает гибкость производственных процессов и позволяет производить продукцию по требованию.

AM-Flow — голландский стартап, предлагающий автоматизированную экосистему промышленной 3D-печати. AM-Flow сочетает в себе цифровое производство, автоматическую сортировку, роботизированную обработку деталей и автономных мобильных роботов, которые позволяют производителям автоматизировать все производственные процессы и интегрировать принципы бережливого производства.

10. Энергия

Новые концепции турбин для повышения энергоэффективности требуют сложных компонентов из особых материалов и геометрии. Кроме того, длительный срок ремонта компонентов энергетической отрасли увеличивает время простоев. Чтобы решить эту проблему, энергетические компании используют 3D-печать. Достижения в этой области улучшают контроль точности, точность размеров и структурную целостность печатных компонентов.

WAAM3D — британский стартап, разрабатывающий RoboWAAM — систему 3D-печати проволокой дугой. Он сочетает в себе среди прочего 3D-принтер, датчики, встроенную систему очистки дыма и автоматическую очистку среды осаждения. RoboWAAM также оснащен концевыми эффекторами, которые работают как сварочная горелка, и обеспечивают возможность локального экранирования, защищая реактивные материалы от окисления. Другое решение стартапа, Shapetech, использует интерферометрическую технологию для предоставления геометрических данных в реальном времени, что позволяет лучше контролировать процесс.

Согласно исследованиям маркетингового агентства Research and Markets, мировой рынок услуг 3D-печати вырастет с \$4,98 млрд в 2022 году до \$6,11 млрд в 2023 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 22,7% и до \$12,39 млрд в 2027 году при среднегодовом темпе роста 19,3%. Он включает в себя доходы, полученные организациями за счет быстрого создания моделей продуктов, прототипов и конечных продуктов. Основными предложениями услуг 3D-печати являются оснастка, производство деталей, услуги программного обеспечения, обслуживание систем, экспертное обслуживание.

Рынок услуг 3D-печати в России также быстро растет. Согласно классификации Клуба производителей Московской школы управления «СКОЛКОВО», они осуществляются на базе многоматериальных полнофункциональных центров замкнутого цикла (ЦАП), производственных студий для решения специфических задач и медицинских студий, ферм с однотипными 3D-принтерами для полимерных или композитных изделий, кластеров (производственных организаций в группах по территориальному признаку).

Услуги в сфере аддитивных



СПИН – центр производства, специализирующийся на печати металлами, полимерами и керамикой, а также цифровой метрологии и реверс-инжиниринге.

ООО «СПИН»

📍 127434, г. Москва, Дмитровское шоссе, 9, стр. 3/1

☎ +7 499 213 49 20
☎ +7 999 995 49 20

спин.рф



Центр аддитивного производства в Москве с доставкой по всей России. Специализация – инженерная FDM- и SLA-печать, 3D-сканирование любой сложности.

АО «Глобатэк»

📍 г. Москва, Варшавское шоссе, 42

☎ +7 495 646-15-33

globatek.ru



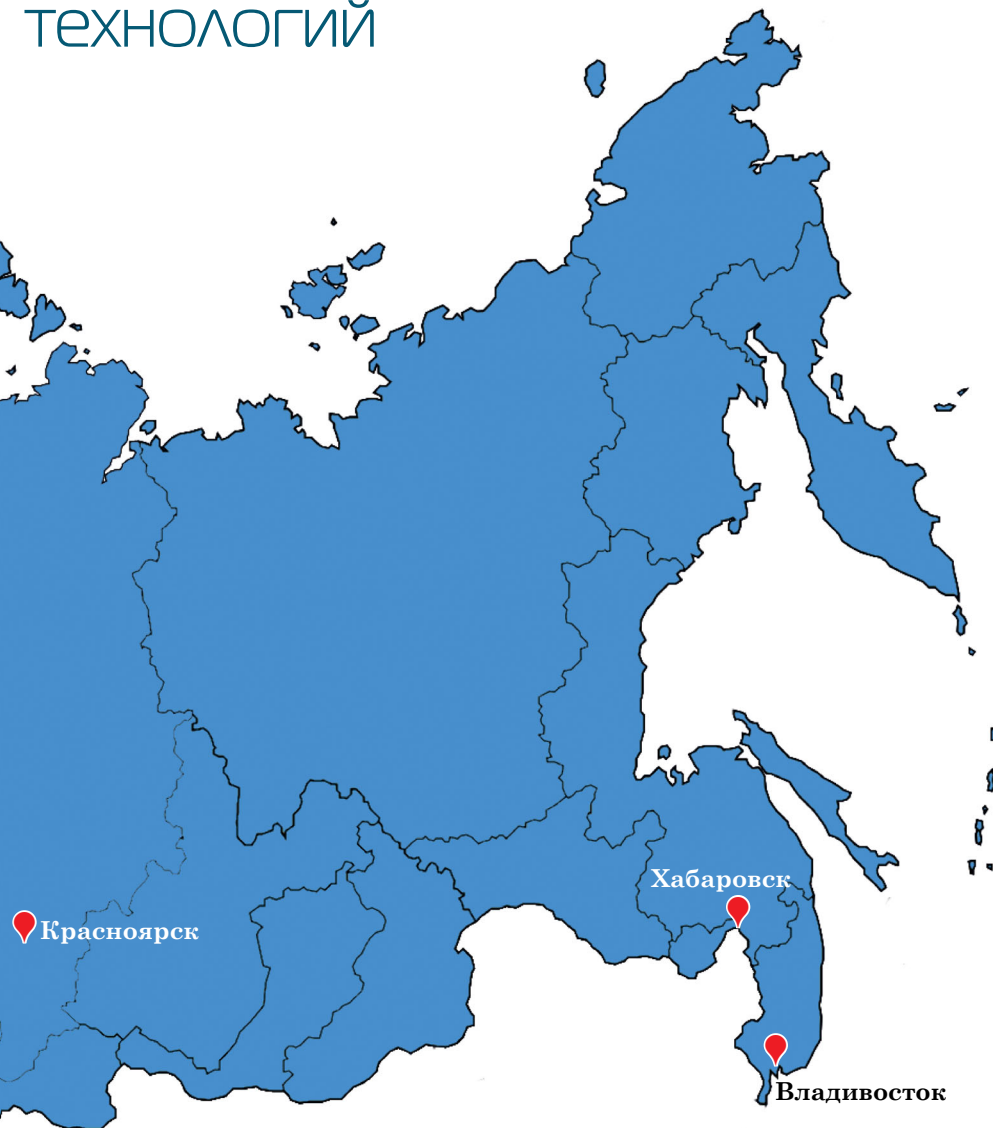
Изготовление пластиковых, резиновых и металлических деталей. 3D-печать прототипов и макетов различными технологиями. 3D-моделирование. Высокоточное и художественное 3D-сканирование, реверс-инжиниринг. Промышленное литье деталей различными партиями.

3D-Shop Center

📍 г. Рязань, ул. Каширина, стр. 1Б (РИНТЦ, «Точка Кипения», подъезд 1, этаж 5, офис 504)

☎ +7 920 981-74-41

print3dmodel.ru



ГОРИЗОНТ ПОКРЫТИЙ

3D-печать металлами (технология SLM) изделий «под ключ». Цифровой реинжиниринг изделий клиентов под АТ. Комплексный реверс-инжиниринг (включая организацию выпуска изделий-двойников). Производство, сервис и технологическое сопровождение мобильных комплексов 3D-печати.

ООО «Горизонт покрытий»

📍 121205, г. Москва, территория ИЦ «Сколково», Большой бульвар, 30, стр.1

☎ +7 (495) 107-01-30

hcoatings.ru

F2 innovations

Компания серийно производит промышленные полимерные 3D-принтеры. Крупногабаритная печать высокотемпературных функциональных изделий и оснастки. Полный цикл производства в РФ.

F2 innovations

📍 г. Пермь,
ул. Академика Королева, 21Д

☎ +7 (342) 219-87-09

f2innovations.ru



Разработчик и производитель фотополимеров в ассортименте (хоббийных, профессиональных, специальных и промышленных смол), фотополимерных 3D-принтеров; обучение (лицензия), печать на заказ, реинжиниринг импортных смол, керамика, пресс-формы из фотополимеров, цифровая стоматология.

«3 D Аддитивные Технологии» НПП ООО

📍 г. Нижний Новгород

☎ +7 (800) 511-65-04,
+7 (921) 964-72-26

3dresin.ru, gorkyliquid.ru
kprint.tech, itu@3dresin.ru



ГДЕ БУДУЩЕЕ ОБРЕТАЕТ ФОРМУ

Поставка, интеграция промышленных 3D-решений. Собственный центр аддитивного производства. Промышленная 3D-печать металлом, полиамидом, керамикой, фотополимером, пластиком и воском, 3D-моделирование и сканирование, услуги инжиниринга и обучение.

АО «НПО СИСТЕМ»

📍 123376, г. Москва, Волгоградский проспект, 42, строение 24

☎ +7 (495) 374-60-07

www.siusystem.ru

Мобильные комплексы аддитивного производства: обзор рынка, опыт внедрения, концепция мобильной фабрики



Андрей Берюхов, к.т.н., директор бизнес-направления «Аддитивное производство» ООО «Горизонт покрытий», <https://hcoatings.ru/>

В настоящее время уровень развития рынка оборудования для 3D-печати и его компонентов позволяет участникам данного рыночного сегмента предложить клиентам продукт, максимально отвечающий самым высоким запросам и требованиям. С другой стороны, в современных условиях эксплуатации различных технических систем остро встают вопросы осуществления их оперативного ремонта и сокращения времени простоя, в том числе в условиях нарушения логистических цепочек поставок комплектующих и запчастей. Технологии аддитивного производства (АП) позволяют гибко и оперативно реагировать на запросы ремонтных подразделений в части как изготовления запасных частей, так и непосредственно ремонта изношенных или

поврежденных деталей и узлов. Кроме того, в случае оснащения участков аддитивного производства современным оборудованием для 3D-сканирования, программными комплексами для обработки результатов измерений, а также цифровыми решениями в области управления жизненным циклом изделий, они могут выполнять функцию подразделений реверс-инжиниринга.

ИМЕЮЩИЕСЯ В НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ НА РЫНКЕ ПРОДУКТЫ В СЕГМЕНТЕ МОБИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНО РАСШИРЯЮТ СПЕКТР ПРИМЕНЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ И 3D-СКАНИРОВАНИЯ.

Таблица 1. Анализ зарубежных и российских продуктов в области мобильных комплексов АП

№ п/п	Наименование	Компания	Страна	Технологии 3D-печати/оснащение
1	FlexCare System	AddUp Group	Франция	SLM / DED (DMD)
2	Additive Mobile Factory	Fraunhofer IAPT	Германия	WAAM+ЧПУ (фрезерование)
3	Fusion Factory XS	XERION Berlin Laboratories GmbH	Германия	FDM/FFF/Metal FDM
4	Mobile Repair Factory	METROM Mechatronische Maschinen GmbH	Германия	WAAM/LMD-W + ЧПУ (фрезерование) + 3D-сканер
5	Mobile Smart Factory	Rheinmetall Landsysteme GmbH	Германия	WAAM+ЧПУ (фрезерование)+FDM/FFF
6	XSPEE3D	SPEE3D	Австралия	Cold Spray
7	Phillips Additive Hybrid*	Phillips Corp. /Meltio	США / Испания	DED (LMD-W) + ЧПУ (фрезерование)
8	Мобильный комплекс «Плакарт»	АО «Плакарт»	Россия	HVOF (наплавка)
9	3D-принтер «Муромец»*	ООО «Импринта»	Россия	FDM/FFF
10	«МАРПАК-П»	Госкорпорация «Росатом»	Россия	FDM/FFF
11	Комплекс аддитивного производства КАП-АМ (П)	ООО «Горизонт покрытий»	Россия	FDM/FFF + ЧПУ (фрезерование)

* Примечание: не является самостоятельным комплексом, а входит в состав существующего мобильного участка по ремонту.

Рис. 1. Комплекс аддитивного производства КАП-АМ (II) производства компании ООО «Горизонт покрытий»



Таблица 2. Основные характеристики комплекса КАП-АМ (II)

№ п/п	Параметр	Значение
1	Габариты (тип, Д×Ш×В), мм	Тип КК 6.2.31 (6058×2438×2250)
2	Вес, кг	4100
3		Оснащение
3.1	Отсек тамбура	<ul style="list-style-type: none"> • мойка технологическая, • мойка для рук, • генератор дизельный 8,5 кВт, • блок АКБ 4х190 мАч
3.2	Отсек слесарного участка	<ul style="list-style-type: none"> • станок фрезерный ЧПУ, • станок сверлильный, • станок шлифовальный, • комплект слесарного инструмента, • отопитель автономный
3.3	Отсек 3D-печати	<ul style="list-style-type: none"> • 3D-принтер (зона построения: 450×350×600мм), • АРМ инженера, • 3D-сканер
4	Технология 3D-печати	FDM/FFF (диаметр нити: 1,75 мм)
	Типы материалов для 3D-печати	ABS, PETG, TPU, TPPE, SEBS, PP+, PA6+GF30, ABS+CF15, PEEK, PEKK

Рис. 2. Отсек тамбура комплекса КАП-АМ (II)



Рис. 3 и 4. Отсек слесарного участка комплекса КАП-АМ (II)



Рис. 5. Отсек 3D-печати и сканирования комплекса КАП-АМ (II)



Мобильные комплексы аддитивного производства позволяют реализовать следующие ключевые преимущества:

- Автономность — возможность оперативного развертывания в труднодоступных и удаленных местах в условиях отсутствия инфраструктуры (энергосетей, коммуникаций и т.п.).
- Мобильность — адаптированность к транспортировке любыми видами транспорта (авто, ж/д, корабли, авиация).
- Гибкость — возможность изготовления широкой номенклатуры деталей и запчастей в сжатые сроки (в том числе в условиях отсутствия КД).
- Модульность — использование принципа унификации платформы для формирования комплексного сквозного технологического цикла под индивидуальные запросы клиента с учетом уже имеющихся в его распоряжении производственных и инфраструктурных ресурсов.

Анализ зарубежного рынка мобильных комплексов аддитивного производства (таблица 1) показывает наиболее широкое применение технологий 3D-печати металлами (технологии WAAM, LMD-W (DED-W), Cold Spray) с преимущественным использованием проволочных материалов (WAAM, DED-W) по сравнению с технологическими решениями на базе металл-порошковых композиций (LB-PBF (SLM), DMD). Кроме того, в отдельных случаях (Mobile Smart Factory (Германия), Additive Mobile Factory (Германия), Phillips Additive Hybrid (США/Испания), используется концепция гибридных производственных центров (объединение модуля 3D-печати и механической постобработки в одной установке). Также за рубежом отмечается тенденция применения в мобильных комплексах АП серийно выпускающегося аддитивного оборудования.

Текущий российский опыт создания мобильных комплексов (таблица 1) в основном сосредоточен в области технологий 3D-печати полимерными материалами

и композитами (FDM/FFF). Кроме того, в отличие от зарубежных, отечественные разработчики аналогичных систем разрабатывают такие комплексы как самостоятельное техническое решение без привязки к конкретным производителям оборудования для 3D-печати.

Например, разработанное в ООО «Горизонт покрытий» решение для мобильного аддитивного производства полимерными материалами (КАП-АМ (П) – комплекс аддитивного производства – автономный мобильный (для изделий из полимерных материалов) в настоящий момент проходит этап опытной эксплуатации в реальных условиях (рис. 1–5, таблица 2).

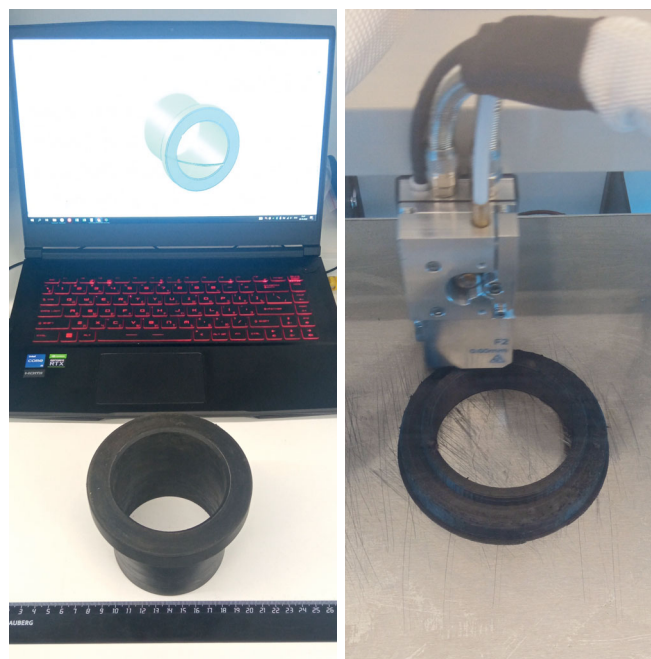
При эксплуатации комплекса службой ремонта грузового и специального автомобильного транспорта осуществлен ряд работ по изготовлению деталей к технике как по КД завода-изготовителя, так и в рамках работ по реверс-инжинирингу (рис. 6). Например, в рамках ремонта тележки подвески автомобиля «Урал-532362» был использован композитный материал REC PA6-GF30 (полиамид, армированный 30% углеволокном). Процесс печати составил 4 часа, а весь процесс от поступления образца на участок сканирования до установки готового изделия в автомобиль занял менее 12 часов.

Опыт эксплуатации мобильных комплексов АП позволяет говорить об успешном внедрении таких решений как для выполнения ремонтных работ, так и в рамках производственных циклов изготовления новых деталей. Дальнейшее развитие этого направления в России видится в разработке решений для внедрения технологий 3D-печати металлами в рамках мобильных ремонтно-производственных участков. Это будет требовать не только создания специальных версий технологического оборудования для 3D-печати (в первую очередь использующих проволоочные материалы в качестве сырья), но и разработку оборудования для вспомогательных циклов постобработки напечатанных заготовок (термообработка, нанесение покрытий, механическая обработка), а также специальных мобильных модулей обеспечения электроэнергией, техническими газами и т.п.

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ПОЗВОЛЯЕТ МАКСИМАЛЬНО ОПЕРАТИВНО И ГИБКО АДАПТИРОВАТЬ КОМПЛЕКС ПОД РЕШЕНИЕ КОНКРЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ И ЗАПРОСЫ КЛИЕНТА В КАЖДОМ КОНКРЕТНОМ МЕСТЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ С УЧЕТОМ ИМЕЮЩЕЙСЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ, МАКСИМАЛЬНО РЕАЛИЗУЯ ПОТЕНЦИАЛ В ЧАСТИ АВТОНОМНОСТИ.

Мы называем данную концепцию «мобильной фабрикой», схема которой представлена на рис. 7. В рам-

Рис. 6. Процесс реверс-инжиниринга втулки тележки подвески а/м «Урал-532362»



Создание 3D-модели

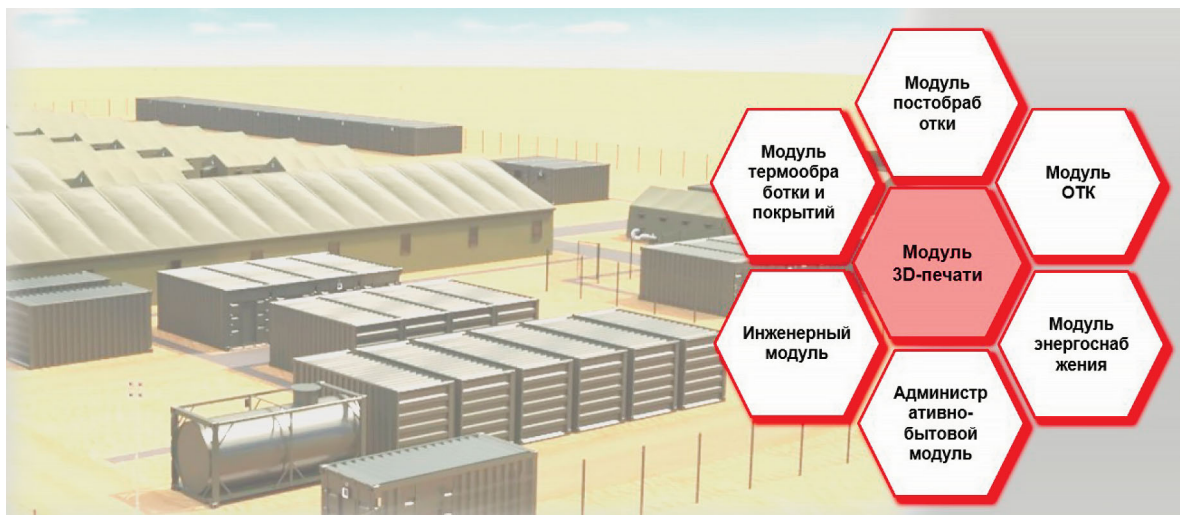
Процесс 3D-печати



Напечатанная заготовка (слева)

ках ее развития наша компания в настоящий момент разрабатывает модуль реверс-инжиниринга, который будет дополнять комплекс КАП-АМ (П) в части обеспечения работ по выпуску цифровых моделей изделий, которые необходимо изготовить (или отремонтировать) в процессе эксплуатации комплекса аддитивного производства. Данное технологическое решение также имеет в своей основе модульный принцип, способно интегрироваться в состав уже работающих компонентов «мобильной фабрики» и позволяет дополнять участки 3D-печати функциями 3D-сканирования и контактными способами анализа геометрии деталей там, где это требует ситуация или запрос клиента. Модуль имеет уменьшенные (по сравнению с КАП-АМ) габариты и массу (имеет форм-фактор 10-ти футового морского контейнера), оборудован необходимыми системами обеспечения автономности (генераторная установка, установка отопления, кондиционирования

Рис. 7. Принцип «мобильной фабрики» аддитивного производства



и вентиляции), а также располагает необходимыми средствами контроля геометрических характеристик изделий (стационарный и ручной 3D-сканеры, портативный КИМ, набор ручного измерительного инструмента). Кроме того, модуль оборудован FDM/FFF 3D-принтером, работающим с низкотемпературными пластиками, что позволяет выполнять работы по прототипированию изделий в процессе их копирования (реверсирования).

Резюмируя, можно отметить следующие аспекты такого направления развития отрасли аддитивных технологий, как мобильные комплексы АП:

1. Иностранные участники рынка в вопросе развития продуктов по направлению мобильных аддитивных комплексов идут по пути создания решений для 3D-печати металлами. При этом технологии печати полимерными материалами (FDM/FFF) также используются в составе предлагаемых решений как вспомогательные (быстрое прототипирование, изготовление оснастки и т.п.). Отечественный рынок в данном направлении в подавляющем большинстве представлен технологией FDM/FFF (ввиду отсутствия в настоящий момент отечественного оборудования для 3D-печати металлическими материалами, которое может быть адаптировано под эксплуатацию в мобильном варианте).

2. Мировая практика развития аддитивных мобильных решений для 3D-печати металлами показывает, что разработки ведутся в области преимущественного использования технологий на базе проволоочных материалов (DED-W: WAAM/LMD-W). Технологии, использующие в качестве исходного сырья металлические порошковые материалы, плохо адаптируются под использование в условиях мобильных комплексов в виду особенностей конструкции технологического оборудования (для технологии SLM/СЛП) или сложностей с хранением, рециклингом и утилизацией использованных порошков (DED-P: DMD/ПЛВ).

3. В рамках развития направления мобильных технологических комплексов для металлической 3D-печати необходимо обеспечивать создание «экосистемы» (в формате концепции «мобильной фабрики»), которая кроме непосредственно участка 3D-печати включает в себя отдельные технологические модули термической обработки, нанесения защитных покрытий, механической постобработки, решения по энергоснабжению (электроэнергия, технологические газы) и т.д. Компоненты такой сложноорганизованной системы должны разрабатываться с использованием модульного принципа для обеспечения максимальной гибкости технологического решения.

4. Отечественным разработчикам мобильных решений для аддитивного производства следует обратить внимание на активацию работ по разработке отечественного аддитивного оборудования, работающего по технологиям проволоочной наплавки (особенно с использованием лазерного источника энергии: LMD-W) как наиболее адаптированного к использованию в мобильном варианте. Кроме того, технологии на базе принципа прямого подвода энергии (DED-W: WAAM, LMD-W), в отличие от технологий, основанных на принципе синтеза на подложке (PBF: SLM/СЛП, EBM), могут применяться как для изготовления (выращивания) заготовок, так и для выполнения ремонтных работ (наплавка на поврежденные или изношенные участки деталей).

5. В целях успешного функционирования мобильных комплексов в отрыве от классических технологических центров также важно обратить внимание на разработку IT-решений для обеспечения связи «мобильный комплекс — группа конструкторско-технологического сопровождения», что будет способствовать снижению требований к персоналу, непосредственно эксплуатирующему комплексы на местах, а также обеспечивать стабильный процесс изготовления аддитивных деталей и компонентов с заданными механическими характеристиками, геометрической точностью и другими показателями качества, предъявляемыми к изделию. ■

3D-печать в строительстве: тенденции и перспективы развития

Татьяна Карпова



Михаил Родин,
ООО «НПО
«3D-Интерграция»



Дмитрий Трубашевский,
основатель бренда
«Логика слоя»



Павел Биленко,
ООО «Диджикай»



Александр Маслов,
ООО «АМТ»

9 и 10 октября 2023 года в Москве прошел двухдневный «Форум аддитивных технологий & 3D-решений INDUSTRY3D», организованный компанией ООО «НПО «3D-Интерграция». Его основной целью было предоставление деловой площадки для обсуждения вопросов, связанных с развитием аддитивных технологий и 3D-решений, обмен мнениями о последних инновациях, технологических разработках и исследованиях в сфере аддитивного производства.

В подготовке деловой программы Форума деятельное участие приняли генеральный директор ООО «НПО «3D-Интерграция» **Михаил Родин**, основатель бренда «Логика слоя» **Дмитрий Трубашевский**, генеральный директор ООО «Диджикай» **Павел Биленко**.

В данной статье хочется рассказать об одной из сессий, посвященной развитию 3D-печати в строительной отрасли. Ее организатором и модератором выступил Павел Биленко, который и сам подготовил многочисленные вопросы, и построил активный диалог докладчиков с залом. Говорили о прошлом и будущем 3D-печати в строительстве, возможностях технологии для создания многоэтажных зданий и городской застройки, о преимуществах, возможностях, барьерах, господдержке и др.

С программным докладом о становлении отрасли и перспективах ее развития выступил **Александр Маслов**, генеральный директор компании «АМТ», один из пионеров, стоявших у истоков ее развития.

Компания «АМТ» с 2015 года занимается производством строительных 3D-принтеров. На текущий момент это единственная компания в России, которая наладила серийное производство. Выпускаются 11 модификаций оборудования под различные цели и задачи покупателей. На текущий момент продано более 280 принтеров в 18 стран мира. Компанией получены сертификаты Таможенного союза и Евросоюза на всю линейку принтеров.

За последние годы применение 3D-печати уже прочно укрепилось в строительстве и используется при создании зданий и сооружений инфраструктуры, в т. ч. малых объектов (вазоны, скамейки, заборы и др.). Особенный практический интерес представляет печать малоэтажных зданий непосредственно на фундаменте, что позволяет существенно сократить сроки строительства, минимизировать влияние человеческого фактора, уменьшить себестоимость строительного производства.

Если говорить о принтерах, они делятся на цеховые и полевые. Цеховые предназначены для печати в условиях цеха малых архитектурных форм (МАФ), элементов зданий и сооружений, элементов ландшафтного дизайна, а также для более крупных объектов площадью до 55 кв. м. Строительство домов по префаб-технологии — это практика сборки различных элементов конструкции на производственной (фабричной) площадке и транспортировки этих объектов на строительную площадку. По технологии префабов компанией «АМТ» было напечатано несколько знаковых объектов, в том числе первый жилой дом, который находится под Ярославлем, летний павильон и другие.

Полевые строительные принтеры (в линейке АМТ это принтеры серии 300 и 500) предназначены для печати зданий на фундаменте (рис. 1). На текущий момент уже

Рис. 1. 3D-принтер АМТ в работе.
Фото: ООО «АМТ»



Рис. 2. База отдыха в станции Должанская под Ейском.
Фото: ООО «АМТ»



Роман Павленко,
ООО «ЗД Арт»



Арте́м Давидюк,
KTE Beton Group

несколько строительных компаний в России, приобретя оборудование для полевой печати, начали строить поточно сразу по несколько домов на одной строительной площадке. Случилось то, чего давно ждали, — массовое строительство с помощью 3D-строительных принтеров. Показательной застройкой в этом году стала база отдыха в станции Должанская под Ейском, 4000 кв. метров были напечатаны за 8 месяцев (рис. 2).

Одним из барьеров для дальнейшего развития 3D-печати является отсутствие национальных стандартов для промышленных объектов и многоэтажных зданий. Первые строительные стандарты для аддитивного производства в России были разработаны НИУ МГСУ, среди них: «Материалы строительного производства. Термины и определения», «Материалы для аддитивного строительного производства. Технические требования», «Материалы аддитивного строительного производства. Методы испытаний», «Аддитивные технологии. Применение трехмерной печати (3D-печать) в строительстве. Общие требования». Работа продолжается.

Отвечая на вопросы модератора о замене на 3D-печатать других технологий, Александр Маслов отметил, что, несмотря на такие преимущества, как высокая скорость, технологичность, исключение человеческого фактора, точность, 3D-печать — это только один из инструментов, а не панацея. Кроме того, у людей остаются предпочтения и свобода выбора, иметь ли деревянный, щитовой, кирпичный или другой дом.

Впечатляющие примеры сооружений, выполненных посредством 3D-печати, привел в докладе **Роман Павленко**, генеральный директор ООО «ЗД Арт», выбрав тему «напечатанных городов».

Уже сейчас компания работает над проектом массовой застройки с использованием аддитивных строительных технологий. Его основная идея — напечатать город на 15 тысяч жителей. Сейчас у компании выполняется заказ на строительство общественно-культурного центра «Мальбагуш» в Татарстане площадью более 1,6 тыс. кв. метров, с высотой стен 10 м. Двухэтажное здание центра включает творческую мастерскую, вокальную и театральную студии, хореографический класс, выставочное пространство, концертный зал на 199 посадочных мест, обеденную зону и зону отдыха. Здание оснащено современным звуковым и световым оборудованием. В процессе работы осуществляются: локализация производства материалов, тестирование и сертификация решений, доработка оборудования, процесс 3D-печати несколькими принтерами.

Другой впечатляющий пилотный проект — «Лигнинград» в Байкальске — реализуется совместно с правительством Иркутской области. Это 3D-печать улицы Байкальский Арбат из отходов Байкальского ЦБК. А отходы немалые — 6,5 млн тонн рядом с озером Байкал, зола уноса — 3 млн тонн, лигнин — 300 тыс. тонн. Задачи проекта: утилизация отходов Байкальского ЦБК, развитие туристической инфраструктуры, обеспечение рабочих мест малому бизнесу, экспорт технологий и материалов.

Среди ранее выполненных проектов компании есть очень оригинальные решения: «Дом Кот», «Дом Слон», дом за полярным кругом и др.

Также Роман Павленко отметил, что развивается и направление отделки напечатанных зданий, в частности, привел примеры использования декоративного бетона, создания структурной поверхности стен и даже применение светопропускающего 3D-бетона.

Сравнивая традиционную застройку и 3D-печать, докладчик отметил, что в первом случае существуют такие особенности технологий, как взаимоисключающие скорость или качество, однообразность, человеческий фактор. 3D-строительное производство обеспечивает персонализацию зданий, скорость не в ущерб качеству, вовлечение малого бизнеса, высокотехнологичные рабочие места.

Тема материалов нашла отражение и в докладе **Артема Давидюка**, председателя Клуба строителей «Сколково», генерального директора группы компаний КТБ. Он рассказал о применении ультралегких бетонов на пеностеклогранулятах (ПСГ).

Основные преимущества ПСГ: низкая теплопроводность, негорючесть, простота монтажа изделий на его основе, высокая прочность при малом весе (до 7,5 МПа), не впитывает влагу, экологичность, биостойкость, отсутствие токсичных выделений при эксплуатации, долговечность. Преимущества энергоэффективного бетона на ПСГ в аддитивных технологиях: отсутствие необходимости в дополнительном утеплении



*Вадим Тарасов,
ООО «РВС 3Д»*



*Алексей Розов,
ООО «Лерто»*



*Олег Кротов,
СПБПУ*



*Алексей Гагулаев,
ООО «ВЕФТ»*

ограждающих конструкций (однослойная конструкция); расширение материальной базы для аддитивных технологий; регулируемые сроки схватывания цементного теста; высокая межслойная адгезия; отсутствие «холодных» швов между слоями; самоуплотняющийся бетон (СУБ).

Сфера самого заполнителя ПСГ не ограничивается применением в конструкциях из ультралегкого бетона (панели, модули, блоки, растворы для 3D-печати), но и может применяться в качестве засыпной тепло- и звукоизоляции.

По мнению докладчика, технология 3D-печати строительных объектов — прогрессивная, прорывная. Конечно, есть масса ограничений: по расстоянию до места, куда головка принтера может добраться, по геометрии, по ширине, есть проблемы с материалами, но эволюция происходит, и со временем появятся нужные материалы, увеличится этажность зданий, с помощью 3D-печати будут выполняться не только стены, но и возводиться крыша. Ручной труд будет минимизирован. Префаб-технология Артем Давидюк считает трендом рынка.

О преимуществах префаб-технологии говорили и представитель ООО «РВС 3Д» **Вадим Тарасов**, технический директор ООО «Лерто» **Алексей Розов**, руководитель стартапа «Принтбилд» **Олег Кротов**. Алексей даже сравнил печать в поле с растениеводством в открытом грунте: под солнцем, дождем, с заморозками. Кроме того, выезд на объект всегда связан с удлинением сроков. И в этих компаниях сделали ставку на соответствующее оборудование. ООО «РВС 3Д» с 2020 года разрабатывает аппаратное и программное обеспечение, строительные материалы для 3D-печати из бетона.

ООО «Лерто» разработало и предлагает на рынок строительный 3D-принтер на основе SCARA-кинематики, стараясь сделать технологию доступнее и эффективнее. Интересным решением является проточный бетоносмеситель-экструдер, разработанный совместно ООО «РВС 3Д» и Алексеем Розовым. Это простое устройство затворяет сухую смесь с водой непосредственно в носике перед выдавливанием и высокоточно выдавливает через сопло, затрачивая минимум энергии.

Разработка стартапа «Принтбилд» — строительный 3D-принтер «Портал-М», который позволяет печатать МАФы и элементы здания сразу на месте их дальнейшего использования. Среди проектов компании на ближайшее время запланирована 3D-печать МАФов для бизнес-центра в Москве и двух кампусов в Санкт-Петербурге.

Продукцию ООО «ВЕФТ» представил заместитель генерального директора компании **Алексей Гагулаев**. Серийно для 3D-печати предприятием выпускается строительная бетонная смесь P69 3d print «МОНОЛИТ». Также осуществляется разработка и поставка материалов с заданными индивидуально техническими характеристиками, создание рецептур на сырьевых компонентах конкретного региона, толлинг — переработка сырья с последующим вывозом готовой продукции.

В качестве заключения хочется упомянуть, что по результатам опросов порядка 70 % жителей страны хотели бы жить не в «человейнике», а в частном доме. Все больше строительных компаний привлекают 3D-печать в свое производство, растет количество производителей 3D-оборудования (хотя, по общему мнению, крупных компаний в России около 10, а мире — около 60), разрабатываются и апробируются

новые материалы, оборудование и софт, проектируются объекты промышленного назначения. Любая технология требует периода обкатки. Год от года технология 3D-печати в строительстве становится проще, быстрее, точнее. ■

*Участники сессии
«3D-печать в строительстве»*



При поддержке:

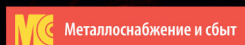


07-10 НОЯБРЯ 2023
МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Место проведения:



Генеральный
информационный партнер:



Оборудование и технологии
для металлургии
и металлообработки
МеталлургМаш'2023



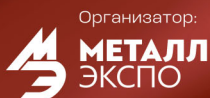
Металлопродукция
и металлоконструкции
для строительной отрасли
МеталлСтройФорум'2023



Транспортные
и логистические услуги
для предприятий ГМК
МеталлТрансЛогистик'2023

**29-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ПРОМЫШЛЕННАЯ
ВЫСТАВКА**

МЕТАЛЛ ЭКСПО 2023



Организатор:

12+

Оргкомитет выставки: тел./факс +7 (495) 734-99-66

www.metal-expo.ru

3D-печать в последние годы развивается особенно быстрыми темпами. Кажется, совсем скоро каждое металлическое и пластмассовое изделие, необходимое нам в повседневном обиходе, будет выходить из камеры 3D-принтера. Но пока это только мечты футурологов, а аддитивное производство не собирается полностью заменять традиционное. Его миссия в том, чтобы дополнить классический способ изготовления металлических изделий в некоторых отраслях промышленности, улучшая их характеристики. В этой статье рассказываем об отрасли, где аддитивное производство показывает себя наиболее ярко, — авиастроении.

Немного статистики

Аэрокосмическая промышленность стала одной из первых отраслей, внедривших аддитивные технологии. До сих пор именно эта отрасль вносит наибольший вклад в развитие аддитивного направления. По данным исследования Allied Market Research, в 2020 году мировой рынок 3D-печати в этой индустрии оценивался в 1,38 миллиардов долларов и по прогнозам к 2030 году должен достигнуть 6,8 миллиардов долларов. Рост обусловлен увеличением спроса на авиаперевозки, которые ускоренными темпами возрождаются после пандемии. По данным Международной ассоциации воздушного транспорта (IATA), в 2022 году авиаперевозки выросли на 64,4% в сравнении с 2021 годом. Другими драйверами рынка становятся высокий спрос на строительство новых самолётов и растущие потребности в авиакомплекующих, что особенно актуально для России в связи с курсом на импортозамещение. Сейчас в нашей стране активно развивается производство лайнеров MC-21 и Sukhoi Superjet 100, двигатели которых содержат аддитивные изделия.

Как и что печатается

Для производства авиалайнеров используются изделия из металла и пластика. К сожалению, времена, когда мы сможем напечатать на 3D-принтере целый самолет, ещё далеко, но уже сейчас производится несколько десятков тысяч видов деталей для различных систем авиалайнера. Металлические изделия печатаются по технологии SLM (Selective Laser Melting), или селективное лазерное сплавление. Частицы металлического порошка сплавляются между собой мощным лазе-

ром, слой за слоем, формируя будущую деталь. В этом процессе практически нет ограничений — 3D-принтер может напечатать изделие абсолютно любой формы и дизайна. При проектировании 3D-модели инженеры определяют возможные риски — места, где впоследствии могут образоваться дефекты, и моделируют её таким образом, чтобы избежать появления деформаций. После печати изделие проходит процедуры постобработки. Так, Центр аддитивных технологий «Ростеха» уже печатает сопловые и рабочие лопатки, топливные форсунки, корпуса компрессора и многие другие элементы двигателей (рис. 1–3). Аддитивные детали также выпускаются для салона и других систем жизнеобеспечения самолета. Среди них — воздуховоды, стеновые панели, каркасы сидений и др.

Лёгкость во всём

Одно из главных преимуществ 3D-печати в авиастроении — возможность сократить вес детали. Борьба идёт за каждый килограмм, и все, кто когда-либо летал на самолетах, знают о строгих ограничениях в весе при провозе багажа. С избыточной массой сражаются не только авиакомпании, но и инженеры-конструкторы при проектировании авиалайнера. Чем здесь помогают аддитивные технологии? При проектировании 3D-модели изделия проводится его редизайн под аддитивное производство, когда инженер-конструктор из номинальной геометрии изделия проектирует оптимизированную. В процессе трансформируются некоторые элементы, чтобы изделие напечаталось с наименьшим количеством технологических поддержек и было лишено концентраторов напряжения — мест, где оно может получить дефект. Таким образом, в новом изделии сокращается количество используемого материала, а в сплошных стенках могут появиться отверстия. При этом образец, напечатанный в 3D-принтере, соответствует тем же характеристикам и выполняет те же функции, что и его аналог, изготовленный классическим способом, но вес аддитивного образца может быть до 60% меньше. Снижение веса многих деталей сокращает массу самолёта в целом, что способствует уменьшению расхода топлива в течение всего срока службы авиалайнера, а следовательно, приводит к сокращению выбросов углекислого газа в атмосферу. Это также положительно сказывается на грузоподъёмности, скорости и безопасности воздушного судна.



Рис. 1. Опора переднего подшипника перспективного турбовинтового двигателя



Рис. 2. Корпус первой опоры перспективного двигателя для вертолетов



Рис. 3. Лопатки и секторы перспективного двигателя сверхбольшой тяги

Прочнее, меньше и быстрее

Аддитивное производство адаптивно к любой геометрии. Если при традиционном производстве изделие создается по принципу вычитания — то есть отсечения лишнего материала от основы, то здесь создание изделия происходит путем сложения, материал добавляется слой за слоем. Это позволяет изготавливать детали большей сложности, а значит объединять несколько элементов в один. Благодаря аддитивному производству, снижается количество соединений между деталями, а изделия, изготовленные из цельного куска, более эластичны и меньше подвержены повреждениям. По данным компании EOS количество деталей в некоторых частях авиадвигателей удалось уменьшить с десяти до одного.

Ещё одно положительное свойство аддитивных технологий — высокая скорость производства. 3D-принтер превращает металлический порошок в готовое изделие за несколько часов или суток, в зависимости от размера объекта. Этому предшествует подготовка — создание 3D-модели, редизайн и другие инженерные расчёты. Всего процесс создания аддитивного изделия занимает от двух недель до трёх месяцев. В традиционном производстве процесс подготовки длится гораздо дольше и задействует намного больше человеческих ресурсов. Изготовление оснастки, отработка технологии — всё это требует длительных трудозатрат. Для сравнения: производство корпуса первой опоры компрессора вертолётного двигателя классическим методом занимает полгода, а производство такой же детали аддитивным способом — меньше 4 недель.

А что насчёт прочностных характеристик? Обычно детали, изготовленные с помощью аддитивных техно-

логий, устанавливаются в отделы двигателя, подвергающиеся высокому давлению и температурным нагрузкам. Требования к аэродинамическим и гидродинамическим характеристикам инженер может установить ещё на этапе проектирования 3D-модели. Все изделия тщательно проходят стендовые испытания и не уступают в прочности своим аналогам, изготовленным традиционным методом.

Поговорим о минусах

Главный минус аддитивного производства — высокая стоимость изготовления изделий. В первую очередь она формируется из-за дорогостоящего оборудования и сырья. Металлический порошок, используемый в 3D-печати, всегда дороже в сравнении с материалами для традиционного производства. Для его получения металлический слиток распрыляют, отделяют нужные фракции и упаковывают с учетом определенных требований. Сам 3D-принтер представляет собой сложнейшее высокотехнологичное устройство, а себестоимость составляет несколько миллионов рублей. В связи с вышеперечисленными условиями аддитивное производство не актуально для серийного выпуска деталей с простой геометрией, например, шурупов или винтов. В случае с авиастроением технология подходит идеально, изделие с уменьшенным весом и заданными механическими и прочностными характеристиками можно сделать практически индивидуально под самолет, а всего авиалайнеров не так много. Например, по данным АТОР (Ассоциации туроператоров России) в 2022 году в России был зарегистрирован 1 101 пассажирский самолет. ■

3D-печать в авиастроении. Полетит ли самолет?

Евгений Матвеев, Виктория Ташикина, F2 innovations, <https://f2innovations.ru/>

В настоящее время полимерные аддитивные технологии (АТ) все больше проникают в различные области промышленности, и авиастроение не стало исключением.

Если задать вопрос «можно ли напечатать самолет?» напрямую людям из разных сфер и производителей принтеров по разным технологиям, то можно будет услышать разные ответы. Любители скажут, что на 3D-принтере можно напечатать что угодно и покажут небольшой макет самолета. Профессиональные аддитивщики ответят, что напечатать можно, но не полностью или только составные части (отдельно фюзеляж, отдельно кресла, отдельно систему кондиционирования). Производители промышленных 3D-принтеров скажут, что лучше печатать разные функциональные детали разными технологиями, а иногда лучше напечатать оснастку для изготовления изделия. Промышленники спросят, должен ли самолет полететь. И все будут правы.

Очевидно, что на данный момент нет волшебного 3D-принтера, который может печатать и фюзеляж, и крыло, и двигатель, и внутренние части самолета или вертолета. Однако это не означает, что аддитивным технологиям нечего предложить авиастроению. В данной статье рассмотрим несколько примеров применения полимерных аддитивных технологий и поделимся своими кейсами (компания F2 innovations).

Начнем с зарубежных примеров, так как именно они начали внедрять АТ в устройство самолетов. Польский производитель 3D-принтеров BigRep совместно

Рис. 1. Кресла для самолета, напечатанные BigRep.
Фото: BigRep



с Dassault Systèmes разработал и представил два напечатанных сиденья для самолетов Boeing. Технология позволяет не только экспериментировать с формой и функциональностью сидений, но и сокращает время и затраты на их разработку. Сиденья были разработаны с использованием цифровых решений для обеспечения реального размера и соответствия требованиям. При проектировании и моделировании были учтены ограничения доступного пространства, ожидаемые нагрузки и производственные ограничения, затем разработанные детали были изготовлены с использованием 3D-принтера.

Внедрение аддитивных технологий в авиационную индустрию предоставляет существенные преимущества. Например, использование 3D-печати для создания прототипов сидений позволяет достичь в два раза меньшего веса по сравнению с сиденьями, применяемыми на современных самолетах. Это способствует сокращению веса самолета.

Со временем самолеты подвергаются износу, а также могут получать под действием в результате различных факторов. Традиционные методы замены поврежденных участков фюзеляжа могут быть сложными и затратными процессами. Однако с развитием полимерных аддитивных технологий появляется новая возможность восстановить фюзеляж самолета быстро и эффективно.

Воздушное судно требует надежной и эффективной системы кондиционирования, обеспечивающей комфорт и безопасность для пассажиров и экипажа. С использованием полимерных аддитивных технологий, таких как 3D-печать, компоненты этой системы могут быть изготовлены более эффективно и точно, придавая деталям идеальное соответствие требуемым спецификациям.

Примером применения полимерной аддитивной технологии в производстве компонентов системы кондиционирования может стать использование 3D-печати на принтере F2 Lite (рис. 2а). С помощью данного принтера были напечатаны элементы системы вентиляции и патрубки воздуховода из материала РЕЕК. Полимер РЕЕК обладает такими свойствами, как устойчивость к высоким температурам, агрессивным жидкостям, газам и высокому давлению, а также обладает низким весом, устойчивостью к истиранию и низкой воспламеняемостью.

Рис. 2. Авиационные детали: а) элементы воздуховода, напечатаны из PEEK на F2 Lite, б) корпус редуктора, напечатан из PEEK на F2 Quart. Фото: F2



Изучение и улучшение аэродинамики важно при разработке самолетов. Инженеры исследуют разные дизайны и конфигурации воздушных судов для оптимизации полета. Продувочные испытания моделей прототипов играют ключевую роль в этом процессе. 3D-печать помогает создавать более точные и прочные модели для проверки аэродинамических свойств (рис. 2б). Это позволяет сократить время и затраты на разработку и улучшить общую производительность самолетов.

Внедрение 3D-печатных продувочных моделей прототипов маленького самолета в аэродинамическую трубу является современным подходом к разработке и оптимизации аэродинамических характеристик воздушных судов. Это позволяет инженерам получать более точные и достоверные данные о поведении воздушного потока и оптимизировать дизайн самолета для достижения более высокой эффективности и безопасности полета.

Полимерные аддитивные технологии также применяются для создания композитной оснастки. Композитные материалы обладают высокой прочностью и легкостью, что делает их идеальными для использования в авиационной промышленности. 3D-печать позволяет создавать сложные формы и конструкции из композитных материалов, что упрощает процесс изготовления оснастки и сокращает время ее производства.

При использовании полимерных аддитивных технологий оснастку можно изготавливать путем печати

гранулами, что позволяет сэкономить время и затраты на изготовление. Такой подход также позволяет создавать более сложные формы оснастки, что в свою очередь влияет на качество и производительность.

В процессе производства самолетов используются обтяжные пуансоны. Так, в компании F2 innovations мы напечатали обтяжной пуансон для элемента панели крыла ТУ-214, который был успешно испытан. Также был создан самый большой в России напечатанный на принтере обтяжной пуансон для вытяжки панели фюзеляжа для грузового самолета. Деталь была изготовлена на самом большом полимерном российском (имеет акт по ПП 719) принтере F2 Gigantry и весила более 650 кг при габаритах 1,7×1,7×1,7 м, печать длилась около 100 часов.

Аддитивные технологии активно используются для создания различных беспилотных летательных аппаратов. Одним из примеров являются винты, изготовленные из полимерного композитного материала (ПКМ) с помощью 3D-напечатанной оснастки (рис. 3). Технология изготовления включает несколько этапов: проектирование и печать оснастки, подготовка материалов, нанесение матрицы, формовка и финишная обработка.

Пермский Политех освоил технологию изготовления деталей для беспилотных летательных аппаратов. «На данный момент мы отработали технологию изготовления напечатанной оснастки для изготовления армированного композитного винта БПЛА и отработали

Рис. 3. 3D-печать для создания винтов: прототипы лопасти, напечатанные на F2 Lite (4 штуки), оснастка для выкладки ПКМ, напечатанная на F2 Lite, выложенная композитная деталь из углеткани. Фото: F2



технологии создания угленаполненных винтов. Применение композиционных материалов в этих технологиях позволяет нам добиться большей прочности, меньшего веса и сохранения, эксплуатационных характеристик будущих летательных аппаратов», — комментирует ведущий научный сотрудник НОЦ АКТ ПНИПУ Глеб Шипунов.

Аддитивные технологии не обошли стороной и двигатели, но пока в двигателестроении более активно используется именно печать металлами. В двигателях ПД-14, разработанных для российских пассажирских самолетов, применяется технология SLM (Selective Laser Melting), позволяющая печатать металлические детали, включая лопасти компрессоров и турбин. Это позволяет снизить вес двигателя, повысить его эффективность и экономить материалы. Кроме того, такой подход позволяет быстрее производить запасные детали и снизить время простоя самолетов при ремонте.

Российские производители вертолетов также активно внедряют аддитивные технологии в свои процессы

производства. Одним из примеров является печать редукторов — важных узлов, обеспечивающих передачу крутящего момента в вертолетных двигателях. Такой подход позволяет сократить вес и увеличить прочность редукторов, а также снизить время производства и затраты на создание этого ключевого элемента вертолета.

Применение полимерных аддитивных технологий в авиастроении открывает новые возможности для создания более эффективных, инновационных и экономически выгодных самолетов и вертолетов. Они позволяют сократить время и затраты на производство, улучшить качество и функциональность деталей, а также повысить общую производительность и безопасность воздушных судов. С развитием технологий и снижением стоимости мы можем ожидать еще большего применения аддитивных технологий в авиастроении в ближайшем будущем. ■

Электрические свойства ПЭТГ-пластика после 3D-печати по экструзионной технологии

П.А. Петров^{1*}, Н.С. Шамова², И.А. Чмутин², Б.Ю. Сапрыкин¹

¹ Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

² Технологический центр коллективного пользования АО «Технопарк «Слава», г. Москва, Россия

e-mail *petrov_p@mail.ru

Одним из популярных материалов для экструзионной технологии 3D-печати является полиэтилен-терефталат-гликоль (ПЭТГ; международное обозначение – PETG), модификация полиэтилен-терефталата (ПЭТФ, ПЭТ), получаемая на стадии синтеза добавлением гликоля. ПЭТГ характеризуется уникальным комплексом тепловых, механических, оптических, электрических и других эксплуатационных свойств. Пластик ПЭТ, лежащий в основе ПЭТГ, известен промышленности с XX века. В России полиэтилен-терефталат был получен в 1949 году и назван лавсаном [1]. В настоящее время объемы его производства составляют по разным оценкам не менее 44,3 миллиардов долларов.

Учитывая особенности разработки и производства полимерных материалов, осредненный режим 3D-печати пластика ПЭТГ может быть определен следующими параметрами [2]: температура сопла – 220–260°C, температура рабочей платформы – 75–90°C, скорость печати – 40–60 мм/с. Как правило, эти параметры рассматривают в качестве основных при выборе режима 3D-печати. Отклонения основных параметров от вышеуказанных значений определяются свойствами композиции пластика, соответствующего типу ПЭТГ. Любая композиция пластика ПЭТГ может быть охарактеризована двумя физическими параметрами – молекулярная масса и температура стеклования. Увеличение молеку-

лярной массы композиции приводит к повышению ее температуры стеклования. Температура стеклования может быть определена по результатам ДСК-анализа и для пластика ПЭТГ варьируется от 65 до 85°C. В зависимости от температуры стеклования может меняться и минимальная температура нагрева сопла для 3D-печати. Предел повышения температуры сопла определяется началом деградации полимерного материала [3].

Известно, что для получения качественного изделия, изготовленного по экструзионной аддитивной технологии, необходим не только подбор материала и знание его свойств как до, так и после 3D-печати с учетом эксплуатационных требований, но также и настройка режима 3D-печати. Недостаточно точно заданный режим 3D-печати приводит к формированию дефектов, например, микропустот между соседними слоями. Наличие микропустот является признаком несплошности и приводит к снижению прочности изделия.

Несплошность может быть оценена по изменению электрических свойств полимерного материала изделия – диэлектрической проницаемости. Сделаем предположение что при отсутствии пор в полимерном изделии, диэлектрическая проницаемость материала должна соответствовать значению, характерному для этого же материала, обработанного по технологии литья либо прессования (эталонное значение) [4]. Уменьшение зна-

Таблица 1. Значения средней температуры стеклования различных композиций ПЭТГ по результатам ДСК-анализа

Номер композиции	Температура стеклования (средняя), °C	Температура начала теплового процесса (предшествующего пику плавления на ДСК-диаграмме), °C	Удельная теплоемкость (по первому нагреву), Дж/(г*К)
ПЭТГ-1	76,68	200	0,373
ПЭТГ-2	71,26	127	0,319
ПЭТГ-3	71,51	195	0,320
ПЭТГ-4	75,30	219	0,351
ПЭТГ-7	73,98	240	0,343
ПЭТГ-8	72,47	215	0,347
ПЭТГ-9	72,75	260	0,367
ПЭТГ-10	74,57	192	0,315
ПЭТГ-11	78,89	195	0,325
ПЭТГ-12	82,92	155	0,444

Таблица 2. Значения диэлектрической проницаемости ПЭТ

Материал	Диэлектрическая проницаемость	Источник данных
Полиэтилентерефталат (ПЭТ) при частоте 1 МГц	3,1	http://www.newchemistry.ru/
Полиэтилентерефталат (ПЭТ) при 23°C и частоте 1 кГц	3,25	https://e-plastic.ru/spravochnik/materiali/pet/
Полиэтилентерефталат (ПЭТ) при частоте 60 Гц, 1 кГц	3,1–3,2	Свойства пленки из ПЭТФ по ГОСТ 24234-80
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ, ПЭТ) при частоте 50 Гц	3,3	http://www.kaprolon-alvis.ru
РЕТГ, при частоте 1 кГц 1 МГц	2,6 2,4	https://devel.lulzbot.com
РЕТГ, при частоте 1 МГц (меньшее значение) и 100 Гц (большее значение)	2,40–3,46 (среднее 2,64)	https://www.matweb.com
РЕТГ, при частоте 1 кГц	2,6	http://www.lookpolymers.com

чения диэлектрической проницаемости относительно эталонного может свидетельствовать о наличии пор, заполненных воздухом.

В данной статье рассматриваются различные композиции пластика ПЭТГ, отличающиеся друг от друга температурой стеклования (таблица 1). Средняя температура стеклования определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с применением прибора компании Mettler Toledo. Режим проведения опыта по методу ДСК: нагрев в диапазоне 0–300°C со скоростью 20К/мин в среде N₂.

Эталонное значение диэлектрической проницаемости ПЭТ и ПЭТФ-пластика в среднем составляет 3,2; ПЭТГ-пластика – 2,6 при частоте 1 кГц, основываясь на данных таблицы 2.

Образцы для определения диэлектрической проницаемости изготавливались по экструзионной аддитивной технологии на 3D-принтере Anycubic 4 Max Pro. В таблице 3 представлено описание параметров, характеризующих режим печати образцов для испытания электрических свойств.

Диэлектрическая проницаемость ПЭТГ-пластика после его обработки по экструзионной аддитивной технологии может быть оценена методом широкодиапазонной диэлектрической спектроскопии с использованием прецизионного измерителя LRC в диапазоне

Таблица 3. Параметры 3D-печати образцов

Параметр	Значение
Образец для испытания электрических свойств (диэлектрическая проницаемость)	диаметр 20,00 мм толщина 1,0 мм
Температура сопла, °C	215
Температура рабочего стола, °C	70
Диаметр сопла, мм	0,4
Ширина линии, мм	0,4
Толщина слоя, мм	0,1
Толщина стенки (оболочки), мм	0,8
Обдув	100%
Ретракт	да
Плотность заполнения, %	100
Стиль заполнения	concentric
Поддержки	нет

частот от 20 Гц до 5 МГц. Схема установки образца при спектроскопии и методика проведения испытаний описаны в работе [4]. Принимаем, что исследуемый СБС-пластик в исходном состоянии (до 3D-печати) является сухим. 3D-печать образцов проводилась без поддержек, постобработка образцов включала в себя отделение образцов от подложки и удаление техноло-

Таблица 4. Значения диэлектрической проницаемости ПЭТГ-пластика

Тип образца	Эталонное значение диэлектрической проницаемости	Измеренное значение диэлектрической проницаемости (при частоте 1 кГц)	Отклонение значения от эталона
ПЭТГ-1	2,60	3,245	0,65
ПЭТГ-2	2,60	2,830	0,23
ПЭТГ-3	2,60	2,620	0,02
ПЭТГ-4	2,60	2,820	0,22
ПЭТГ-7	2,60	3,028	0,43
ПЭТГ-8	2,60	2,584	–0,02
ПЭТГ-9	2,60	2,574	–0,03
ПЭТГ-10	2,60	2,570	–0,03
ПЭТГ-11	2,60	2,893	0,29
ПЭТГ-12	2,60	3,069	0,47

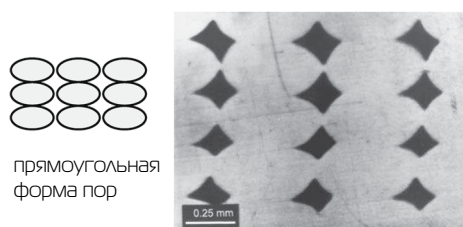
гических неровностей на верхнем и нижнем торцах, что позволяет уменьшить возможную погрешность измерений в опытах с применением измерителя LRC.

В таблице 4 представлены измеренные значения диэлектрической проницаемости для исследованных композиций ПЭТГ.

Отклонение между измеренным и эталонным значениями диэлектрической проницаемости может быть связано с одной из нижеописанных причин:

1) в структуре образцов после 3D-печати имеются поры (пустоты), заполненные воздухом; учитывая, что пластик ПЭТГ обладает высокой гигроскопичности, наличие пор заполненных воздухом приводит к впитыванию пластиком влаги из воздуха и повышению диэлектрической проницаемости выше эталонного значения; характер пор (пустот) показан в работе [4] и на рисунке 1;

Рис. 1. Характерная форма пор (прямоугольный стиль заполнения) при 100-% заполнении сечения в процессе экструзионной технологии 3D-печати [3]



2) в структуре композиции пластика ПЭТГ имеются добавки, повышающие диэлектрическую проницаемость выше эталонного значения (2,6), принятого по пластику марки ПЭТГ; так, для сравнения диэлектрическая проницаемость пластика ПЭТ при частоте 1 кГц составляет 3,25 (см. таблицу 2; по данным ГОСТ 24234-80 — 3,1–3,2 при частоте 1 кГц).

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы для контроля качества на этапе проектирования изделий, изготавливаемых из ПЭТГ-пластика по экструзионной аддитивной технологии. Например, формообразующий инструмент для изготовления индивидуальных изделий либо малых серий изделий из тонколистовых металлических материалов (фольги). ■

Литература

1. ПЭТ [электронное издание] URL: <https://uentaplastik-tara.ru/articles/pet/>
2. All You Need to Know About PETG for 3D printing [электронное издание] URL: <https://www.3dnatives.com/en/petg-3d-printing-guide-181220194/>
3. L. G. Blok, M. L. Longana, H. Yu, B. K. S. Woods. An investigation into 3D-printing of fibre reinforced thermoplastic composites. Additive Manufacturing. Volume 22. 2018. P. 176–186.
4. А. С. Вивтоненко, Д. А. Таксимбаева, П. А. Петров, Н. С. Шмакова, И. А. Чмутин. Электрические свойства СБС-пластика после 3D-печати по экструзионной технологии // Аддитивные технологии. 2023. № 3. С. 24–27.

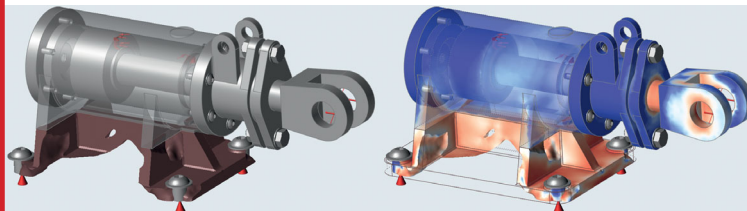


МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ

Кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета специализируется на компьютерном проектировании технологии и создании её цифрового двойника (digital twin). Задача специализации — получение наилучшего совпадения результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов. В своей работе сотрудниками кафедры применяются современное программное обеспечение, такое как «Т-Флекс», Inventor, QForm, AutoForm, Pam-Stamp, Altair HyperWorks, solidThinking Inspire, MatLab, Abaqus, Comsol и другое.

ОСНОВНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТОК КАФЕДРЫ ЯВЛЯЮТСЯ:

- исследование технологических свойств материалов для аддитивных технологий и выбор термомеханических режимов 3D-печати;
- разработка технологий и оборудования для аддитивного производства;
- обратный инжиниринг и топологическая оптимизация для решения задач обработки давлением и аддитивного производства;
- листовая и объёмная штамповка, прокатка — разработка, исследование, внедрение технологий на опытное или серийное производство;
- разработка, исследование, внедрение технологий изготовления метизных и крепежных изделий;



- специальные процессы штамповки: изотермическая штамповка и штамповка с кручением чёрных и цветных сплавов;
- повышение стойкости штамповой оснастки и кузнечно-штамповочного оборудования;
- разработка моделей материалов для компьютерного моделирования технологий обработки давлением.

КАФЕДРОЙ ВЕДЁТСЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ:

- «Машины и технологии обработки материалов давлением» (очное, бакалавриат, 15.03.01 Машиностроение);
- «Аддитивные технологии» (очное, бакалавриат, 27.03.05 Инноватика);
- «Цифровые технологии аддитивного и заготовительного производства» (очное, магистратура, 15.04.01 Машиностроение).



Контактная информация:
115280, г. Москва,
ул. Автозаводская, д. 16
Тел.: +7/495/ 223-05-23, доб. 2344,
e-mail: omd.at@mospolytech.ru



Сайт: <https://old.mospolytech.ru/index.php?id=883>

Аддитивные технологии обеспечивают свободное движение

Татьяна Карпова

Медицина — одно из главных направлений, где внедрение аддитивных технологий (АТ) демонстрирует потрясающие успехи. Вебинар «Современные возможности использования аддитивных технологий при первичном эндопротезировании», проведенный Центром травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена (ФГБУ НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена) — яркое тому подтверждение.

Ведущие специалисты центра Алексей Олегович Денисов и Александр Юрьевич Кочиш в своих выступлениях показали современные подходы к эндопротезированию тазобедренного сустава (ТБС) с использованием АТ и реабилитации после проведения операции, привели примеры сложных случаев, когда были достигнуты высокие результаты.

Новые технологии в травматологии и ортопедии — это прежде всего визуализация, прототипирование, аддитивное производство. 3D-визуализация проводится для более глубокого понимания объема поражения, позволяет до операции очистить изображения для оценки глубины дефекта кости, определить правильное направление винтов, т.е. сделать правильный выбор имплантата и тактики лечения. С помощью виртуальных 3D-моделей и печати пластиковых 3D-моделей возможна оценка дефектов, предоперационное планирование, отработка техники операции. Как в любом начинании, существуют и проблемы. К ним относятся: возможность аппаратной ошибки, трудность разграничения костной основы и рентгеноконтрастных артефактов,

невозможность оценки жизнеспособности кости, сложность интраоперационной визуализации изменений, видимых на рентгенограммах и 3D-реконструкциях КТ, недостаточное количество высококвалифицированных специалистов по сегментации изображения, «понимающих» анатомию. Для решения этих проблем необходимо создавать функциональные группы при крупных центрах для внедрения 3D-моделирования и проектирования, вести подготовку кадров.

В каких случаях целесообразно применять аддитивные технологии? Это замещение костных дефектов, восстановление мышц, индивидуализация имплантируемых конструкций, пацент и специфичный инструментарий. В эндопротезировании ТБС АТ чаще используются при ревизионных случаях, но и при первичных операциях они также обеспечивают целый ряд преимуществ, открывают новые возможности.

Для эндопротезирования ТБС применяют выполненные с помощью 3D-печати: вертлужные компоненты сложной конфигурации с заданным направлением винтов (рис. 1), чашки сложной конфигурации с заданным направлением винтов и сложные аугменты (рис. 2), сложные трехфланцевые конструкции (рис. 3). Трехфланцевые конструкции наиболее сложны и чаще всего используются при ревизионной хирургии. Но также показаниями могут быть: дисплазия (тип В2 и С), посттравматический остеоартроз (особенно с переломом вертлужной впадины), другие сложные случаи (ревматоидный артрит).

Рис. 1. Изготовленные на заказ вертлужные компоненты сложной конфигурации с заданным направлением винтов

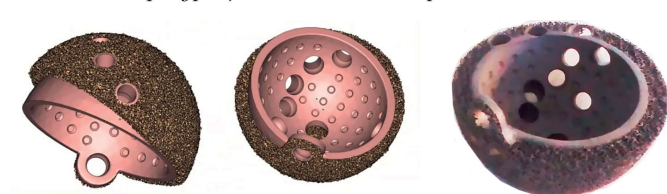


Рис. 2. Чашки сложной конфигурации с заданным направлением винтов, сложные аугменты

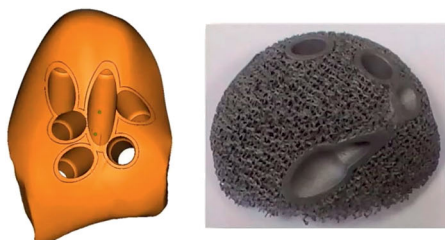
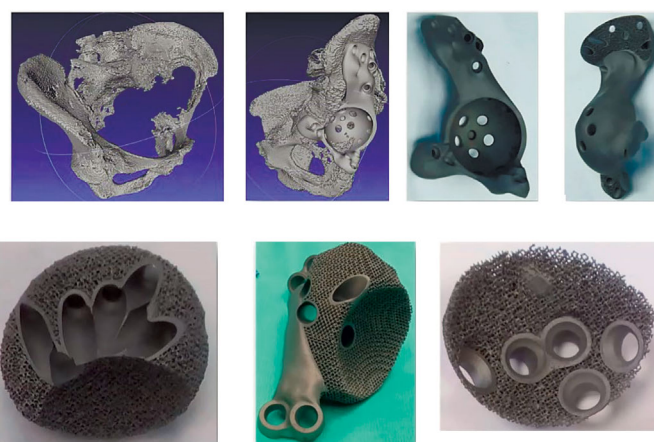


Рис. 3. Трехфланцевые компоненты



По данным выступющих, за последние восемь лет в НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена были прооперированы более 300 пациентов с тяжелыми врожденными и приобретенными деформациями в области вертлужной впадины, что потребовало использования при эндопротезировании тазобедренного сустава (ТБС) аддитивных технологий. Доля таких вмешательств составила около 1,2 % от всех операций эндопротезирования ТБС, однако все они были, по сути, безальтернативными и позволили снять или уменьшить степень инвалидности всем прооперированным пациентам, которым ранее оказать столь же эффективную специализированную травматолого-ортопедическую помощь было невозможно.

При дисплазии были выполнены 76 операций. Для данного заболевания характерны такие проблемы, как сверхмалые размеры вертлужного компонента, неудовлетворительное качество кости в зоне имплантации, высокий риск осложнений. Тем не менее применением аддитивных технологий не давало случаев асептического расшатывания, были отмечены только два случая вывихов, не требующих ревизии. Было отмечено, что 3D-визуализация значительно расширяет возможности в понимании особенностей анатомических изменений при тяжелой степени дисплазии ТБС. Аддитивные технологии позволяют более надежно решить вопрос фиксации вертлужного компонента.

Другой сложный случай — посттравматический остеоартрит тазобедренного сустава (ПТОА). Посттравматический остеоартрит встречается всего в 3–8 % случаев среди пациентов с коксартрозом (остеоартритом

ТБС), однако варианты ПТОА ТБС во многих случаях очень тяжелые, так как обусловлены переломами таза в области вертлужной впадины или переломами проксимального отдела бедренной кости с последующим остеонекрозом ее головки. Поэтому артроскопические операции у таких пациентов используются достаточно редко, корригирующие остеотомии — очень редко, а сложные случаи эндопротезирования ТБС встречаются особенно часто.

Аддитивные технологии сравнительно быстро развиваются в РФ, прежде всего ввиду предоставления ими новых уникальных возможностей лечения очень сложных категорий пациентов. Важную роль играет также действующее законодательство, позволяющее использовать индивидуальные конструкции, созданные с использованием аддитивных технологий, без сложной и дорогостоящей процедуры их государственной регистрации.

По имеющимся прогнозам, рассматриваемые операции будут использоваться в нашей стране в ближайшие годы все шире по соответствующим показаниям. При этом реабилитация таких пациентов будет проходить преимущественно не в местах выполнения операций (в городах-миллионниках), а в самых разных регионах РФ, что требует от врачей-специалистов соответствующих знаний и навыков. ■

Видеозапись вебинара

<https://rutube.ru/video/4ad734f536a41c468b8cfe0ece9d04ff/>

Фото: ФГБУ НМИЦ ТО им. Р. Р. Вредена

5 декабря
2023 г.

с 10:30 до 15:00

V конференция «Цифровая стоматология и аддитивные технологии для медицины»

в рамках деловой программы форума «Российская неделя здравоохранения»
Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон «Форум», презентационная площадка

Основные темы

- Цифровые протоколы в стоматологии
- 3D-решения для цифровой медицины и стоматологии
- 3D-технологии в протезировании
- Производство индивидуальных имплантатов
- Применение фотополимерной смолы 3D-печати в медицине
- 3D-печать для предоперационной подготовки хирургических операций
- 3D-технологии для производства ортопедической обуви
- Индивидуальные 3D-ортезы
- 3D-биопринтинг



Организаторы:

ООО «AM-Core», АО «Экспоцентр»

Информационное сопровождение:

Журнал «Аддитивные технологии»

Принимаются заявки на участие.

Дополнительная информация:

Тел. +7 (499) 678-12-35

координатор конференции — Екатерина Астриева

assist@am-core.ru, www.am-core.ru

Прецизионные макеты для предоперационного планирования

Елкасеер М.Х.¹, Кочарян Г.С.¹, Горбатов Р.О.^{1,2}, Горин В.В.¹, Зыкин А.А.¹

¹ ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, Нижний Новгород

² ООО «ГИТО-ИННОВАЦИЯ»

XXI век продолжает удивлять нас новыми технологиями, которые постепенно внедряются в медицину [1, 2]. Одним из интересных и полезных достижений научно-технологического прогресса является 3D-печать [3, 4], позволяющая изготавливать трехмерные объекты на 3D-принтере по данным их цифровых 3D-моделей [5, 6]. Ее преимуществом по сравнению с субтрактивными технологиями производства является возможность создания уникальной внутренней структуры изделия с меньшими затратами материала. Благодаря развитию аддитивных технологий в настоящее время имеется возможность изготовления на 3D-принтере различных объектов медицинского назначения по данным КТ, МРТ, УЗИ и 3D-сканирования [7–14]. Одним из актуальных направлений применения 3D-печати в медицине является создание прецизионных макетов для предоперационного планирования. Они позволяют не только детально спланировать оперативное вмешательство, но и выполнить его моделирование [15–17]. Благодаря макетам хирурги могут неоднократно «отрепетировать» операцию, отработать ее технические нюансы, подобрать необходимые по типу и размеру имплантаты.

Макеты для предоперационного планирования могут быть изготовлены из различных материалов, включая термопластик, фотополимеры и даже биоматериалы. Они позволяют сократить

время операции, объем кровопотери и улучшить результаты оперативного лечения [18–21].

Наиболее часто макеты для предоперационного планирования применяются в травматологии и ортопедии, челюстно-лицевой хирургии, нейрохирургии, онкоортопедии. Одним из направлений их использования является планирование следующих оперативных вмешательств: корригирующие остеотомии при посттравматических многоплоскостных и полифокальных деформациях, первичное и ревизионное эндопротезирование крупных суставов, замещение пострезекционных дефектов костной ткани, остеосинтез многооскольчатых переломов и др.

Целью данной работы является оценка эффективности изготовленных на 3D-принтере макетов для предоперационного планирования в лечении пациентов травматолого-ортопедического профиля.

Материалы и методы

В ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России с 2015 по 2022 г. выполнено 361 оперативное вмешательство

Рис. 1. КТ правого тазобедренного сустава



Рис. 2. 3D-модель вертлужной впадины на этапе компьютерного моделирования (после удаления имплантата)

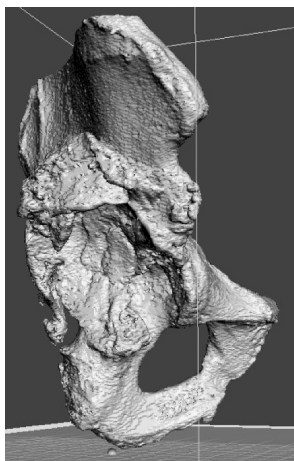


Рис. 3. Напечатанный на 3D-принтере макет вертлужной впадины

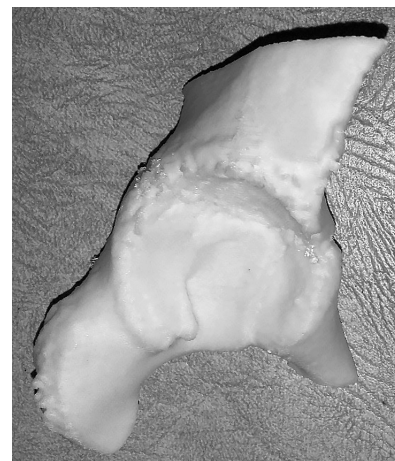
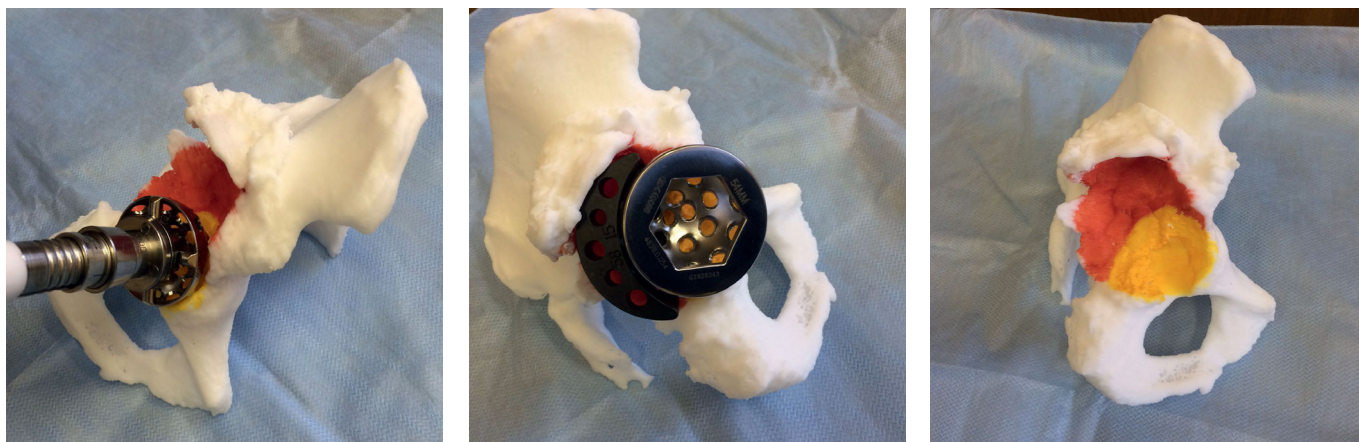


Рис. 4. Макет вертлужной впадины для предоперационного планирования. Этап моделирования операции эндопротезирования тазобедренного сустава



с использованием прецизионных макетов для предоперационного планирования, изготовленных с помощью аддитивных технологий 3D-печати.

Методика создания макетов включала в себя несколько этапов. Первоначально выполняли компьютерную томографию биологического объекта при сканировании с минимальным шагом (чаще всего не более 1 мм) координатного стола в режиме высокого разрешения при неподвижном положении пациента на протяжении получения полного набора томограмм (рис. 1).

Затем из полученных томографических данных отбирали при помощи установки уровня отсечки информацию для восстановления образа необходимых анатомических структур, задавая коэффициент градиента интенсивности эмпирически. По показаниям производилось отсеивание вокселей с информацией об имевшемся у пациента имплантате. Затем после построения компьютерной 3D-модели объекта производили его гибридное параметрическое моделирование (рис. 2). После этого осуществляли изготовление макета на 3D-принтере (рис. 3).

Затем с использованием индивидуального макета осуществлялась более детальная диагностика патологии, планирование и моделирование оперативного вмешательства (рис. 4–6). При необходимости производилась стерилизация макета и его применение в операционной для промежуточного контроля плана оперативного вмешательства.

Рис. 5. Макет плечевой кости



Для оценки эффективности использования индивидуальных макетов таза при оперативном лечении пациентов в ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России было проведено перспективное исследование, в которое было включено 68 больных с посттравматическим коксартрозом III стадии (по классификации Н.С. Косинской). В зависимости от вида предоперационного планирования пациенты были разделены на 2 группы: 1-я — с применением прецизионных макетов, изготовленных на 3D-принтере (n = 34), 2-я — традиционное предоперационное планирование по данным рентгенограммам (n = 34). Всем больным выполнено первичное тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава. В ходе исследования производилась оценка следующих параметров: объем интра- и послеоперационной кровопотери, продолжительность оперативного вмеша-

Рис. 6. Моделирование оперативного вмешательства с использованием макетов стопы и голеностопного сустава



тельства, соответствие интраоперационного позиционирования и размеров компонентов эндопротеза результатам предоперационного планирования, результаты анкетирования по шкале Харриса (до операции и через 3 месяца после операции), SF-36 (до операции и через 3 месяца после операции). Традиционное планирование оперативного вмешательства осуществлялось с использованием программы «mediCAD». Компьютерное моделирование трехмерных моделей таза осуществлялось в ООО «ГИТО-ИННОВАЦИЯ».

Для оценки эффективности применения макетов длинных костей, коленного, голеностопного и плечевого суставов, а также стопы и кисти (n = 327)

в оперативном лечении пациентов травматолого-ортопедического профиля проведено анкетирование 22 врачей травматологов-ортопедов, имеющих стаж работы по специальности 5–10 лет, по разработанной анкете (рис. 7).

Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования по оценке эффективности использования прецизионных макетов таза при оперативном лечении пациентов с посттравматическим коксартрозом III стадии (по классификации Н.С. Косинской) статистически значимо

Рис. 7. Анкета «Оценка эффективности использования индивидуальных макетов для предоперационного планирования»

<p>Анкета «Оценка эффективности использования индивидуальных макетов для предоперационного планирования» (Выберите один вариант ответа)</p> <p>Оценка эффективности применения индивидуальных макетов для предоперационного планирования, изготовленных на 3D-принтере, которые были использованы в дополнении к клинично-лабораторному обследованию, рентгенографии, КТ и/или МРТ, в сравнении с планированием операции только с применением клинично-лабораторного обследования, рентгенографии, КТ и/или МРТ.</p> <p>1) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования позволяет сократить время оперативного вмешательства</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен Если да, то на сколько (%) _____</p> <p>2) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования позволяет сократить объем интраоперационной кровопотери</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен</p> <p>3) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования позволяет выполнить операцию менее травматично</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен</p>	<p>4) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования позволяет более детально спланировать операцию</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен</p> <p>5) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования позволяет более прецизионно выполнить остеотомию и/или позиционирование имплантата</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен</p> <p>6) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования позволяет улучшить результаты оперативного вмешательства</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен</p> <p>7) Индивидуальные макеты для предоперационного планирования помогают объяснить пациенту планируемую операцию и повысить комплаентность лечения (точное и осознанное выполнение пациентом рекомендаций врача в ходе лечения)</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен</p>	<p>8) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования не приводит к увеличению количества койко-дней до операции</p> <p>1. Полностью согласен 2. Согласен 3. Частично согласен 4. Частично не согласен 5. Полностью не согласен</p> <p>9) Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования способствовало изменению плана оперативного вмешательства</p> <p>1. Да 2. Нет</p> <p>Если да, укажите сколько было таких случаев _____, при каких локализациях оперативного вмешательства _____ _____</p> <p>10) Как часто Вы используете индивидуальные макеты для предоперационного планирования?</p> <p>1. 1 и более раз в неделю 2. 1 и более раз в месяц 3. 1 и более раз в 6 месяцев 4. 1 и более раз в год 5. 1 и более раз в два года</p> <p>_____/_____/_____ ФИО Подпись Дата</p> <p>Анкета разработана в соответствии со шкалой Лайкерта (Квон Г.М., Вакс В.Б., Поздеева О.Г. Использование шкалы Лайкерта при исследовании мотивационных факторов обучающихся // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2018. № 11 (ноябрь). С. 84–96. URL: http://e-koncept.ru/2018/181086.htm.)</p>
---	---	---

Таблица 1. Результаты проведенного исследования по оценке эффективности использования прецизионных макетов таза при оперативном лечении пациентов

Параметр	1 группа	2 группа
Продолжительность операции, мин.	60±10	80±12
Объем интра- и послеоперационной кровопотери, мл.	337	419
Соответствие интраоперационного позиционирования и размеров имплантированных компонентов эндопротеза результатам предоперационного планирования, количество пациентов	32	24

($p < 0,05$) меньший объем кровопотери был выявлен в 1 группе больных (таблица 1).

Наименьшая продолжительность операции ($p < 0,05$) отмечалась в группе пациентов, в которой для предоперационного планирования использовались прецизионные макеты, изготовленные на 3D-принтере.

Соответствие параметров интраоперационного позиционирования имплантатов и размеров компонентов эндопротезов, установленных пациентам, результатам предоперационного планирования статистически значимо ($p < 0,05$) было выше в 1 группе больных.

Наилучшие результаты анкетирования ($P < 0,05$) пациентов по шкале Харриса были получены в 1 группе больных (таблица 2). Однако при оценке послеопе-

рационных результатов с использованием опросника SF-36 статистически значимых различий между двумя группами пациентов не выявлено ($p > 0,05$).

В результате анкетирования 22 врачей-травматологов-ортопедов (таблица 3–6) было выявлено, что применение прецизионных макетов костей и суставов в планировании оперативных вмешательств у пациентов с различными патологиями костно-мышечной системы во всех случаях позволяло сократить время операции и в 55% ($n = 12$) приводило к изменению плана оперативного вмешательства. Планирование оперативных вмешательств с использованием прецизионных макетов более одного раза в месяц осуществляли 45% ($n = 10$) врачей.

Таблица 2. Результаты анкетирования пациентов по шкале Харриса и опроснику SF-36

Параметр	1 группа Me [25p;75p]				2 группа Me [25p;75p]			
	До операции		После операции		До операции		После операции	
Шкала Харриса, баллы	37 [35;39]		76 [73;79]		41 [38;43]		68 [64;71]	
SF-36, баллы	До операции		После операции		До операции		После операции	
	РН	МН	РН	МН	РН	МН	РН	МН
	25 [23;27]	36 [34;38]	37 [35;40]	44 [42;47]	30 [27;33]	31 [28;33]	38 [36;40]	44 [41;46]

Таблица 3. Результаты анкетирования врачей по оценке изменения продолжительности операции при использовании макетов для предоперационного планирования

Параметр	Варианты ответы				
	Сокращение продолжительности операции на 10–15%	Сокращение продолжительности операции на 20–25%	Сокращение продолжительности операции на 30–35%	Сокращение продолжительности операции на 40–50%	Сокращение продолжительности операции на 70% и более
Количество респондентов	$n = 2$ (8%)	$n = 3$ (14%)	$n = 3$ (14%)	$n = 7$ (32%)	$n = 7$ (32%)

Таблица 4. Результаты анкетирования врачей по оценке изменения плана оперативного вмешательства при использовании макетов для предоперационного планирования

Параметр	План операции изменился	План операции не изменился
Количество респондентов	$n = 12$ (55%)	$n = 10$ (45%)

Таблица 5. Частота использования макетов для предоперационного планирования в лечении пациентов травматолого-ортопедического профиля (по результатам анкетирования врачей)

Параметр	1 и более раз в неделю	1 и более раз в месяц	1 и более раз в 6 месяцев	1 и более раз в год	1 и более раз в два года
Количество респондентов	$n = 3$ (14%)	$n = 7$ (32%)	$n = 5$ (23%)	$n = 5$ (23%)	$n = 2$ (8%)

Таблица 6. Результаты анкетирования врачей по оценке эффективности использования индивидуальных макетов для предоперационного планирования в лечении пациентов травматолого-ортопедического профиля

Использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования позволяет	Варианты ответа (количество респондентов)				
	Полностью согласен	Согласен	Частично согласен	Частично не согласен	Полностью не согласен
1) сократить время оперативного вмешательства	n = 10 (45%)	n = 8 (36%)	n = 3 (14%)	n = 1 (5%)	—
2) сократить объем интраоперационной кровопотери	n = 8 (36%)	n = 2 (9%)	n = 10 (45%)	n = 1 (5%)	n = 1 (5%)
3) выполнить операцию менее травматично	n = 8 (36%)	n = 7 (32%)	n = 5 (22%)	n = 1 (5%)	n = 1 (5%)
4) более детально спланировать операцию	n = 12 (54%)	n = 8 (36%)	n = 1 (5%)	—	n = 1 (5%)
5) прецизионно выполнить остеотомию и/или позиционирование имплантата	n = 10 (45%)	n = 8 (36%)	n = 3 (14%)	n = 1 (5%)	—
6) улучшить результаты оперативного вмешательства	n = 7 (32%)	n = 11 (49%)	n = 2 (9%)	n = 1 (5%)	n = 1 (5%)
7) использование индивидуальных макетов для предоперационного планирования помогает объяснить пациенту планируемую операцию и повысить комплаентность лечения	n = 8 (36%)	n = 11 (50%)	n = 3 (14%)	—	—
8) сократить количество койко-дней до операции	n = 8 (36%)	n = 7 (32%)	n = 4 (18%)	—	n = 3 (14%)

Клинические случаи применения прецизионных макетов в планировании оперативных вмешательств у пациентов с травмами и заболеваниями опорно-двигательного аппарата.

Клинический случай № 1

Пациент, 36 лет, поступил с диагнозом «Закрытый перелом правой таранной кости со смещением отлом-

ков». Anamnesis morbi: травма получена 9 дней назад

в результате падения с высоты 3 метров. Локальный статус: пациент передвигается без опоры на поврежденную конечность. Сосудисто-неврологических нарушений нет. При поступлении в стационар выполнена рентгенография правого голеностопного сустава в двух проекциях, компьютерная томография (КТ), 3D-печать макета таранной кости на SLA 3D-принтере (рис. 8, 9).

На этапе предоперационной подготовки осуществлено моделирование операции с использованием индивидуального макета таранной

ков». Anamnesis morbi: травма получена 9 дней назад в результате падения с высоты 3 метров. Локальный статус: пациент передвигается без опоры на поврежденную конечность. Сосудисто-неврологических нарушений нет. При поступлении в стационар выполнена рентгенография правого голеностопного сустава в двух проекциях, компьютерная томография (КТ), 3D-печать макета таранной кости на SLA 3D-принтере (рис. 8, 9).



Рис. 9. Макет таранной кости, изготовленный на 3D-принтере



Рис. 10.
Рентгенография
правого
голеностопного
сустава через
1 год после
операции



кости, определены размеры и направления введения винтов. Затем выполнено оперативное вмешательство под артроскопическим контролем. Послеоперационный период протекал без осложнений.

Через 1 год после операции пациент жалоб не предъявляет, передвигается без дополнительной опоры. По результатам рентгенографии правого голеностопного сустава в двух проекциях (рис. 10) достигнута полная консолидация перелома.

Клинический случай № 2

Пациент, 43 года, госпитализирован в стационар травматолого-ортопедического отделения с неправильно сросшимся переломом правой бедренной кости после остеосинтеза металлоконструкциями (рис. 11). Локальный статус: пациент передвигается без опоры на правую нижнюю конечность с помощью костылей. Сосудисто-неврологических нарушений нет.

По данным КТ-обследования пациента на FDM-3D-принтере был напечатан макет его правой бедренной кости (рис. 12).

Затем проведено моделирование операции, определены направление и объем корригирующей остеотомии, размеры фиксаторов (рис. 13).

Рис. 11. Рентгенограммы правой бедренной кости

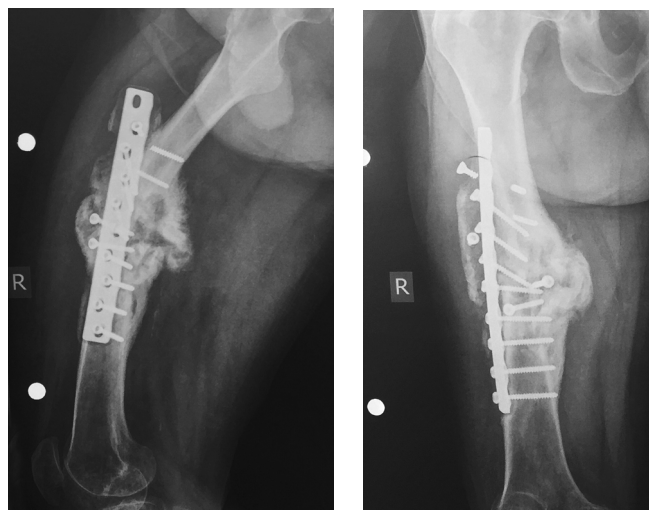
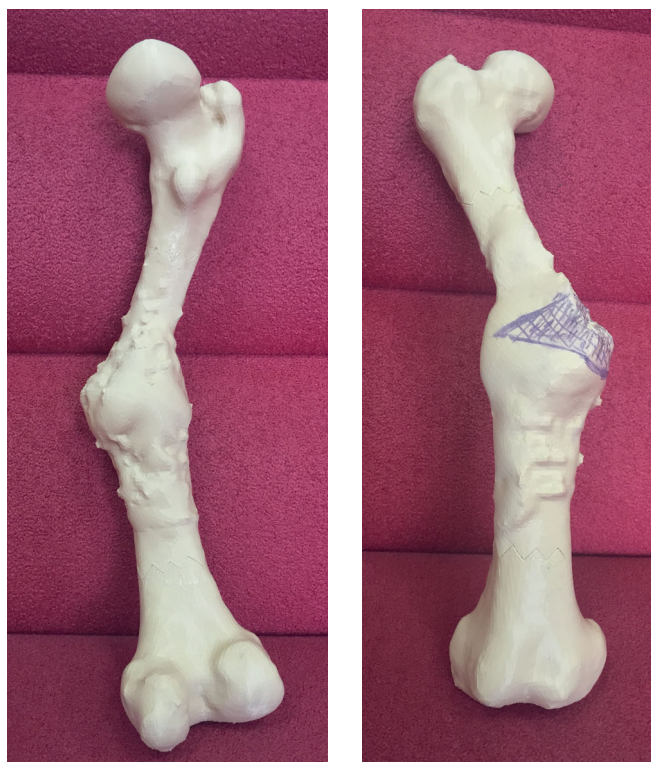


Рис. 12. Макет бедренной кости пациента, изготовленный на FDM 3D-принтере



После этого пациенту выполнено оперативное вмешательство, резецированный пластиковый фрагмент макета бедра использовался как хирургический шаблон для остеотомии. В результате операции достигнута коррекция деформации (рис. 14).

Установленные во время операции имплантаты полностью соответствовали по размерам металлоконструкциям, подобранным на предоперационном этапе с использованием макета бедренной кости пациента.

Использование 3D-печати в данном клиническом случае позволило сократить время выполнения оперативного вмешательства, достичь необходимой коррекции деформации и восстановления длины конечности.

На следующий день после операции пациент уже смог ходить с помощью костылей. Через 5 дней он был выписан из стационара. Послеоперационный период протекал без осложнений. На контрольном осмотре через 6 месяцев после операции жалоб у пациента не было. Он передвигался без дополнительных средств опоры. По данным рентгенографии достигнута полная консолидация бедренной кости пациента.

Клинический случай № 3

Пациент, 39 лет, поступил с диагнозом «Посттравматический крузартроз III–IV стадии справа». Anamnesis morbi: травма 5 лет назад. Лечился консервативно.

Локальный статус: пациент передвигается с помощью трости с ограниченной опорой на правую ногу. Вальгусная деформация правого голеностопного сустава 40 град. Сосудисто-неврологических расстройств нет. При поступлении в стационар выполнена рентгенография, КТ правого голеностопного сустава (рис. 15).

Одним из наиболее трудных моментов в оперативном лечении пациентов с посттравматическим крузартрозом III–IV стадии на фоне выраженной деформации голеностопного сустава является необходимость одновременно выполнить удаление суставного хряща и исправить деформацию. Нередко определить размер прецизионной резекции большеберцовой и таранной костей только по данным рентгенограмм и компьютерной томографии сложно, и окончательное решение принимается интраоперационно. Кроме того, необходимо исправить деформацию в голеностопном суставе с учетом сопутствующей деформации стопы. Раньше приходилось несколько раз выполнять опилование поверхностей сустава, пока не будет достигнуто необходимое положение костей в трехмерном пространстве.

С целью увеличения количества отличных и хороших послеоперационных результатов все чаще хирурги на этапе предоперационного планирования артродеза голеностопного сустава используют прецизионные макеты стопы и голеностопного сустава. В данном клиническом примере мы тоже использовали макет для планирования и моделирования оперативного вмешательства. По данным КТ обследования была создана трехмерная модель правого голеностопного сустава и стопы, определено направление и объем резекции суставных поверхностей голеностопного сустава, необходимое позиционирование стопы (рис. 16).

Затем был напечатан макет голеностопного сустава и стопы пациента, выполнено моделирование операции (рис. 17).

После этого резецированные суставные поверхности использованы интраоперационно в качестве хирургических шаблонов. Во время артродеза голеностопного

Рис. 13. Моделирование операции с использованием макета бедренной кости пациента

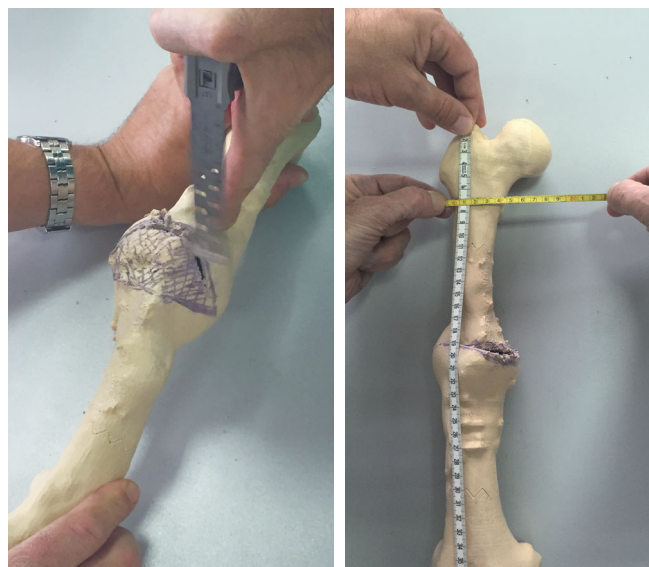


Рис. 14. Рентгенограмма правой бедренной кости пациента после операции

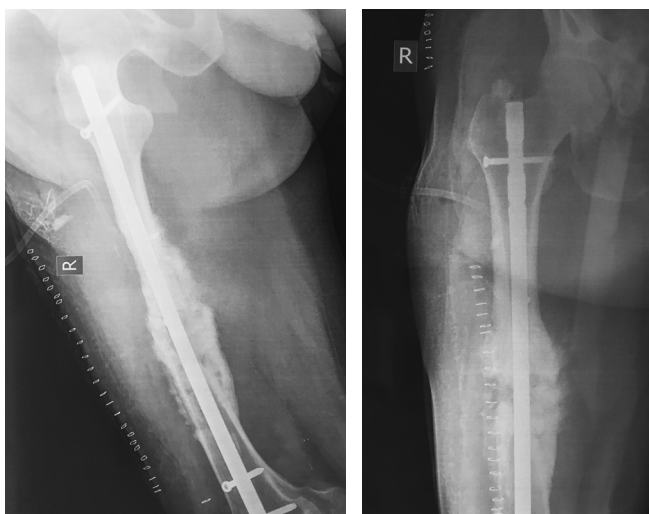


Рис. 15. Рентгенограмма правого голеностопного сустава

Рис. 16. Этап компьютерного моделирования

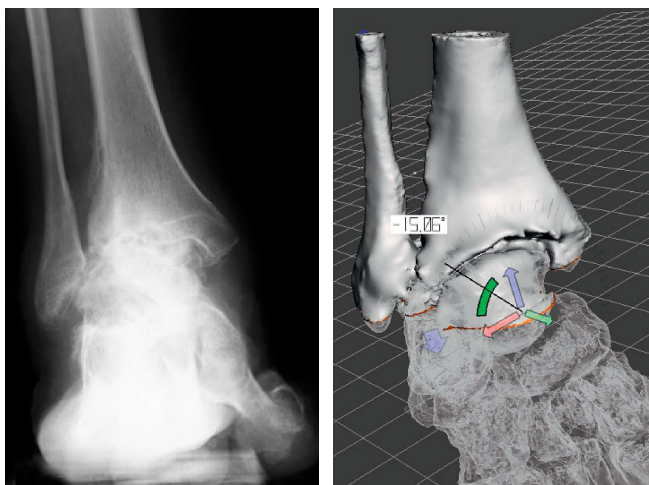


Рис. 17. Этап моделирования операции на макете голеностопного сустава и стопы пациента



сустава подобранные на предоперационном этапе винты полностью подошли по размерам, достигнуто планируемое позиционирование стопы (рис. 18). Послеоперационный период у пациента протекал без осложнений. Костный анкилоз был диагностирован через 3 месяца после операции.

Рис. 18. Рентгенограмма правого голеностопного сустава после операции



На контрольный осмотр через 6 месяцев после операции пациент приехал на велосипеде, проехав около 10 км. Жалоб он не предъявлял и впервые за 5 лет не чувствовал боли в голеностопном суставе. Деформация была исправлена, и пациент мог ходить в обычной обуви, хотя раньше приходилось использовать для ходьбы только индивидуальную ортопедическую обувь.

Заключение

Использование прецизионных макетов для предоперационного планирования, изготовленных с помощью аддитивных технологий 3D-печати, позволяет более детально спланировать оперативное вмешательство, сократить время выполнения операции и объем кровопотери, а также улучшить клиничко-рентгенологические результаты лечения пациентов. ■

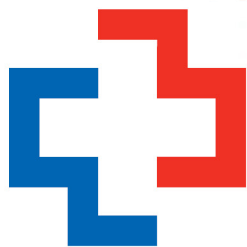
Литература

1. Яриков А.В., Горбатов Р. О., Денисов А. А., Смирнов И. И., Фраерман А. П., Соснин А. Г., Перльмуттер О. А., Калинин А. А. Применение аддитивных технологий 3D-печати в нейрохирургии, вертебрологии, травматологии и ортопедии. Клиническая практика. 2021;12(1):90-104. doi: 10.17816/clinpract64944.
2. Николаенко С.А., Халапан А. А., Федоров Ю. В., Шапиро Л. А. Реконструкция обширного челюстно-лицевого дефекта с применением эпитеза на магнитной фиксации.

- Клинический случай // Клиническая стоматология. 2019. № 1. С. 63–65. [Nikolaenko SA, Calapan AA, Fedorov YuV, Shapiro LA. Reconstruction of extensive maxillofacial defect with the use of epitheta on magnetic fixing. Clinical case. Clinical dentistry. 2019;(1):63-65. (In Russ).]
3. Сафонов М.Г., Строгий В. В. Применение 3D-печати в медицине // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3–3. С. 394–395. [Safonov MG, Stern VV. Application of 3D printing in medicine. International student scientific bulletin. 2015;(3-3):394-395. (In Russ).]
 4. Холодилов А. А., Яковлева А. В. Инновационное применение аддитивных технологий в медицине // Молодой ученый. 2019. № 5. С. 35-38. [Holodilov AA, Yakovlev VA. Innovative application of additive technologies in medicine. Young scientist. 2019;(5):35-38. (In Russ).]
 5. Холодилов А.А., Фалеева Е. В., Холодилова М. В. Анализ технологии перевода трехмерной модели из САД-формата в управляющий код при 3D-печати // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2020. № 2. С. 296-301. [Kholodilov AA, Faleeva EV, Kholodilova MV. Analysis of the technology of translating a three-dimensional model from CAD-format into a control code for 3D printing. Scientific-technical and economic cooperation of the APR countries in the XXI century. 2020;(2):296-301. (In Russ).]
 6. Коваленко Р.А., Пташников Д. А., Черebilло В. Ю. и др. Применение индивидуальных 3D-моделей в хирургии позвоночника: обзор литературы и первый опыт использования // Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова. 2018. Т. 10, № 3–4. С. 43–48. [Kovalenko RA, Ptashnikov DA, Cherebillo VYu, et al. Application of individual 3D models in spine surgery-literature review and first use experience. Russian Neurosurgical Journal named after Professor A. L. Polenov. 2018;10(3-4):43-48. (In Russ).]
 7. Карякин Н.Н., Горбатов Р. О., Новиков А. Е., Нифтуллаев Р. М. Хирургическое лечение пациентов с опухолями длинных трубчатых костей верхних конечностей с использованием индивидуальных имплантатов из костнозамещающего материала, созданных по технологиям 3D-печати // Гений ортопедии. 2017. Т. 23, № 3. С. 323–330. [Karyakin NN, Gorbatov RO, Novikov AE, Niftullaev RM. Surgical treatment of patients with tumors of the long tubular bones of the upper extremities using individual implants made of bone-substituting material created using 3D printing technologies. Genij Ortopedii. 2017;23(3):323-330. (In Russ).]
 8. Нестеренко Т. С. Полимеры и 3D-печать в ортопедии / Сб. статей Международной научно-практической конференции «Интеллектуальный и научный потенциал XXI века». Волгоград, 2017. С. 111–116. [Nesterenko TS. Polymers and 3D printing in orthopedics. In the collection: Intellectual and scientific potential of the XXI century. Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference: in 4 parts. Volgograd; 2017. P. 111-116. (In Russ).]
 9. Горбатов Р.О., Клеменова И.А., Новиков А.В. и др. Ревизионное эндопротезирование крупных суставов с использованием индивидуальных гибридных эндопротезов // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 4. С. 50. [Gorbatov RO, Klimenova IA, Novikov AV, et al. Revision endoprosthesis replacement of large joints, using a hybrid mesh. Modern problems of science and education. 2019;(4): 50. (In Russ).]
 10. Chen S.T., Chang C.J., Su W. C. et al. 3 D titanium mesh reconstruction of defective skull after frontal craniectomy in traumatic brain injury. Injury. 2015. 46:80-85
 11. Romano P.E. 3D Printing Surgical Models of Organs; or Lunch; Phone Screens; How to Do It (3D) Yourself; Computers that Track Your Eyes and Take Eye Commands. Binocul Vis Strabolog Q Simms Romano. 2013; 8:121-128.
 12. Winder J., Bibb R. Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery. J Oral Maxillofac Surg. 2005; 63:1006-1015.
 13. Бывальцев В.А., Калинин А. А., Белых Е. Г., Степанов И. А. Симуляционные технологии в спинальной хирургии // Вестник Российской академии медицинских наук. 2016. Т. 71. № 4. С. 297-303. [Byvaltsev VA, Kalinkin AA, Belykh EG, Stepanov IA. Simulation technologies in spinal surgery. Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences. 2016;71(4):297-303. (In Russ)].
 14. Park HJ, Wang C, Choi KH, Kim HN. Use of a life-size three-dimensional-printed spine model for pedicle screw instrumentation training. J Orthop Surg Res. 2018;13(1):86. doi: 10.1186/s13018-018-0788-z
 15. Silva D. N., Gerhardt de, Meurer E., et al. Dimensional error in selective laser sintering and 3D-printing of models for craniomaxillary anatomy reconstruction. J Craniomaxillofac Surg. 2008; 36:443-449.
 16. Choi J.W., Kim N. Clinical application of three-dimensional printing technology in craniofacial plastic surgery. Arch Plast Surg. 2015. 42 (3):267-77
 17. Ventola C. L. Medical applications for 3D Printing: current and projected uses. Pharmacy and Therapeutics. 2014; 39:704-711.
 18. Алехнович А.В., Фокин Ю. Н., Есипов А. А. Состояние и перспективы развития аддитивных технологий в военных лечебно-профилактических учреждениях // Госпитальная медицина: наука и практика. 2019. Т. 1. № 2. С. 62–64. [Alekhnovich AV, Fokin YuN, Esipov AA. The state and prospects of the development of additive technologies in military medical and preventive institutions. Hospital medicine: science and practice. 2019;1(2):62-64. (In Russ).]
 19. Ширшин А.В., Кушнарев С. В., Макаров Д. А. Опыт применения аддитивных технологий в военно-медицинской академии имени С. М. Кирова. В сб. статей II Всероссийской научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития современной науки по направлению». Анапа, 2020.
 20. Внук В.В., Ипполитов Е. В., Новиков М. М., Чербыло С. А. Применение систем автоматизированного проектирования и аддитивных технологий в восстановительной хирургии // Труды международной конференции по компьютерной графике и зрению «ГрафиКон». 2019. № 29. С. 176-180. [Vnuk VV, Ippolitov EV, Novikov MM, Cerebelo SA. Application of computer-aided design and additive technology in reconstructive surgery. Proceedings of the International conference on computer graphics and vision «GraphiCon». 2019;(29):176-180. (In Russ).]
 21. Карякин Н.Н. 3D-печать в медицине / Н. Н. Карякин, Р. О. Горбатов. М.: Издательская группа «ГЭОТАР-Медиа», 2019. 240 с. ISBN 978-5-9704-5163-2. — DOI 10.33029/9704-5163-2-PRI-2019-1-240.

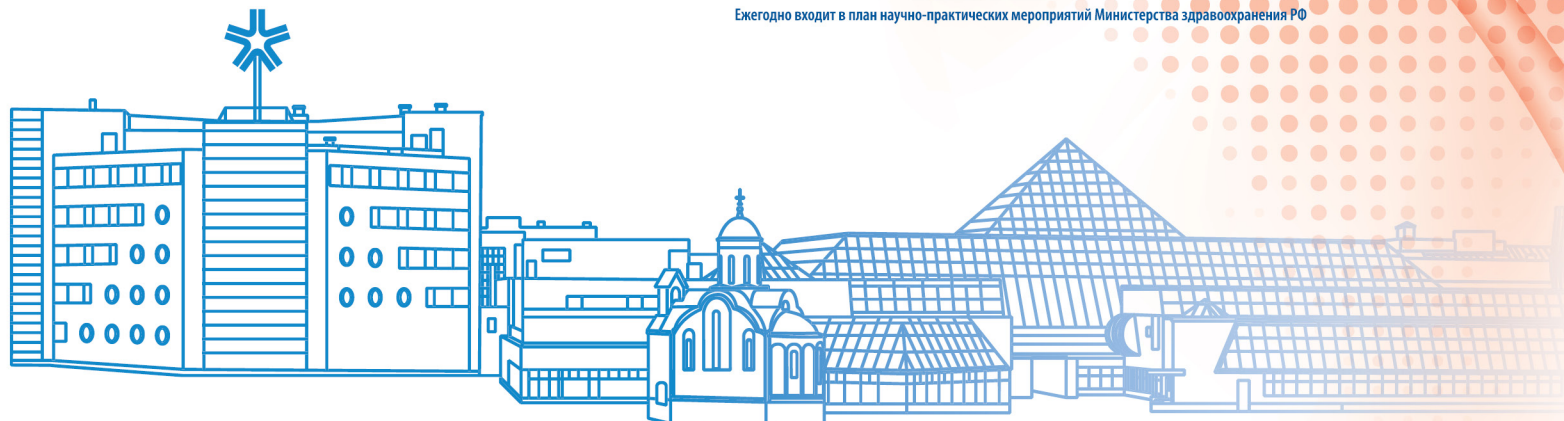


22-31
десятилетие
науки и технологий



РОССИЙСКАЯ
НЕДЕЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
RUSSIAN HEALTH CARE WEEK

Ежегодно входит в план научно-практических мероприятий Министерства здравоохранения РФ



РОССИЯ, МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



Здравоохранение

«Медицинская техника,
изделия медицинского назначения
и расходные материалы»



Здоровый образ жизни

«Средства реабилитации и профилактики,
эстетическая медицина, фармацевтика и товары
для здорового образа жизни»



MedTravelExpo

Санатории. Курорты. Медицинские центры

«Медицинские и оздоровительные услуги,
технологии оздоровления
и лечения в России и за рубежом»

4-8
декабря 2023

4-7
декабря 2023

WWW.ZDRAVO-EXPO.RU

Организаторы:

Государственная Дума ФС РФ
Министерство здравоохранения РФ
АО «ЭКСПОЦЕНТР»

При поддержке:

Совета Федерации ФС РФ
Министерства промышленности и торговли РФ
Министерства экономического развития РФ

Под патронатом ТПП РФ

12+

РЕКЛАМА



 ЭКСПОЦЕНТР

**ЛИДЕР-
ФОРУМ**

**АДДИТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ -
НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ**

**КАЗАНЬ
20-21 НОЯБРЯ
LEADERFORUM.COM**