

2 / 2024

# АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



EBM - печать металлических изделий  
электронным лучом в вакууме

AM.TECH EBM-200 представлен на выставке металлообработка-2024. ЦВК "Экспоцентр".

Стенд 22С15



Аддитивные технологии — один из драйверов развития промышленности 19



Аддитивные технологии в строительстве 34



3D-печать оснастки при прототипировании изделий из металла 60

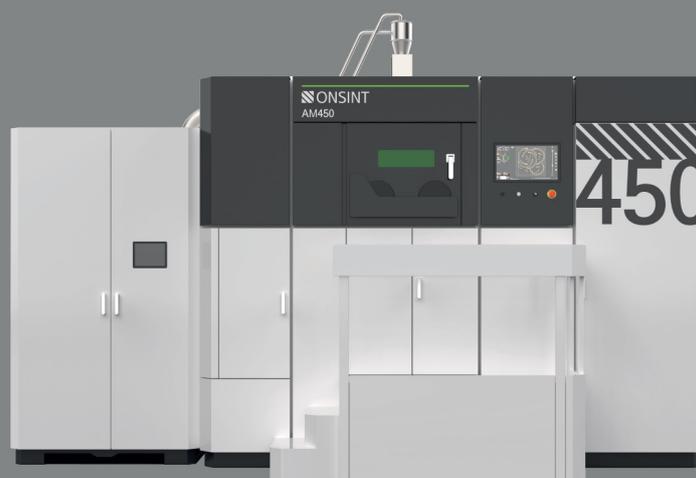
## Печать металлами

 **OnsintAM150**

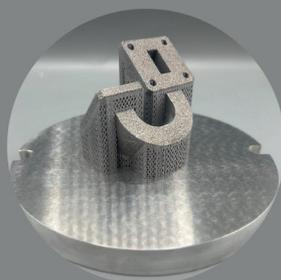
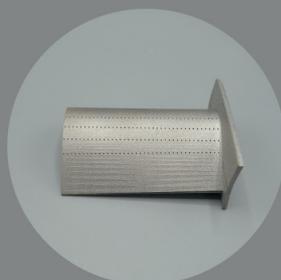
Объем печати: d150 мм×220 мм  
Производительность: до 10 см<sup>3</sup>/ч

 **OnsintAM350**

Объем печати: 350×350×400 мм  
Производительность: до 100 см<sup>3</sup>/ч

 **OnsintAM450**

Объем печати: 450×450×550 мм  
Производительность: до 190 см<sup>3</sup>/ч



### Печать пластиком



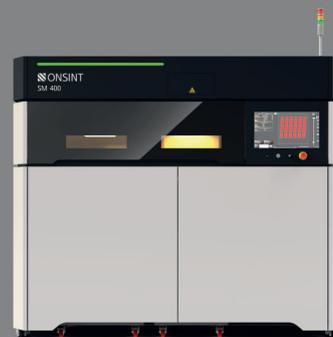
ONSINT SM200

Объем печати: 200x200x200 мм  
Производительность: 0,8 л/ч



ONSINT SM300

Объем печати: 300x300x400 мм  
Производительность: 2,2 л/ч



ONSINT SM400

Объем печати: 400x400x500 мм  
Производительность: 4 л/ч



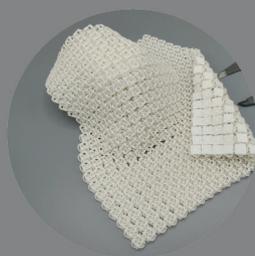
ONSINT SM500

Объем печати:  
530x530x550 мм  
Производительность: 6 л/ч



ONSINT SM800

Объем печати:  
850x500x500 мм  
Производительность: 15 л/ч





6



14



47

## СОДЕРЖАНИЕ

- 4 Тренды, вызовы, ответы
- 6 Технология ЭЛП 2.0: время внедрять
- 10 Россия и Китай меняют игру на рынке программного обеспечения
- 12 Стратегии и проблемы импортозамещения в аддитивном производстве: путь к технологической независимости
- 14 Отечественный рынок аддитивного производства: окно возможностей и технологические барьеры
- 19 Аддитивные технологии — один из драйверов развития промышленности
- 34 Аддитивные технологии в строительстве
- 38 3D-печать в строительстве: потенциал очевиден
- 41 Ассоциация профессионалов аддитивного строительства: цели и задачи
- 42 3D-печать — альтернатива традиционным технологиям в малоэтажном строительстве
- 43 На невозможное требуется немного больше времени
- 44 Основные тренды — это модульное строительство и аддитивные технологии
- 45 С новыми принтерами мы сможем делать еще более сложные проекты
- 46 Достижение в том, что рынок смотрит в сторону строительной 3D-печати
- 47 Конкурс строительной 3D-печати
- 52 Электрические свойства ТПУ-пластика после 3D-печати по экструзионной технологии
- 60 3D-печать оснастки при прототипировании изделий из металла



Тел.: 8 (4912) 51-19-41  
8 (800) 444-29-41  
+7 (930) 783-19-41  
E-mail: 3d@3d-shop.ru

www.fdm-shop.ru  
www.moldcast.ru

- Изготовление пластиковых, резиновых и металлических деталей на заказ.
- Официальный поставщик 3D-принтеров, 3D-сканеров и расходных материалов.
- 3D-печать прототипов и макетов различными технологиями.
- 3D-моделирование по образцам, чертежам и фотографиям.
- Высокоточное и художественное 3D-сканирование, обратное проектирование, реверс-инжиниринг.
- Промышленное литье деталей различными партиями.

г. Рязань, ул. Каширина, стр. 1Б, 1 подъезд, 5 этаж



Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор  
М. Копытина

отдел редакции:  
Т. Карлова, Э. Сацкая  
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.



# РУЧНАЯ ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА

С ПРИМЕНЕНИЕМ LIGHTWELD 1500

ОБОРУДОВАНИЕ  
АТТЕСТОВАНО НАКС

## Области применения:

- Обработка плоских деталей и тел вращения
- Локальное устранение дефектов (трещины, задиры, забоины)
- Восстановление геометрических размеров деталей
- Придание требуемых физико-механических свойств покрытию

## Преимущества технологии:

- Энергия, вводимая в зону обработки, строго дозируется
- Возможна локальная обработка
- Общая поступающая тепловая энергия низкая
- Высокая скорость нагрева и остывания наплавляемого слоя
- Стабильность высоты наплавляемого слоя
- Минимальная деформация изделия
- Стабильность и контроль параметров процесса



ПРОИЗВОДСТВО И СЕРВИС НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

## Наплавка с помощью LightWELD

Лазерная наплавка – метод нанесения материала при помощи лазерного излучения, используемого для создания ванны расплава на обрабатываемой поверхности и добавлении присадочного материала в виде металлического порошка или проволоки.

### Требуемый набор оборудования:

LightWeld 1500



Дополнительная насадка



Порошковый питатель



# Тренды, вызовы, ответы

Зинаида Сацкая

День аддитивных технологий провели эксперты Московского политеха и НПО «ЗД-Интеграция» в стенах Московского цифрового завода, входящего в структуру НПО.

Доклад основателя проекта «Логика слоя» Дмитрия Трубашевского «Супервозможности и неочевидные преимущества аддитивных технологий» начался с данных из Wohlers Report'2024 по итогам 2023 года. Объем мирового рынка достиг 20 млрд долл., а ведущей технологией стала сегодня технология селективного лазерного плавления SLM. Согласно исследованию Wohlers Report, наметился тренд делать ставку на развитие металлических аддитивных технологий. Об этом говорит динамика продаж машин для металлической печати. За 2023 год было продано 3850 единиц техники для печати металлом, что соответствует 24% годового прироста. К 2030 году объем рынка должен вырасти до 100 млрд долл. Было подробно рассказано о преимуществах аддитивных методов производства перед традиционными. Докладчик привел немало примеров суперспособностей металлических АТ, возможностей современных центров аддитивного производства и цифровых фабрик будущего, а также впечатляющие примеры невероятной производительности различных аддитивных технологий по сравнению с традиционными.

Генеральный директор НПО «ЗД-Интеграция» Михаил Родин рассказал, чем занимается каждое из пяти подразделений компании, являющихся самостоятельными юридическими лицами. В частности, компания АМ.ТЕСН, специализирующаяся на производстве аддитивного оборудования и локализации лучших китайских образцов техники по различным технологиям аддитивного производства, на субсидии Минпромторга разрабатывает принтеры под самые востребованные технологии. Программа должна быть реализована до 2032 года и предполагает создание трех принтеров. Первый принтер из серии уже создан и был показан на выставке «Металлообработка» прошлого года, второй принтер должен быть показан на предстоящей в мае выставке «Металлообработка», появления третьего принтера Михаил Родин ожидает примерно через два года.

К моменту завершения программы компания должна будет собирать 125 принтеров в год. Как того требует постановление правительства РФ от 17 июля 2015 года № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации», 75% комплектующих будет отечественного производства. Предполагается реализация совместного российско-китайского проекта по созданию собственного сканатора. Компания-разработчик намерена создать ряд про-



граммных продуктов и аппаратных решений, которые обязательно должны быть запатентованы.

В соответствии с программой к 2032 г. на территории «Иннополиса» в Татарстане будет построен завод площадью 27 тыс. кв. м, на котором будет реализовываться три больших направления: разработка оборудования и локализация зарубежных брендов, изготовление комплектующих и деталей на основе аддитивных технологий; собственное производство материалов. В содружестве с китайской компанией FHZL осуществляется локализация принтеров для печати песком и разрабатывается стратегия совместного выхода на международный рынок. Выпуск собственных принтеров и локализация зарубежных позволят выйти на показатель 290 машин в год. Свою продукцию «ЗД-Интеграция» намерена продвигать во все регионы России.

Представители предприятий, входящих в НПО, рассказали об оборудовании и программном обеспечении, разработанных в компании. Отдельный доклад был посвящен программному обеспечению для аддитивного производства. До известных событий российские компании использовали для 3D-печати ПО Magics от Materialise и Netfabb от Autodesk. Сейчас эти продукты официально нельзя купить, ими нельзя пользоваться. Но, как было сказано в докладе, есть российский продукт «Триангулятика», включенный в реестр отечественного ПО Минцифры РФ. Это полностью российская разработка, которая подходит для любых 3D-принтеров, для любых известных технологий аддитивного производства. Специалисту по 3D-печати не надо уметь разбираться в 3D-графике, поскольку это ПО не работает с файлами 3D, как другие. В докладе отмечалось, что в «Триангулятику» заложены необычные алгоритмы, много уникальных функций, с этим ПО надо разбираться, но оно того стоит. Подчеркивалось, что возможна кастомизация этого софта, и сейчас для НПО «ЗД-Интеграция» разработчик делает ПО для 3D-печати песком. Была представлено также китайское ПО для 3D-печати VoxelDance.

Совсем не случайно соорганизатором мероприятия стал Московский политехнический университет. Именно там на факультете машиностроения есть кафедра аддитивных технологий, в активе которой уже несколько выпусков бакалавров по этой специальности. В перспективе выпуск магистров. Кроме того, есть и дополнительное образование в сфере аддитивных технологий, которое доступно людям с высшим образованием практически любой направленности.

Организаторы намерены проводить подобные встречи каждый квартал. ■



СОЗДАВАЯ НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ,  
КОНСТРУИРУЕМ БУДУЩЕЕ

Производство порошков  
из никелевых сплавов  
методом PREP



АО «Ступинская металлургическая компания»  
Тел: +7 (495) 598 50 00 доб. 4001/4002  
[www.cmk-group.ru](http://www.cmk-group.ru)

# Технология ЭЛП 2.0: время внедрять

Первооткрывателем аддитивной технологии электронно-лучевого плавления (ЭЛП, E-PBF/EBM) стала шведская компания Arcam AB (ныне GE Additive). Было это еще в 1997 году. И затем на протяжении многих лет Arcam удерживала монополию в технологии электронно-лучевой плавки металлопорошковых композиций и добилась всемирной известности. В 2015 году ключевые патенты компании закончились, что и открыло дорогу новым игрокам. «Сложно ли сохранять лидерство, будучи монополистом? — спросит читатель. На этот риторический вопрос каждый найдёт единственно верный ответ. Но что произойдёт, если отпустить патенты и войти в рыночную конкуренцию? Для этого достаточно вспомнить ажиотаж, случившийся в индустрии аддитивных технологий после окончания действия патентов Stratasys Inc. Тогда рынок в самые короткие сроки наводнили многочисленные проекты с технологией FFF, появившейся благодаря своему прародителю FDM. Но так ли просто дотянуться до высочайшей планки, установленной Arcam, и даже под-

нять её ещё выше? Чуть забегаая вперед, скажем: совсем не просто, но всё же — не из разряда невыполнимых миссий. И в том, что сейчас на мировой и российский рынок АП выходит усовершенствованная технология электронно-лучевой плавки (по сути — ЭЛП 2.0), есть немалая заслуга в том числе отечественных компаний.

Чтобы двигаться дальше, давайте обратимся к возможностям технологии, отметив её самые важные конструктивные и технологические особенности. Принцип здесь состоит в выборочном плавлении порошкового металлического слоя материалом посредством его бомбардировки, под контролем магнитного поля, электронными лучами, исходящими из электронной пушки мощностью обычно 3–6 кВт. Чтобы исключить или минимизировать напряжения, обеспечить лучшее металлургическое качество, металлопорошковая композиция нагревается до температуры 700–1100 °С. А чтобы кислород из воздуха не смог воздействовать на металл, окисляя его и повышая риск взрывоопасности порошка, в технологии E-PBF используется вакуум. Сегодня

Рис. 1. Примеры деталей, изготовленных из различных материалов по технологии E-PBF



системы 3D-печати, работающие с металлическими порошками, для исключения негативного влияния кислорода на изделие используют либо инертный газ, либо вакуум. Оба заполнителя в рабочей камере служат одной цели. Однако в нашем случае электронный луч работает в коллаборации с вакуумом. Отмечается, что именно вакуумное плавление имеет максимально высокий коэффициент использования энергии, низкий коэффициент отражения, высокую скорость сканирования (против точечного воздействия лазера, как у L-PBF), а также высокую проникающую способность, большую глубину плавления и низкое напряжение в деталях — именно то, что является камнем преткновения для ближайшего конкурента — технологии СЛП (L-PBF), работающей в среде инертных газов с помощью лазера. Отметим также, что вакуум исключает горение в камере построения и образование соответствующих частиц, что позволяет получать более чистые изделия в сравнении с СЛП. После завершения печати в камеру построения закачивается гелий, и идёт медленное остывание с получением гомогенизированных отожжённых деталей.

Все слышали о поддерживающих структурах, без которых вроде как не обойтись, ведь они в нашем аддитивном мире помогают удерживать изделия на платформе и отводить тепло, смягчая напряжения. В ЭЛП они совершенно не обязательны! Дело в том, что электронный луч сканирует поверхность, причём делает это максимально быстро, как бы рассредоточиваясь одновременно в разных частях каждого слоя, и потому в формируемых слоях не успевают накапливаться напряжения. Например, производительность ЭЛП-принтеров составляет 55–80 см<sup>3</sup>/час против 2–20 см<sup>3</sup>/час у СЛП. Однако пыливый читатель может возразить, приводя в пример большие сборки в СЛП, в которых большое количество деталей расположены одна над другой (в трёх измерениях) со вспомогательными структурами, что создает видимость серийного производства. И он будет прав в том, что в некоторых случаях (а в серии этого очень важно) инженеры для максимального использования потенциала принтера соединяют перемычками детали для того, чтобы они надёжно удерживались одна над другой и позволяли принтеру работать в режиме 24x7 без присутствия оператора. Сравните для примера этот важный аспект с технологией L-PBF, когда детали через поддержки жёстко привариваются к плите, что уже ближе к двумерному расположению. Соответственно, в этом случае остаётся не задействованной остальная часть рабочей камеры, и эффективность работы принтера падает.

С технологией разобрались, её преимущества неоспоримы и крайне актуальны. Как обстоят дела с материалами?

Металлопорошки обычно используются в диапазоне размеров 45–100 мкм, что является достаточно

крупной фракцией, которая более безопасна ввиду низкой текучести, а также более доступна по сравнению с материалами для СЛП. Энергии электронной пушки и электронов, вылетающих из неё, достаточно для расплавления порошка многих токопроводящих металлов, даже с высокой степенью отражательной способности и теплопроводности, например, меди, тугоплавких металлов, сплавов циркония, тантала, молибдена, титана и его сплавов, хром-кобальтовых сплавов, никелевых сплавов. Но самый важный гость на рабочей платформе 3D-принтера — титановые сплавы ввиду исторических причин, своей высокой стоимости и сложности обработки традиционными технологиями. По этой причине главные потребители технологии ЭЛП — высокотехнологичные отрасли: авиастроение, космонавтика, медицина и производство электродвигателей. Например, прочные и лёгкие детали из сплава титана Ti6Al4V используются для изготовления частей двигателей и несущих конструкций NASA, а также корпорациями Boeing и Lockheed Martin. Протезы и имплантаты сегодня также успешно изготавливаются при помощи ЭЛП из биосовместимых титана и кобальтового сплава CoCr с полной безопасностью для организма человека. Абсолютным бестселлером в медицинской среде является производство ацетабулярных чаш для эндопротезирования тазобедренного сустава, рыхлая поверхность которых просто идеальна и без дополнительной обработки (не думайте, что именно такая «фирменная» шероховатость будет после печати — это специальные настройки в ПО для взаимодействующей с костями части геометрии чашки).

*Рис. 2. Серийное производство 54 ацетабулярных чаш для эндопротезирования тазобедренного сустава по технологии E-PBF (изображение предоставлено General Electric, Inc., США)*



Рис. 3. AM.TECH EBM-200



Е-РBF сегодня на мировой арене зарекомендовала себя наилучшим образом для производства ажурных и подверженных растрескиванию деталей, крупных технических элементов конструкций, тонкостенных изделий и мелких стержнеобразных элементов конструкций, в том числе с высокой сплошностью (например, превышающей 99,4% на Ti6Al4V).

С экономической точки зрения плюсы у технологии возникают как следствие более простого устройства оборудования, в котором отсутствуют дорогие и привередливые лазеры, зеркала, сканаторы. А благодаря более высокой производительности увеличивается выход готовой продукции и, соответственно, ускоряется окупаемость инвестиций.

Также практически любая АТ по металлам и сплавам предоставляет заготовку, соответствующую литейным технологиям или проволоочной наплавке. В первом и во втором случае для некоторых поверхностей потребуется механообработка, пескоструйка, галтовка, шлифовка или даже электрохимполировка. Технология ЭЛП также потребует подобного к себе внимания. Более высокая, чем в СЛП, шероховатость убирается вышеперечисленными методами, так что в этой области между технологиями нет явного лидера.

Для тех, кто рассматривает аддитивное производство в качестве рентабельного инструмента для изготовления ответственных металлических деталей, сегодня доступны несколько технологий, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Найти их не составит особого труда, доверившись опытным интеграторам. И лучше, если это будут компании, имеющие собственное производство оборудования или налаженную крупноузловую сборку — как следствие статуса СП с ведущими иностранными брендами. Компания AM.TECH как раз и представляет собой такого интегратора, со всей ответственностью подходящего к вопросам подбора оборудования из обширной собственной линейки 3D-принтеров и 3D-сканеров.

Таблица. Технические характеристики AM.TECH EBM-200

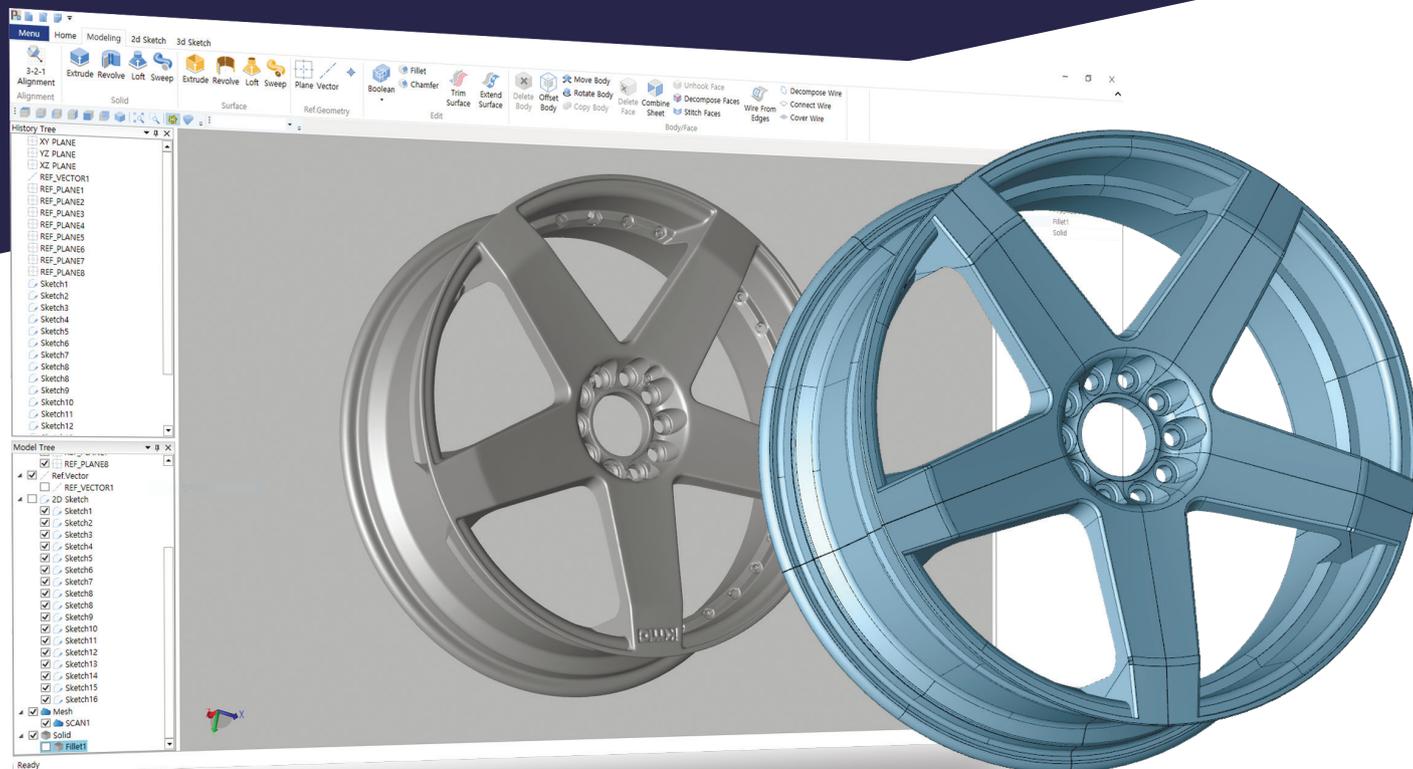
Максимальные размеры формования	200x200x450 мм
Мощность электронной пушки	6 кВт
Минимальный диаметр пятна луча	≤ 300 мкм
Точность размеров формования	±0,3 мм
Толщина порошкового слоя	0,035–0,2 мм (регулируемый)
Фракция порошка	45–106 (150) мкм
Способ подачи порошка	Односторонняя подача (поддерживается использование несфероидального порошка)
Материалы формования	Титановые сплавы, нержавеющая сталь, медь, тугоплавкие металлы, высокотемпературные сплавы и т.д.
Масса оборудования	4500 кг
Температура нагрева порошкового слоя	1100°
Требования к помещению	Влажность <40%; температура воздуха 15–30°
Вакуумизация перед печатью	5×10 <sup>-3</sup> Па
Степень вакуума рабочей среды	0,15–0,25 Па
Габариты оборудования (ДхШхВ)	2400x1900x3600 мм

Предлагаемые компанией системы серии EBM способны решать самые сложные задачи, которые неспособно решить другое оборудование или компании. 3D-принтер AM.TECH EBM-200, который является средним в линейке электронно-лучевого оборудования компании, можно увидеть в работе в стенах Московского цифрового завода. Традиционно для AM.TECH все параметры поставляемых решений остаются открытыми для всех категорий заказчиков — мы предоставляем полную свободу науке и производствам для быстрого освоения АТ и использования лучших или экспериментальных материалов на рынке для разработки новых деталей и получения уникальных физических и механических свойств. Современная технология ЭЛП переживает второе рождение благодаря новым и конкурентноспособным игрокам. Убедитесь в этом сами, посетив офис и производство AM.TECH! ■

Am.tech  
8 (495) 108 60 68  
office@am.tech

# PointShare™

Программное обеспечение для обратного проектирования и контроля геометрии



**Хотите стать дилером или получить бесплатную демолицензию на 14 дней? Обращайтесь!  
Мы открыты к сотрудничеству!**

**ООО «Инспект» — официальный дистрибьютор программного обеспечения PointShare на территории Российской Федерации.**



**Инспект**

**ООО «Инспект»**

Москва, ул. Золотая, 11, офис 4Б13а

Тел.: +7 (925) 682-19-87

info@inspectus.ru

[www.pointshape.online](http://www.pointshape.online)

[www.inspect-tech.ru](http://www.inspect-tech.ru)

# Россия и Китай меняют игру на рынке программного обеспечения

С уходом зарубежных программных продуктов пользователи аддитивных технологий лишились распространенных решений для технологической подготовки 3D-печати. Особенно ярко эта проблема проявилась в металлической печати, требующей отдельной настройки режимов сплавления, на что способен далеко не каждый слайсер. Даже изобилующий вариантами рынок аддитивных технологий Китая не мог сразу предложить рабочее решение для SLM-установок российской разработки.

Достойной заменой ранее популярных Materialise Magics и Autodesk Netfabb стало ПО VoxelDance Additive. Программа включает все необходимые инструменты для эффективной подготовки данных для 3D-печати: импорт и исправление ошибок 3D-модели, создание специальных технологических элементов и редактирование геометрии, ориентация и компоновка заготовок в камере построения, проектирование поддерживающих структур, слайсинг и подготовка управляющих программ (Build Processor). ПО хорошо зарекомендовало себя на зарубежном рынке — сегодня все ведущие производители 3D-принтеров в Китае предлагают его в качестве предустановленного в комплекте со своим оборудованием. В России же VoxelDance Additive только начинает осваивать рынок металлической 3D-печати, но уже активно используется в SLA- и SLS-печати.

На недавно прошедшем десятом технологическом форуме «Инновации. Технологии. Производство» было анонсировано завершение интеграции ПО VoxelDance Additive с крупнейшим отечественным производителем

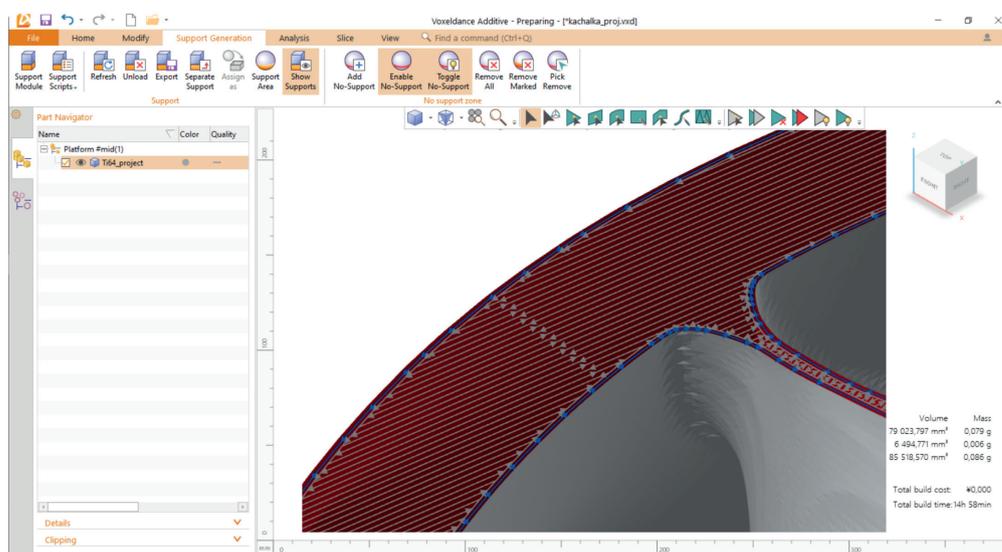
СЛМ-оборудования 3DLAM. ПО будет содержать модуль для управления стратегией сканирования, совместимый с принтерами 3DLAM. Теперь при приобретении VoxelDance Additive BP их пользователям будут доступны дополнительные возможности: несколько вариантов штриховки внутреннего объема, продвинутые настройки сплавления в различных регионах детали, а также гибкие настройки сплавления для многолазерных аддитивных установок.

Помимо этого на крупнейшей международной выставке, посвященной аддитивным технологиям TCT Asia 2024, разработчики представили новую версию VoxelDance Additive 5.0. Одно из ключевых обновлений — модуль VoxelDance Simulation, который также доступен для использования с любыми 3D-принтерами, включая 3DLAM. Симуляция позволяет спрогнозировать деформации, которые могут возникнуть в процессе, без непосредственной печати, что экономит время и деньги компании на изготовление первых образцов.

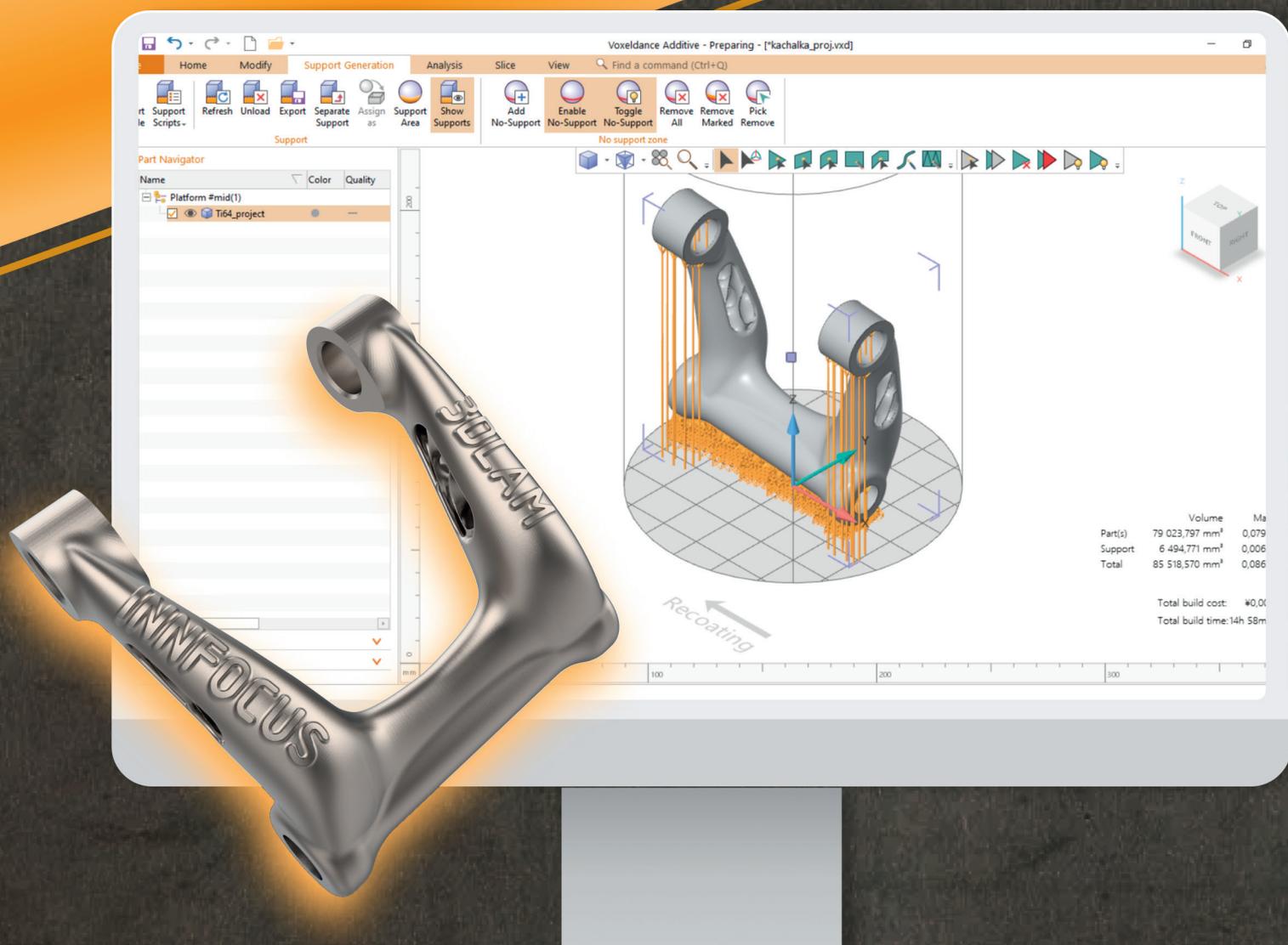
Релиз VoxelDance Additive с интегрированным модулем построения (Build Processor) запланирован на июнь. Специалисты в области аддитивных технологий смогут купить ПО как в комплекте с оборудованием 3DLAM, так и отдельно, к уже приобретенным принтерам. ■

ООО «ИННФОКУС»  
Тел.: 8 (800) 222-77-59  
E-mail: in@infcs.ru  
www.infcs.ru

*Рис. 1  
Стратегия сканирования  
оптимизированного  
критштейна, созданная  
в VoxelDance Additive BP  
для установки селективного  
лазерного сплавления  
3DLAM Mid*



**\*НОВЫЙ МОДУЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ОТ VOXELDANCE\*  
УПРАВЛЯЕТ СТРАТЕГИЯМИ ПЕЧАТИ 3DLAM**



Весь необходимый набор инструментов для эффективной подготовки данных перед 3D-печатью в одном ПО

ОФОРМИТЕ ПРЕДЗАКАЗ У  
ОФИЦИАЛЬНОГО ДИСТРИБЬЮТОРА  
VOXELDANCE В РОССИИ

8 800 222 77 59

additive@infcs.ru

voxeldance-russia.ru



# Стратегии и проблемы импортозамещения в аддитивном производстве: путь к технологической независимости



Иван Александрович Пащенко, генеральный директор ООО «ЗДЛАМ ИНДАСТРИАЛ»

3DLAM — российский производитель аддитивных комплексов для промышленной 3D-печати металлами по технологии SLM (технология селективного лазерного плавления).

## Введение

Мир наблюдает развитие аддитивных технологий, которые становятся частью промышленного ландшафта, внося изменения в производственные процессы от авиастроения до медицины. Россия активно интегрируется в этот процесс, разрабатывая и внедряя новые технологии для укрепления своих позиций на рынке. Однако в контексте глобальных политических и экономических вызовов, вопрос технологической независимости и импортозамещения становится особенно актуальным.

Импортозамещение в аддитивном производстве — экономическая необходимость и стратегическая задача, направленная на обеспечение национальной безопасности и устойчивого развития. Процесс импортозамещения затрагивает создание отечественных аналогов иностранных устройств и разработку технологий, которые могут предложить рынку новые возможности.

За 2023 год в России было произведено 1,5 тыс. единиц 3D-принтеров, что обусловлено ростом спроса в аэрокосмической промышленности, военно-промышленном комплексе, медицине и других отраслях. Общий объем рынка аддитивных технологий сегодня — 10 млрд рублей.

В статье мы рассмотрим стратегии и проблемы, связанные с импортозамещением в аддитивном производстве, и поделимся опытом 3DLAM в решении этих задач.

## Основные вызовы

Одна из проблем — интеграция иностранных компонентов и технологий в процесс производства. Согласно отчету «Ъ-Наука», только китайские комплектующие

составляют от 50% до 90% российских 3D-принтеров. Например, такие ключевые элементы, как печатающие головки и сервоприводы, закупаются и в Японии. Все это повышает уязвимость отрасли перед международными санкциями и логистическими перебоями.

Также российское аддитивное производство сталкивается с нехваткой высококвалифицированных кадров и разработчиков, что замедляет темпы инноваций и внедрения новых технологий. Из-за недостаточного количества специализированных образовательных программ ограничен доступ к специалистам, способным работать на стыке материаловедения, механики и программирования.

Вместе эти факторы создают сложную среду, в которой российские производители должны не только разрабатывать собственные технологии, но и создавать условия для развития человеческого потенциала и научной базы. Ответственное решение этих проблем определит будущее всей отрасли аддитивного производства в России и ее способность конкурировать на международном уровне.

## Стратегии импортозамещения

Отечественный производитель 3DLAM внедряет стратегии, направленные на снижение зависимости от зарубежных технологий. Мы концентрируем усилия на разработке собственных инновационных решений, которые позволяют заменить импортные аналоги и предложить уникальные продукты на рынке.

**1. Разработка собственных технологий:** мы создаем полностью локализованные аддитивные комплексы, которые включают в себя как оборудование,

так и программное обеспечение. Оборудование 3DLAM разработано в России и имеет локализацию более чем на 90–95%. Это достигается за счет использования отечественных лазеров, контроллеров и программного обеспечения для управления и подготовки 3D-моделей к печати. Все этапы производства, включая сборку, осуществляются в Санкт-Петербурге.

**2. Инвестиции в научные исследования и разработки:** мы налаживаем сотрудничество с ведущими техническими вузами и научными центрами России для совместной работы над новыми материалами и технологиями печати. Так, к примеру, мы разработали и запустили в производство сложные детали для двигателей и кузовных элементов самолетов. В области медицины ведутся работы по изготовлению индивидуальных имплантатов и протезов с использованием биосовместимых материалов.

**3. Ориентированность на поддержку отечественных производителей комплектующих и порошков** — отличительная особенность 3DLAM. Мы расширяем сеть российских поставщиков, тем самым создавая сквозную технологию 3D-печати металлами, полностью локализованной на территории РФ. Путем создания долгосрочных партнерских отношений с местными производителями мы стимулируем развитие отечественной промышленности и получаем более выгодные условия сотрудничества, что в итоге снижает себестоимость наших конечных продуктов. Компания также участвует в государственных и отраслевых программах, направленных на поддержку производителей высокотехнологичной продукции.

#### Практические шаги к технологической независимости

- Взаимодействия с государственными и промышленными структурами — ключевое направление нашей стратегии. 3DLAM сотрудничает с Министерством промышленности и торговли РФ, а также с крупными холдингами для синхронизации наших разработок с актуальными потребностями отрасли и государственными программами поддержки отечественного машиностроения и инноваций.

- Формирование стандартов и обеспечение качества продукции. 3DLAM не только следует установленным стандартам, но и активно участвует в их разработке.

- Мы вкладываем собственные средства в исследования и разработку новых аддитивных технологий. Это позволяет нам не только совершенствовать существующие решения, но и развивать новые.

- Создание демонстрационных и испытательных центров, где наши клиенты и партнеры смогут ознакомиться с возможностями нашего оборудования и технологий. Эти центры также служат площадками



для обучения и сертификации специалистов в области аддитивных технологий.

- Расширение производственных мощностей для увеличения объемов производства отечественных 3D-принтеров, печатающих металлом, и комплектующих.

#### Заключение

Перспективы аддитивных технологий в России связаны с кардинальным изменением подходов к проектированию и производству изделий. Становление технологической независимости в этой сфере требует разработки и внедрения новых технологий, формирования подходящего законодательного, а также экономического контекста.

Мы видим будущее аддитивных технологий в России как открытое поле возможностей, где каждое предприятие, каждый исследователь может внести свой вклад в развитие отрасли. Это требует активной поддержки на всех уровнях — от правительственных структур до частного бизнеса. Мы призываем все заинтересованные стороны активизировать свои усилия и сосредоточить внимание на поддержке отечественных производителей, что позволит ускорить процесс технологической независимости и приведет к формированию сильной, конкурентоспособной промышленной базы в России.

Поддержка аддитивных технологий должна выражаться не только в финансовом аспекте. Важно создание условий для обмена знаниями, технологического сотрудничества между предприятиями и разработчиками, подготовки квалифицированных кадров, способных работать в новой технологической реальности.

Достижение технологической независимости и импортозамещения в сфере аддитивных технологий возможно только при комплексном подходе, который включает в себя поддержку инноваций в сфере 3D-печати металлами и разработку нормативной базы. Только совместными усилиями мы сможем достичь поставленных целей и обеспечить России место среди лидеров мировой индустрии аддитивных технологий. ■

<https://addtechno.ru/>

# Отечественный рынок аддитивного производства: окно возможностей и технологические барьеры



Андрей Берюхов,  
к.т.н., директор бизнес-направления «Аддитивное производство» ООО «Горизонт покрытий»

*Текущие геополитические условия, в которых существует наша страна, сформировали уникальный рыночный ландшафт во всех отраслях промышленности. Беспрецедентное санкционное давление на наших глазах ломает устоявшуюся десятилетиями парадигму «мы сможем купить любые товары за нефtedоллары», заставляя государство и отечественный бизнес в крайне сжатые сроки перестраивать не только логистические модели, но и возвращаться к вопросу возрождения собственной промышленности. Но вопрос импортозамещения имеет многофакторный характер, особенно если речь идет о стратегических с точки зрения развития страны отраслях: аэрокосмической, металлургической, нефтегазовой, энергетической и другие.*

В любой отрасли промышленности для полноценного технологического суверенитета необходимо решать комплекс задач, начиная от возрождения конструкторской школы и заканчивая технологическим перевооружением производственных мощностей. Поэтому в текущих условиях складывается уникальная ситуация (или как принято говорить — окно возможностей) для максимального ускорения процессов внедрения современных и перспективных производственных технологий, одной из которых как раз являются аддитивные технологии. Преимущества, которыми обладают технологии аддитивного производства, такие как оперативность вывода продукта на рынок, высокая технологическая гибкость и максимальная интеграция в технологии цифрового производства, позволяют в текущих реалиях максимально отвечать тем вызовам, которые стоят перед российскими производителями.

Рассмотрим примеры, реализованные компанией «Горизонт покрытий» в области контрактного про-

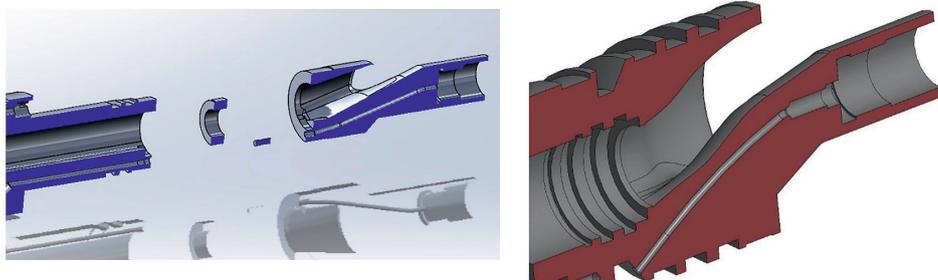
изводства изделий заказчика методом 3D-печати на оборудовании, работающем по технологии селективного лазерного сплавления металлических порошков (SLM). Основой производственного участка является SLM- 3D-принтер Trumpf TruPrint 3000 с полем построения Ø300 x H400, лазерным источником мощностью 500 Вт, производительностью 5±60 см<sup>3</sup>/ч, подогревом платформы построения 200°C. Среди применяемых материалов — нержавеющие стали (316L, 12X18H10T и аналогичные), жаропрочные никелевые сплавы Inconel 718/625, 17-4PH, CoCr, AlSi10Mg.

Начиная с первой половины 2023 года компания выполняет серию работ для одной из нефтесервисных компаний по комплексному реинжинирингу компонентов телеметрического оборудования для контроля параметров бурения в целях организации серийного выпуска методами аддитивного производства. До ужесточения санкционных ограничений комплектующие для такого типа оборудования, производящегося в США, можно было поставить в РФ. Теперь это стало невозможно, и отечественным организациям-эксплуатантам приходится искать варианты локализации таких компонентов в России или дружественных странах. В данном случае, ситуация усложняется тем, что эти приборы работают в достаточно тяжелых условиях (температура в районе 200°C и давление не менее 10 МПа), поэтому к характеристикам материала деталей предъявляются достаточно высокие требования. Использование жаропрочных никелевых сплавов, как в оригинальном изделии, поставило перед компанией-заказчиком достаточно сложный спектр задач, связанных

Рис. 1. Участок аддитивного производства



Рис. 2. Конструкция исходного изделия и его переработанный под АТ вариант



как с поиском исходного сырья для производства (как оказалось, на отечественном рынке практически нет проката из сплава Inconel 718 в виде прутка), так и с подбором производственной площадки для изготовления изделий (в оригинальной технологии используется электроэрозионная обработка фасонным электродом и электронно-лучевая сварка). Поэтому в данном случае технологии аддитивного производства стали неожиданно востребованы. Была не только подобрана необходимая марка материала для изготовления изделий, но и совместно со специалистами заказчика с учетом опыта эксплуатации оригинальных изделий оптимизирована конструкция деталей (перепроектирована геометрия изделия под изготовление одной деталью), а также изменена конфигурация внутренних сложнопрофильных каналов, уменьшен эффект эрозионного износа внутренних каналов буровым раствором. На рис. 2 представлены конструкция исходного изделия и его доработанный под технологию 3D-печати вариант.

На текущий момент освоены в производстве три типоразмера корпусных элементов телеметрического оборудования для нефтесервисных компаний (рис. 3) и продолжается работа по расширению номенклатуры изготавливаемых изделий (в том числе с применением технологии ремонта изношенных участков методом прямого лазерного выращивания (DMD)).

В то же время текущая ситуация, которая выступила своеобразным драйвером развития отечественного рынка контрактного аддитивного производства деталей, выявила ряд факторов, которые становятся в определенном смысле барьерами на пути успешной реализации подобных проектов. В процессе выполнения работ по изготовлению партии данных компонентов нефтесервисного оборудования команда столкнулась с достаточно серьезными проблемами доступности услуг постобработки напечатанных заготовок.

На первом этапе постобработки для таких материалов, как инконель, обычно выполняется термическая обработка путем трехстадийного процесса «закалка на раствор — двойное старение» с использованием вакуумной печи (рис. 4) и стандартная процедура контроля механических свойств материала заготовок методами разрушающего контроля образцов-свидетелей (рис. 5).

На данном этапе возникла необходимость поиска и подбора режимов термообработки для нужного сплава и требуемого уровня механических характеристик. Как оказалось, доступные на рынке мощности по термообработке (закрытые площадки в расчет брать нельзя, так как они недоступны заказчикам с гражданского рынка) не имеют нужных компетенций в области термической обработки специальных сплавов. Это стало определенной трудностью в рамках проекта, но благодаря совместной работе с коллегами из Центра технологии мате-

Рис. 3. Варианты компонентов телеметрического оборудования для нефтесервисных компаний

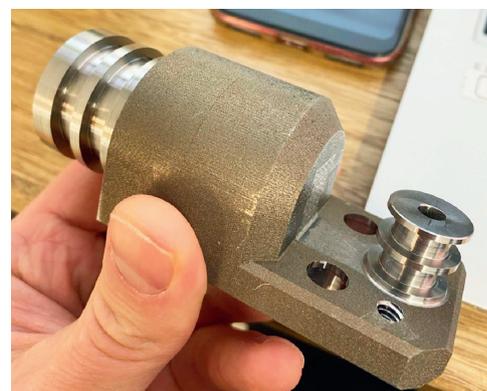


Рис. 4. Процесс термической постобработки напечатанных заготовок из сплава Inconel 718 в вакуумной печи

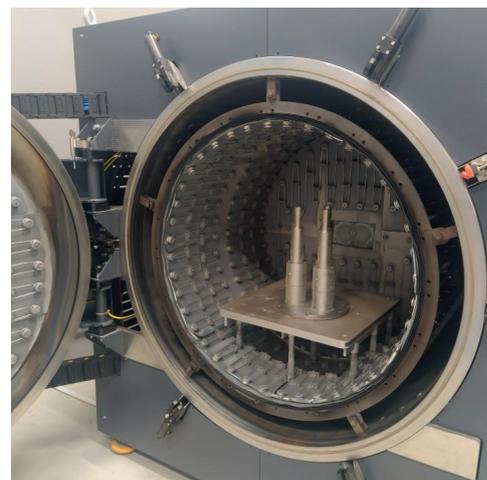


Рис. 5. Процедура контроля механических характеристик напечатанного материала методом разрушающего контроля образцов-свидетелей



риалов «Сколтеха» вопрос с режимами термообработки удалось оперативно решить. Это один из барьеров на пути импортозамещения различных изделий, особенно специального или ответственного назначения.

Другой достаточно серьезной проблемой стала мехобработка напечатанных заготовок. В процессе поиска подрядчика для выполнения токарной, фрезерной и другой механической обработки напечатанных заготовок изделий выяснилось несколько аспектов, которые стали достаточно серьезными барьерами:

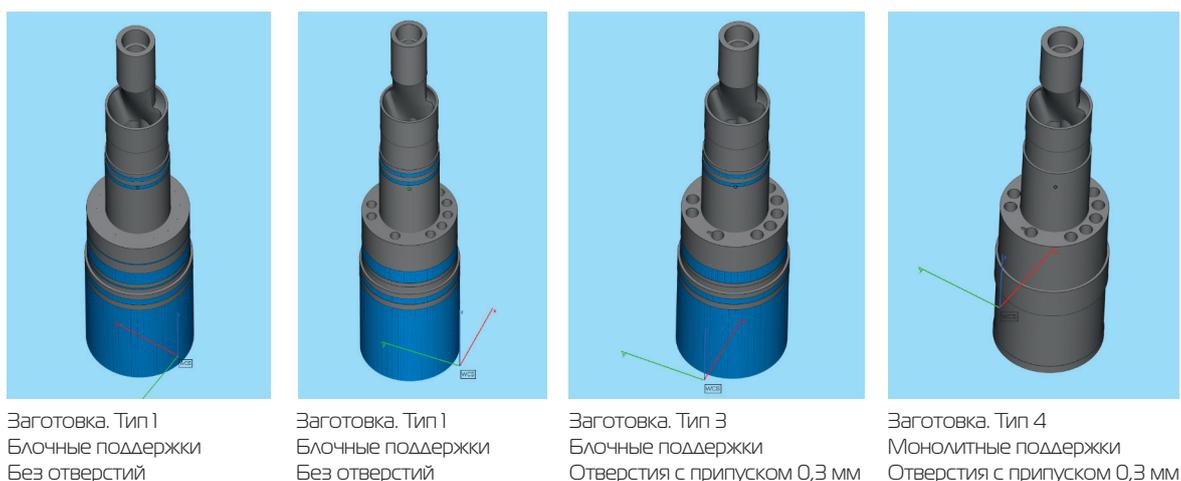
- 1) операторы рынка мехобработки не готовы работать с напечатанной заготовкой в виду ее относительно высокой себестоимости и рисков ответственности в случае выпуска брака;
- 2) отсутствие взаимных компетенций у производителей заготовок аддитивным способом и компаниями, работающими на рынке услуг по механической обработке. Например, в процессе выполнения производственного заказа по рекомендациям специалистов по мехобработке исходный вид заготовки, получаемой после процесса 3D-печати, претерпел три итерации корректировки геометрии (рис. 6);

3) отсутствие на рынке услуг по мехобработке достаточного объема предложений и компетенций по обработке жаропрочных никелевых сплавов и других спецматериалов, с которыми в АТ уже умеют работать.

В результате достаточно длительного процесса поиска надежного поставщика качественных услуг по мехобработке партия импортозамещенных компонентов все же была сдана заказчику и успешно эксплуатируется в составе оборудования.

Подводя итог, можно сказать, что текущая рыночная ситуация являет собой окно возможностей для технологичной аддитивного производства в вопросах максимального спроса на услуги и внедрения в различные виды техники и применения. Однако в то же время относительное слабое развитие рынка аддитивных технологий в целом порождает целый комплекс проблем, которые приходится решать операторам рынка услуг контрактного производства методами АТ, а именно — низкий уровень компетенций в области 3D-печати для традиционных технологий у представителей рынка и отсутствие достаточного количества свободных мощностей на рынке услуг постобработки. ■

Рис. 6. Изменение геометрии напечатанных заготовок в процессе отработки технологии постобработки



# **ГОРИЗОНТ ПОКРЫТИЙ**

**Компания «Горизонт Покровтий» продолжает традиции Оерликон  
ОСС СНГ в России**

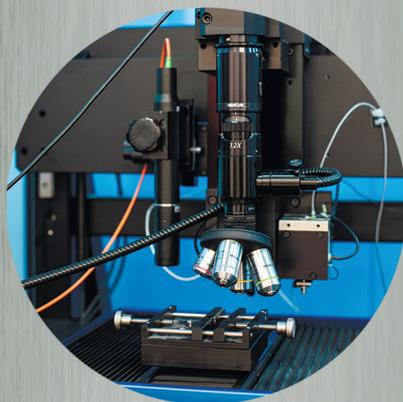
**Одним из ключевых направлений компании являются  
аддитивные технологии:**



**Контрактное производство  
деталей заказчика методом 3D  
печати**



**Разработка производство и  
поставка мобильных комплексов  
аддитивного производства**



**Комплексный  
реверс-инжиниринг с  
организацией изготовления  
изделий-аналогов**



**Реинжиниринг изделий  
под 3D печать**

**EMAIL: [ru.info@hcoatings.ru](mailto:ru.info@hcoatings.ru)  
Телефон: +7 (495) 107-01-30  
адрес: г. Москва, ул. Николаямская 13 стр.1, 4 этаж**



# rosmould & 3D-TECH

rosmould.ru

Международная выставка  
пресс-форм и штампов,  
оборудования  
и технологий для  
производства изделий

18–20 июня 2024

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

## 3D-TECH

Специализированная  
экспозиция аддитивных  
технологий и 3D-печати



Промокод для получения  
бесплатного билета

**RM24-WJ7HC**

# Аддитивные технологии — один из драйверов развития промышленности



Пятый лидер-форум «Аддитивные технологии — новая реальность», организованный Ассоциацией развития аддитивных технологий при поддержке Правительства Республики Татарстан и госкорпорации «Росатом», проходил в ноябре 2023 года в Казани на площадке ИТ-парка имени Башира Рамеева. В рамках двухдневной программы состоялись пленарная сессия и более десяти тематических мероприятий, посвященных применению аддитивных технологий в различных отраслях промышленности, медицине и строительстве (рис. 1).

Более 80 выступлений спикеров, более 2000 гостей, более 120 экспонатов оборудования в рамках выставочной экспозиции, 9 команд-участников конкурса «Ночь технологий» из восьми технических вузов страны, целый ряд подписанных соглашений о развитии партнерских отношений и сотрудничестве в сфере АТ — таковы главные итоги этого масштабного мероприятия.

Открыл лидер-форум раис Татарстана Рустам Минниханов, который в своем выступлении подчеркнул важность аддитивных технологий как основы для перехода к новому технологическому укладу и выразил заинтересованность республики «выступать не только потребителем аддитивной продукции, но и играть роль генератора ключевых решений».

## Статистика развития рынка аддитивных технологий

На сегодняшний день мировой рынок аддитивных технологий (АТ) растет. По данным, представленным директором по технологическому развитию госкорпорации «Росатом» **Андреем Шевченко**, в 2022 г. его объем составил 18 млрд долларов. И, согласно мировым рейтинговым агентствам, рост продолжится до 72 млрд долларов в 2030 году.

Рис. 1. Мероприятия лидер-форума. Фото: <https://vk.com/leaderforum>, <https://www.tatar-inform.ru/>



Российский рынок АТ гораздо меньше, чем мировой. По различным оценкам, он находится в диапазоне 4,5–7,4 млрд рублей в зависимости от состава целевых сегментов. По итогам 2022 года многие локальные компании-производители показали заметный рост выручки, в том числе за счет запуска новых продуктов и расширения портфеля оборудования, а также освоения серийного производства.

По данным ООО «РусАТ», Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ) и «Исследовательской группы «Инфомайн», основные потребители АТ — стра-

тегические отрасли РФ (в скобках указаны ведущие потребители): космос («Роскосмос», «Ростех»), авиация и двигателестроение (ОДК, УЗГА, S7, Aerospace), нефтегазовое, химическое, энергетическое машиностроение («Газпром», «Роснефть», турбинные заводы, приборостроительные заводы), атомная промышленность (предприятия ГК «Росатом»), медицина («Моторика», «Эндопринт», ГК АМТ), автомобильная промышленность («КАМАЗ», «АвтоВАЗ», НАМИ), судостроение (ОСК, судоремонтные заводы), прочее (образование, В2С-сегмент). ■



Лидирующей компанией в РФ с точки зрения развития АТ в атомной промышленности является госкорпорация «Росатом». На сегодня уже 25 предприятий из 4 дивизионов корпорации внедряют АТ. Отраслевым интегратором, который развивает АТ сам и выступает проводником для корпорации в целом, является ООО «РусАТ», созданное пять лет назад с целью координации усилий всех предприятий корпорации.

По словам генерального директора компании-интегратора по аддитивным технологиям госкорпорации «Росатом» **Ильи Кавелашвили**, объем инвестиций ООО «РусАТ» до 2030 года в АТ составит порядка 3,5 млрд руб. (более 70% инвестиций в отрасль в РФ). В госкорпорации «Росатом» реализуется полный цикл работ в области АТ — от разработки технологий до их внедрения в отрасли. Разработка технологий осуществляется в рамках НИОКР по госпрограмме «Развитие техники, технологий и научных исследований в области использования атомной энергии» (РПТН).

**В настоящее время в рамках развития направления АТ в ГК «Росатом» реализуется более 45 проектов:**

- 16 — по оборудованию для 3D-печати (разработка оборудования по технологиям SLM, высокотемпературный SLM, DMD, EBAM, EBМ, керамика, полимерная печать, разработка комплектующих).
- 10 — по материалам для АТ (разработка оборудования для производства материалов, создание производств

материалов (нержавеющая сталь, титановые сплавы, жаропрочные сплавы), разработка керамик и материалов с эффектом памяти и уникальных композиций, аттестация материалов для внедрения в отраслевой производственный цикл.

- 15 — по услугам печати и пилотным проектам (создание отраслевых центров аддитивных технологий — ЦАТ, производственных участков и внешних центров аддитивных технологий общего доступа — ЦАТОД, отработка технологий изготовления изделий, ранее производимых традиционными способами, разработка ПМИ и проведение комплексных испытаний, мероприятия по формированию рынка АТ и спроса, услуги 3D-печати внешним и отраслевым заказчикам).

- 5 — по ПО для 3D-печати: разработка программно-аппаратной платформы (ПАП), комплексного ПО «Виртуальный 3D-принтер», ПО для оборудования SLM, DMD, EBAM, разработка системы неразрушающего контроля качества изделий, выполненных с использованием АТ.

Дополнительно в 2020 г. в «Росатоме» утверждена дорожная карта внедрения АТ в роскорпорации, включающая 16 проектов НИОКР, 11 проектов внедрения в 2020–2024 гг. Результатом ее реализации является внедрение АТ в производство, разработка оборудования, обучение специалистов.

**С целью ускорения научно-технологического развития АТ в РФ на текущий момент сформиро-**

Рис. 2. Изделия для атомной промышленности, выполненные с помощью АТ:

1 – выгородка атомного реактора ВВЭР, 2 – фланец электрохимического генератора, 3 – угольник парогенератора и рабочее колесо насоса



вана и проходит утверждение федеральная комплексная программа полного инновационного цикла (КНТП), включающая следующие этапы: генерация знаний: зарождение научных идей, научные исследования; трансфер технологий: ОКР, исследования рынка и продвижения, опытное производство; вывод на рынок: серийное производство.

Основные участники КНТП: ГК «Росатом», ГК «Роскосмос», ГК «Ростех», ПАО «Газпром», ФГУП «ВИАМ», АО «ОДК».

**Среди уже выполненных для атомной промышленности сложных изделий:**

- Выгородка атомного реактора ВВЭР (рис. 2, 1). Завершено изготовление фрагмента выгородки реактора по технологии ПЛВ: высота – 1 м, масса – 700 кг. С помощью 3D-печати удалось изготовить оптимизированную конструкцию выгородки реактора, улучшив ее рабочие характеристики и экспериментально доказав возможность изготовления крупногабаритных изделий ответственного назначения методами ПЛВ.

- Фланец электрохимического генератора (рис. 2, 2). Разработана конструкция, технология изготовления, напечатаны опытные образцы, проведены испытания. Освоен серийный выпуск изделий. С помощью 3D-печати удалось в 4 раза снизить себестоимость изделия, почти в 3 раза сократить сроки изготовления изделия. Коэффициент использования материалов (КИМ) увеличен на 90%. Значительно упрощена конструкция.

- Обработка технологии изготовления элементов оборудования атомной энергетики. Угольник парогенератора и рабочее колесо насоса (рис. 2, 3). Коэффициент использования материалов (КИМ) увеличен в 3–4 раза для рабочего колеса насоса и до 5 раз для угольника парогенератора. Значительно упрощена конструкция.

Предприятия «Росатома» также оказывают услуги 3D-печати для заказчиков в России. Например:

- Для «Элемаш» («Росатом») был выполнен заказ на печать опытных образцов детали «Импеллер», детали проходят ресурсные испытания в составе оборудования. С помощью 3D-печати удалось оптимизировать конструкцию детали. Внесены изменения в РКД. Улучшены рабочие характеристики. Снижен вес детали.

- По заказу ФГУП «ЭХП» («Росатом») на площадке НПО «Центротех» ведется печать почти 200 изделий типа «Статор – ротор» из материала Inconel718 (рис. 3, 1). С помощью 3D-печати удалось повысить скорость изготовления деталей сложной формы. Снижены отходы материалов и общий объем работ.

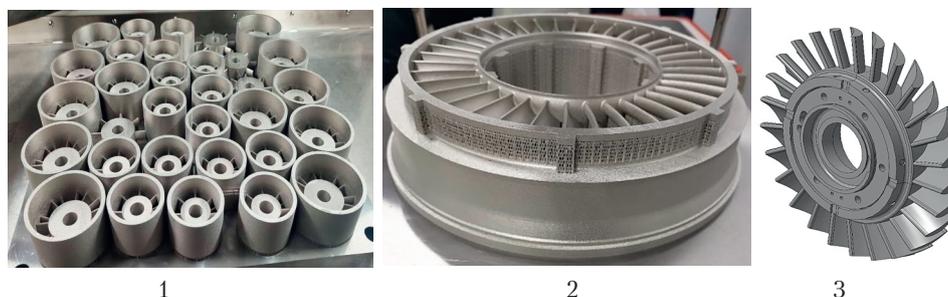
- Для АО «Уральский завод гражданской авиации» на площадке ООО «НПО «Центротех» изготовлены заготовки детали «Сопловой аппарат» (рис. 3, 2). Выполняется отработка режимов детали «Цилиндр». С помощью 3D-печати удалось повысить скорость изготовления деталей сложной формы. Снижены отходы материалов и общий объем работ.

- Для «Газпром» выполнена печать изделия «Сопло» из 12X18H10T (рис. 3, 3). С помощью 3D-печати удалось оптимизировать конструкцию детали. Улучшены рабочие характеристики и снижен вес детали.

В своем выступлении Илья Кавелашвили выделил проблемы, которые препятствуют широкому внедрению аддитивных технологий в производство: в плане нормативной базы – необходимость получения разрешений на применение АТ во всех отраслях, особенно атомной; стереотип о высокой стоимости 3D-печати и долгом сроке окупаемости оборудования; отсутствие в достаточном объеме высококвалифицированных кадров и др. Эксперты ООО «РусАТ» разрабатывают стратегии,

Рис. 3. Изделия для заказчиков, выполненные на предприятиях «Росатома»:

1 – изделия типа «Статор – ротор», 2 – заготовка детали «Сопловой аппарат», 3 – изделие «Рабочее колесо»



направленные на решение этих проблем, нацелены на создание условий, при которых бизнес и промышленность смогут эффективно функционировать, преодолевая всевозможные препятствия и барьеры.

**Ольга Оспенникова**, исполнительный директор Ассоциации развития аддитивных технологий, отметила, что госкорпорация «Росатом», являясь лидером по аддитивным технологиям, системно идет к внедрению технологий. Кроме того, она подробно рассказала о целях создания центров аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД). Так, в контуре госкорпорации «Росатом» и на предприятиях субъектов РФ они способствуют внедрению АТ в производственные процессы, в вузах — развитию и коммерциализации высокотехнологичных направлений в цепочке «кадры — наука — производство», в рамках органов исполнительной власти в субъектах РФ — развитию высокотехнологичных отраслей и повышению конкурентоспособности региона.

Ольга Оспенникова отметила также роль Ассоциации развития аддитивных технологий. На сегодняшний день ассоциация является центром компетенций, который ведет большую аналитическую работу, чтобы определять основные векторы развития АТ как в России, так и в мире. В составе ассоциации — 20 предприятий, за последние полтора года в нее вступили предприятия малого и среднего бизнеса, которые развивают определенные направления и технологии, а также вузы, которые занимаются подготовкой кадров для отрасли.

**Алексей Дуб**, первый заместитель генерального директора, научный руководитель ПННТР «Материалы и технологии» госкорпорации «Росатом», показал подход к внедрению АТ в корпорации: развитие технологии, воплощение технологии в оборудовании, выпуск изделия, на котором в явном виде можно продемонстрировать преимущества технологии.

В корпорации развиваются технологии с использованием порошка, проволок и стержней, технологии печати керамическими и композиционными материалами на основе полимеров и углеродных волокон. Также важны направления управления технологическим процессом и создания сканаторов.

**Сергей Агапов**, генеральный директор ООО «НПО «Центротех», считает, что внедрение аддитивных технологий — это эффективный бизнес. Пример четырех образцов продукции, которые стали для предприятия ключевыми, это подтверждает.

Напечатанный фланец электролизера водорода (применяется для разделения сред кислород — водород) доказал, что, применяя АТ, можно безопасно работать с опасными средами. Стоимость традиционного изготовления — 3,5 млн руб., с применением АТ — 800 тыс. руб. при коэффициенте использования материала до 95%.

Особенность изделия «Фильера» (применяется для изготовления катализаторов) в том, что на матрице диаметром 10 см размещается 7850 отверстий диаметром 0,4 мм и высотой 13 мм. Ранее детали изготавливались за рубежом с помощью электроэрозионной обработки. Изготовление классическим способом — 15 суток при себестоимости 500 тыс. руб., 3D-печать в рамках собственного предприятия — 1,5 суток и 100 тыс. руб.

Детали роторно-статорной части малогабаритных двигательных установок — ответственные детали, подвергающиеся высокой нагрузке, требующие высокого качества и точности производства. Изготовление по технологии литья по выплавляемым моделям занимало порядка 60 суток при стоимости 1,3 млн руб., по SLM-технологии — 6 суток и 0,5 млн руб.

Направление реинжиниринга с последующей 3D-печатью при изготовлении седла и клапана регулятора и деталей гидронасоса специальной техники дает существенную экономию времени. Прецизионная механическая обработка и литье под давлением занимают от 21 суток, SLM-печать — 1 сутки.

Понимание возможностей привело к тому, что на текущий момент предприятие развивает 4 направления АТ: производство 3D-принтеров, услуги печати, производство порошков, НИОКР (реинжиниринг). В 2023 году общая выручка по направлению АТ составила порядка 160 млн рублей. Поэтому сформулированные ниже **преимущества внедрения АТ в экономических и имиджевых аспектах** были отмечены докладчиком из собственного опыта:

- Прежде всего это клиентоориентированность, минимизация сроков поставок, эффективность, расширение границ возможного, оперативность, снижение потребности в персонале, расширение номенклатуры, снижение зависимости от внешних поставщиков.

- При разработке и создании производства сокращаются сроки вывода новых продуктов на рынок до 75%, затраты вывода новых продуктов на рынок — до 50%, наблюдается кратное снижение CAPEX на создание производства заготовок.

- В части производства в 1,5–2 раза снижаются затраты на механическую обработку, в 1,5–2 раза снижаются запасы, до 80% увеличивается коэффициент использования материалов.

- При эксплуатации до 60% увеличивается скорость ремонта, минимизируются затраты от остановки производства за счет 3D-печати запчастей, до 75% снижаются затраты энергии при ремонте.

- На этапе утилизации до 90% снижаются издержки производства, из-за отсутствия грязных веществ в АТ-производстве снижаются загрязнения, благодаря рециклингу порошковых материалов и газов обеспечивается безотходность производства.

- Таким образом, внедрение аддитивных технологий — это экология, автономность оборудования, ста-

бильное качество продукции, сохранение недр, забота о будущем, минимизация отходов, экономия ресурсов, совокупное снижение затрат, энергоэффективность.

При этом Сергей Агапов поделился сводной таблицей, которая отражает нишу применения аддитивных технологий, также проверенную на собственном производстве (рис. 4)

В стратегии госкорпорации «Росатом» НПО «ЦНИИТМАШ» закреплено как разработчик головных образцов оборудования. С момента выпуска в 2016 году первого SLM-принтера предприятием введены в эксплуатацию шесть 3D-принтеров и два 3D-принтера находятся в процессе запуска.

**Виктор Орлов**, генеральный директор НПО «ЦНИИТМАШ», в докладе рассказал о планах предприятия и уделил внимание оценке соответствия АТ и изделий аддитивного производства для применения на объектах атомной энергии.

Он отметил, что с опытом пришло понимание того, что чтобы верифицировать получаемые на оборудовании результаты и достаточно адекватно проводить исследования свойств, необходимо отслеживать технические процессы. И те образцы оборудования, которые сейчас изготавливаются, оснащаются системами контроля. Попутно НПО «ЦНИИТМАШ» осваивает изделия, которые могут выпускаться с помощью 3D-печати серийно. Так, в сотрудничестве с ИЛИСТ и «ЗИО-Подольск» была реализована технология изготовления сепарационного элемента для атомных ледоколов. Это серийное изделие, т.к. на атомных ледоколах (рис. 5) устанавливается две энергетические установки, а на одной реакторной установке, например, «РИТМ-200»,

Рис. 5. Сепарационный элемент для атомных ледоколов, выполненный с помощью 3D-печати. Фото: НПО «ЦНИИТМАШ»



125 изделий. По данному изделию уже закончены испытания, где подтвердились не только сепарационные характеристики, но и коррозионная стойкость. Осталось только поставить на производство.

И вот тут возникает задача обеспечить жизнь подобным разработкам — получить заключение о возможности применения на объектах атомной энергетики, которое понятно любому участнику кооперации, а именно — обеспечить типовой порядок оценки соответствия АТ и полученных с их помощью изделий, подготовить методики испытаний и контроля.

**Александр Лукоянов**, начальник отдела аддитивных технологий и робототехники АО «ОКБМ Африкантова», рассказал, что путь к открытию на предприятии ЦАТ в феврале 2023 года не был простым. Первые внедрения АТ для изготовления нестандартных средств технического оснащения осуществлялись группой энтузиастов на FDM-принтерах. Когда встал вопрос получения готовых изделий без склейки, было принято решение собрать собственный FDM-принтер для внутренних задач с полем печати 550×550 мм:

Рис. 4. Критерии эффективного внедрения АТ на производстве



на текущий момент машина закрывает внутренние потребности предприятия. Общий эффект от внедрения изделий из полимерных материалов, полученный за период 2021–2022 гг., составил 16045 млн руб.

С внедрением металлической 3D-печати были изготовлены из нержавеющей стали 12Х8Н10Т такие изделия, как «Аппарат направляющий» и «Подвод» для насосного оборудования реакторной установки «РИТМ-200». Изделия проходят испытания. В качестве пилотных проектов были выбраны еще два изделия: «Коробка клемная» (насосное оборудование для РУ «РИТМ-200», из нержавеющей стали 12Х8Н10Т) и «Вытеснитель» (парогенераторное оборудование РУ «РИТМ-200», титановый сплав ПТ-3В). Для участия в дорожной карте корпорации «Росатом» был приобретен 3D-принтер Farsoon FS301M, на котором планируется изготавливать изделия «Рабочее колесо»

и «Угольник» (рис. 2, 3). На базе сварочного робота принято решение реализовать WAAM-печать (3D-печать металлической проволокой с использованием методов дуговой сварки). На предприятии на перспективу сформулирована программа и дальнейшего внедрения АТ для производства РУ «РИТМ-200», которая используется для ледокольного флота и электростанций малой мощности.

Представленная докладчиками информация показывает большую заинтересованность в развитии АТ в корпорации «Росатом», системный подход к решению поставленных задач, достигнутые успехи, демонстрирующие преимущества АТ при изготовлении сложных изделий, вселяют уверенность в реализации в ближайшем будущем и других не менее амбициозных планов и проектов. ■



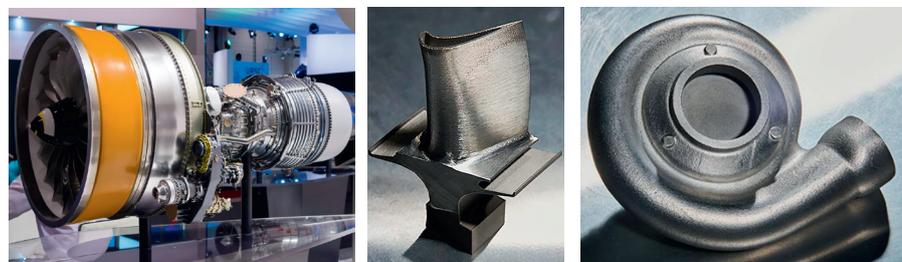
Применение АТ в секторе «Авиация и космос» стабильно входит в топ-3 сегментов мирового рынка АТ. По данным, приведенным в презентации **Дениса Пудкова**, модератора секции, заместителя генерального директора по производственно-технологическому развитию ИСРД АО «НПО «Энергомаш», доля АТ составляет около 14% в общей мировой структуре. В секторе наблюдается стабильный рост применений, а также увеличение числа НИОКР.

В России, по различным оценкам, на сегмент «Авиация и космос» приходится около 42%. Многие

предприятия в авиации и космической промышленности уже применяют АТ при изготовлении деталей и комплектующих, пользуясь возможностью снижения массы изделия за счет повышения его конструктивной сложности. Применение АТ позволяет также сократить время разработки деталей, снизить общее количество затрачиваемых ресурсов. Многие элементы можно сделать едиными — уменьшить количество соединений, составных частей.

В качестве примеров докладчик привел следующие изделия:

Рис. 6. Напечатанные изделия: 1 — рабочая лопатка перспективного турбореактивного двигателя, 2 — корпус центробежного насоса



1

2

- Рабочая лопатка перспективного турбореактивного двигателя (рис. 6, 1). Материал: отечественная металлопорошковая композиция Х15Н5Д4Б. В ходе реализации проекта были получены преимущества: сокращение сроков производства в 4 раза, полное отсутствие дефектов производства.

- Корпус центробежного насоса (рис. 6, 2). Применение АТ позво-

Рис. 7. Создание биметаллического изделия путем наплавки рубашки из никелевого сплава на выполненную традиционными или аддитивными способами заготовку. Фото: ИЛИСТ



лило создать деталь сложной спиралевидной формы с сохранением внутренних поверхностей и полостей чистыми в целях минимизации механической обработки.

**Глеб Туричин**, директор ИЛИСТ, ректор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ), в свою очередь, привел

Рис. 8. Кольцо наружное от двигателя ПД-14: максимальный диаметр 2070 мм, высота 250 мм, порошок ВТ-6, масса наплавленного материала 86 кг. КИМ – более 70%, время выращивания 128 часов. Фото: ИЛИСТ



примеры изделий, изготовленных по технологии прямого лазерного выращивания, которая позволяет создавать крупногабаритные высокоточные заготовки для задач авиации и ракетной техники, в том числе сложно решаемых или вообще не решаемых посредством традиционных технологий. Так, технология прямого лазерного выращивания позволяет создавать мультиметалличе-

Таблица 1

Преимущества	Барьеры	Пути решения
Этап проектирования и опытного производства		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Повышение технико-экономических, эксплуатационных и экологических характеристик.</li> <li>Улучшение показателей авиационной техники за счет бионической, генеративной и топологической оптимизации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Специальные квалификационные требования к деталям, созданным с помощью АТ, авиационной техники, и объему испытаний, как к особо ответственным деталям.</li> <li>Низкая пропускная способность НИЦ и ИЛ*.</li> <li>Длительная продолжительность испытаний и высокая стоимость.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Совершенствование нормативной базы.</li> <li>Введение фиксированных требований по перечню и объемам испытаний в подтверждение летной годности:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>– для особо ответственных деталей,</li> <li>– основных деталей,</li> <li>– неответственных деталей, производимых с применением АТ.</li> </ul> </li> <li>Увеличение количества НИЦ и ИЛ*, аккредитованных в Росавиации для подтверждения летной годности изделий авиационной техники.</li> </ul>
Этап серийного производства		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Возможность быстрого внедрения изменений и модификаций в процессе эксплуатации.</li> <li>Сокращение сроков изготовления деталей за счет уменьшения количества технологических переделов и сборочных единиц.</li> <li>Снижение производственной себестоимости.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ограниченное количество аддитивных установок и металлопорошковых композиций, прошедших общую квалификацию и имеющих паспорта.</li> <li>Для серийного производства изделий авиационной техники требуется специальная квалификация, т.е. к стандартной связке «металлопорошковая композиция – аддитивная установка – режим» добавляется деталь.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Расширение перечня металлопорошковых композиций по общей квалификации.</li> <li>Ускоренная разработка методик верификации технологий аддитивного производства для групп идентичного и кросс-платформенного оборудования отечественного производства и производства КНР для организации серийного производства.</li> </ul>
*НИЦ и ИЛ – испытательные центры и лаборатории		

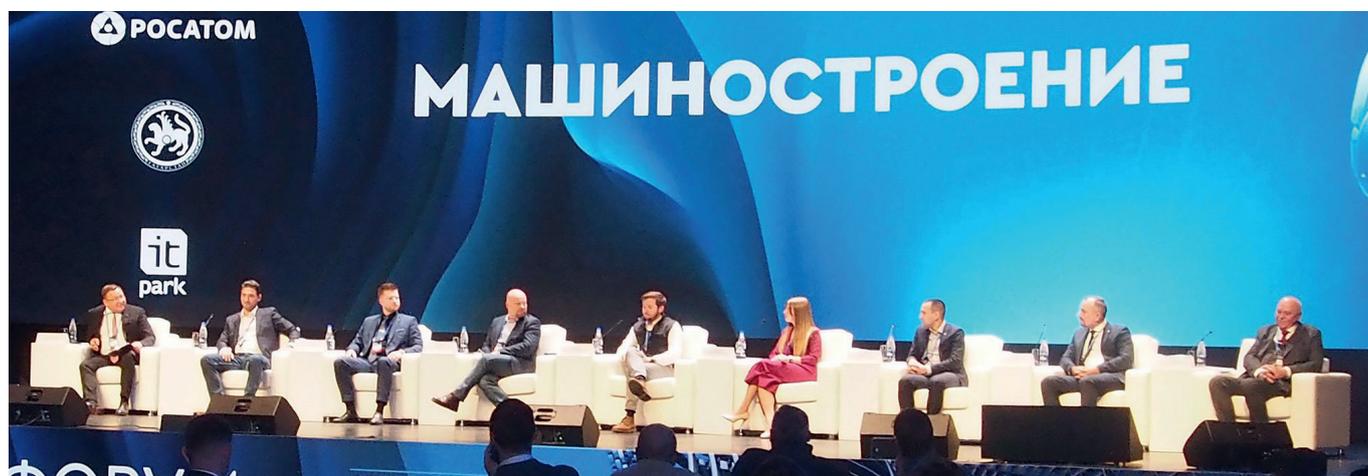
ские изделия, причем через переходные слои можно комбинировать материалы, которые конфликтуют, что, например, очень актуально для производства сопловых систем, которые внутри должны быть из жаропрочной бронзы, а снаружи из твердого материала (рис. 7). АТ позволяют в сжатые сроки в натуре проверять конструкторские идеи при производстве таких сложных изделий, как, например, наружное кольцо двигателя ПД-14 (рис. 8), корпус турбины высокого давления для авиадвигателя сверхбольшой тяги ПД-35 и др.

Особенно значимыми стали доклады ведущих специалистов предприятий-заказчиков АТ: заместителя генерального директора АО «ОДК», руководителя приоритетного технологического направления «Технологии двигателестроения» **Михаила Бакрадзе**, первого заместителя генерального директора и главного инженера Ракетно-космического центра «Прогресс» **Евгения Лукина**; заместителя директора АО «Уральский завод гражданской авиации» (АО «УЗГА») и руководителя отраслевого комитета «Аддитивные технологии» Промышленного кластера Республики Татарстан **Евгения Дьяконова**, которые рассказали об опыте внедрения АТ у себя на предприятиях. Среди важных аспектов внедрения АТ были упомянуты: поддержка руководителей предприятия и корпорации, сотрудничество с отраслевыми институтами, грамотный выбор изделий для аддитивного производства. Также важна прозвучавшая уверенность в том, что в срок от 2 до 7 лет (высказывались разные цифры) изделия, выполненные с помощью АТ, пойдут нарасхват.

Например, как отметил Евгений Дьяконов, «в Татарстане у нас нет проблем, у нас есть задачи». И с целью комплексного решения задач, стоящих перед промышленностью республики, предварительно между АО «КНИАТ» и ООО «РусАТ» достигнуто соглашение по созданию на базе АО «КНИАТ» центра аддитивных технологий. В результате действия центра будет разработан комплексный пакет для решения поставленных задач, включающий в себя разработку конструкторской и технологической документации, подбор материалов, разработку управляющих программ, обучение персонала и подбор оборудования. Предполагается, что с развитием в том числе в рамках центра технология получит массовое применение, что позволит снизить стоимость внедрения АТ и аддитивного производства.

Интересной стала сводная таблица, представленная в презентации **Владислава Кочкурова**, генерального директора АО «ЦАТ», где он обозначил проблемы и пути внедрения АТ в серийное производство авиационной техники (таблица 1) и, по сути, определил четкую программу действий.

**Антон Лихтнер**, ООО «НПО «ЗД-Интеграция», рассказал об одном из актуальных аддитивных направлений, которое развивается в ООО «НПО «ЗД-Интеграция» в рамках новой лаборатории керамической печати, где ведутся исследования по созданию группы материалов, решению ряда задач для промышленности. ■



**Илья Кавелашвили**, генеральный директор компании-интегратора по аддитивным технологиям госкорпорации «Росатом», отметил, что, по оценкам Минпромторга на российском рынке АТ на машиностроение приходится 25%.

Примерами эффективного применения АТ в сегменте машиностроения могут стать:

- 3D-печать монолитной горелки (рис. 9,1), которая по сравнению с традиционными технологиями

позволила сократить количество деталей устройства в 20 раз, снизить время производства на 75%, уменьшить объем используемого материала на 50%, увеличить экономичность производства на 60%.

- 3D-печать деталей горячего тракта газовой турбины ГТЭ-170 (рис. 9,2). В процессе отработки производства были успешно применены АТ и отечественный жаропрочный материал с максимальной рабочей температурой порядка 950°C: изготовлены завихрите-

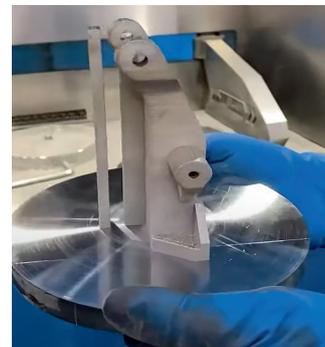
Рис. 9. 3D-печать деталей машиностроения: 1 – монолитная горелка, 2 – детали горячего тракта газовой турбины, 3 – детали, выполненные по технологии SLM, для пищевого производства. Фото из презентации ООО «РусАТ».



1



2



3

ли камеры сгорания, проведена термическая и механическая обработка изделий.

- Реновация и модернизация технологического оборудования пищевых производств с изготовлением новых деталей по технологии SLM (рис. 9, 3).

Большинство докладчиков сессии представляли отечественных производителей оборудования для 3D-печати, которые в рамках отработки технологии или оказания услуг имеют производственные кейсы в машиностроительной отрасли.

По мнению **Владимира Груздева**, технического директора 3D Lam, машиностроение – одна из самых гибких и готовых к внедрению АТ отрасль. В ней сошлись сразу два фактора: необходимость поиска решения для создания сложных металлических деталей после ухода с рынка поставщиков из недружественных стран и менее жесткие требования, чем в таких сферах, как авиация, судостроение, атомная промышленность. И как наиболее перспективную для внедрения в отрасли докладчик выделил печать металлом по SLM-технологии, поскольку рынок SLM-печати широк за счет охвата смежных направлений, таких как легкая и пищевая промышленность. И еще один важный фактор: деталь после SLM-печати практически не требует последующей механической обработки.

Рис. 10. SLM-печать: 1 – сетка для пищевой промышленности, 2 – зубчатые колеса. Фото: 3D Lam.



1



2

### Среди кейсов компании были представлены:

- Напечатанная целиком сетка с заданными характеристиками для использования в пищевой промышленности (рис. 10, 1). Заказчик ранее собирал такую сетку звеньями, применяя специальную технологическую оснастку, чтобы придать проволоке специальную форму.

- Зубчатое колесо высокой точности из жаропрочного сплава (рис. 10, 2). При обработке по классическим технологиям цена была очень высокая. Снижение цены достигнуто за счет того, что на принтере деталь выращивается за 2–3 часа и за счет высокой скорости построения можно изготавливать сразу несколько деталей.

В качестве возможных мер господдержки докладчик обозначил: налоговые льготы для производителей оборудования 3D-печати и изготовителей деталей с помощью 3D-печати, ввод заградительных ввозных пошлин на 3D-оборудование для защиты российских производителей.

**Дмитрий Васильев**, генеральный директор Петербургской компании, специализирующейся на производстве промышленных 3D-принтеров, также говорил о SLM-печати, отметив, что в производстве своего оборудования компания сосредотачивается на качестве, стараясь получить изделия, не уступающие литым, сравнимые с ковкой. В связи с этим большое внимание уделяется проверке напечатанных образцов на сплошность, на разрыв, на контроль геометрии и др.

Ограничениями внедрения АТ докладчик считает следующие факторы: несовершенство нормативной базы под АТ, недостаток высококвалифицированных кадров, консервативность рынка в целом, высокая стоимость технологии. Вызовами последних лет для компании стали: достижение технологического суверенитета в отрасли, импортозамещение критических комплектующих, популяризация технологии и подготовка высококвалифицированных кадров. Столкнувшись с обозначенными вызовами, в компании



*Рис. 11. Пример SLM-печати, выполнена на SLM-принтере компании LiM. Фото компании i3D.*

приняли решение открыть собственный центр АТ весной 2024 года. Здесь будет установлено серийное оборудование компании, будет производиться обучение персонала, осуществляться работы по реверс-инжинирингу, решаться вопросы по реинжинирингу.

**Константин Лежнев**, руководитель направления SLM-печати компании i3D, отметил, что при решении задач важно правильно выбрать наиболее подходящую технологию 3D-печати. И в данном случае центр АТ, где представлены различные технологии, может быть особенно полезен. Так, Московский цифровой завод (входит в i3D) располагает технологиями: FDM-печать, фотополимерная стереолитография, SLS, SLM, MBJ, печать песчаных форм, 3D-сканирование и др. Большой коллектив инженеров, проектировщиков, операторов эксплуатации машин готов оказать поддержку в получении качественных изделий за наименьшее количество итераций, что экономит время и расходные материалы. Константин представил ряд кейсов, в том числе на рис. 11 показаны газовые трубки двигателя высокой мощности, выполненные посредством крупногабаритной SLM-печати.

**Игорь Пучков**, директор по развитию и ВЭД АО «НПО «ЦНИИТМАШ», остановился на примере изделия для ОДК и на трудностях, с которыми приходится сталкиваться при крупногабаритной SLM-печати. Так, ключевые особенности выбранной детали: плоскосимметричное изделие, масса 50+ кг, размер: 520+ мм — высота, 560+ мм — диагональ, сложная криволинейная поверхность. Ключевые особенности печати: время изготовления изделия — 90+ суток (традиционно в разы больше), доработка камеры построения оборудования (увеличена высота камеры с 450 мм до 560 мм, рабочей зоны — с 550×450 мм до 580×450 мм), изделие располагалось по диагонали построения. Основные проблемы: длительная печать за счет конфигурации принтера, уход геометрии за счет накопления ошибки, коробление на всех этапах за счет термических поводов. В результате отклонение от геометрии было получено в рамках допуска (до 1 мм на 600+ мм), сквозные дефекты (один) залечены сваркой, заказчик

принял изделие. Важным для приемки изделия с первого раза докладчик отметил использование системы контроля в процессе его создания.

В качестве поддержки развития АТ в России Игорь Пучков предложил сформировать на базе АРАТ комитет по импортозамещению для диалога с федеральными органами исполнительной власти; поддержать стандартизацию стыковочных узлов; развивать точную механику для станочного оборудования, в т.ч. 3D-принтеров.

**Евгений Матвеев**, генеральный директор F2 Innovations, привел пример 3D-печати оснастки и крупногабаритных матриц для выкладки полимерных композитных материалов, осуществляемой на принтерах компании, отметил очевидные преимущества. Так, классическим способом изготовления оснастки под крыло длиной порядка 10 метров занимает около 6 месяцев, в компании могут сделать его за 3 недели, причем обеспечив полный цикл, начиная от печати, заканчивая вакуумной проверкой, проверкой сканированием, обработкой и т.д.

На рис. 12, 1 показан пуансон для холодной выкладки композита вакуумной инфузией (вес — 30 кг, материал — Ether (PETG+GF), время печати — 5 часов, габариты — 900×500×250 мм). На рис. 12, 2 — обтяжной пуансон для вытяжки панели фюзеляжа самолета — самая большая деталь для самолета в России, выполненная из пластика с помощью 3D-принтера (вес 700 кг, материал gPETG+PF, время печати — 100 часов, габариты — 1300×1400×1300 мм). Ее себестоимость составила порядка 700 тыс. руб. Классическим способом эта деталь делается из свинцово-алюминиевой смеси, весит около 15 тонн, стоит около 1 млн руб. и делается 1 год.

**Анатолий Тулаев**, директор по развитию Stereotech, привел ряд примеров, когда 3D-печать пластиком выходящих из строя комплектующих оборудования позволяла минимизировать денежные потери. Достигнутый экономический эффект от сотрудничества по данному направлению составил у заказчиков: «Северсталь» — 6 млн руб. в год (ассортимент: крыльчатка насосов, мембраны); GRASS — экономия 2,5 млн

Рис. 12. 3D-печать крупногабаритной оснастки.  
Напечатано на 3D-принтере F2 Gigantry. Фото: ООО «Ф2 Инновации».

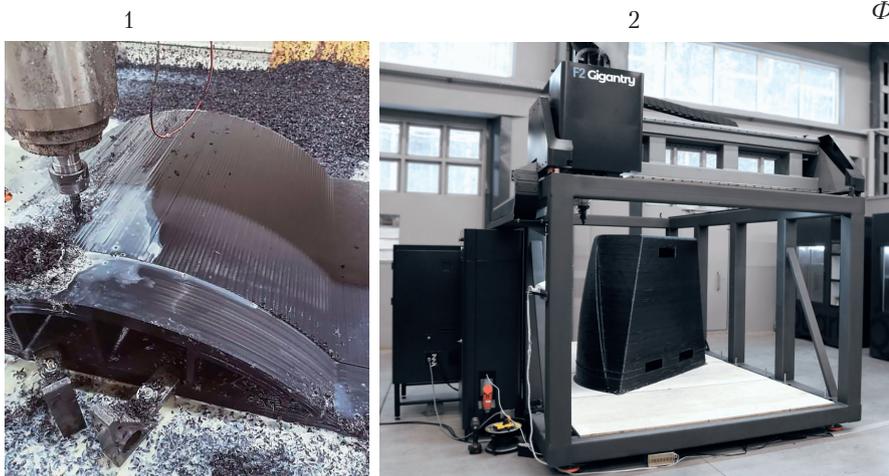


Рис. 13. Экономический эффект, достигнутый с применением 5D-принтера Stereotech. Фото: ООО «Стереотек».



руб. в год (ассортимент: муфты уплотнительные упаковочного оборудования), ОАО «Волгограднефтемаш» — 1,5 млн руб. в год (ассортимент: муфты электродвигателей). Экономика рассчитывалась с учетом убытков от простоя оборудования. При этом начальная стоимость принтера Stereotech — 1,22 млн руб. На рис. 13 представлена крыльчатка насоса из материала PP (размер 155×155×83 мм, масса 200 г.), стоимость печати которой составила 2532 руб. при стоимости оригинала 52000 руб. (на 2021 год).

**Алексей Мазалов**, генеральный директор АО «ЦТКАТ», коротко остановился на возможностях ЦТКАТ, который был создан в 2013 году и оснащен самым передовым оборудованием для 3D-печати, и особое внимание уделил направлению комплексного реверс-инжиниринга, актуальность которого становится все выше, учитывая необходимость обслуживания и ремонта зарубежного оборудования.

Обратное проектирование путем бесконтактного 3D-сканирования включает подготовку объекта сканирования, 3D-сканирование, преобразование облака точек в полигональную модель, обработку модели, цифровое моделирование (CAD-модель), создание чертежей. Данную схему работы в центре дополняют исследованием покрытий, определением химического состава, определением твердости, шероховатости и др. — всего комплекса данных, необходимых для выпуска конструкторской документации, которая впоследствии станет рабочей.

Еще одно большое направление, где применяется 3D-сканер, — это процесс верификации и бесконтактного контроля геометрии объекта сканирования с построением цветных карт отклонений, а также проведение цифровых инженерных расчетов методом конечных элементов перед 3D-печатью (направление САЕ).

**Дарья Орехова**, генеральный директор академии аддитивных технологий «Цифра Цифра» ООО «ХАРЦ Лабс», не касалась производственных вопросов, но рассказала о возможностях получения дополнительного профессионального образования, которые предоставляет лицензированный специализированный учебный центр по АТ, созданный в рамках академии. Уникальная возможность взаимодействия с вузами, потенциальными кадрами, с рынком труда позволяют выявлять компетенции, необходимые для развития отрасли, и гибко трансформировать учебный процесс согласно запросам, сочетая в необходимых пропорциях теоретические знания и практику.

В заключение хочется отметить, что большинство компаний, чьи специалисты приняли участие в сессии, представили в рамках выставочной экспозиции образцы оборудования (рис. 14). В ходе форума состоялась презентация российского серийного 3D-принтера RusMelt 310, разработанного ООО «РусАТ» и изготовленного на предприятиях госкорпорации «Росатом». Обновленная модель RusMelt 310 имеет два волоконных (иттербиевых) лазера мощностью по 500 Вт каждый, рабочую область построения 300×300×370 мм. Принтер работает на полностью отечественном ПО, унифицированном со всей линейкой оборудования компании. RusMelt 310 способен вырабатывать изделия из порошков нержавеющей стали и жаропрочных сплавов.

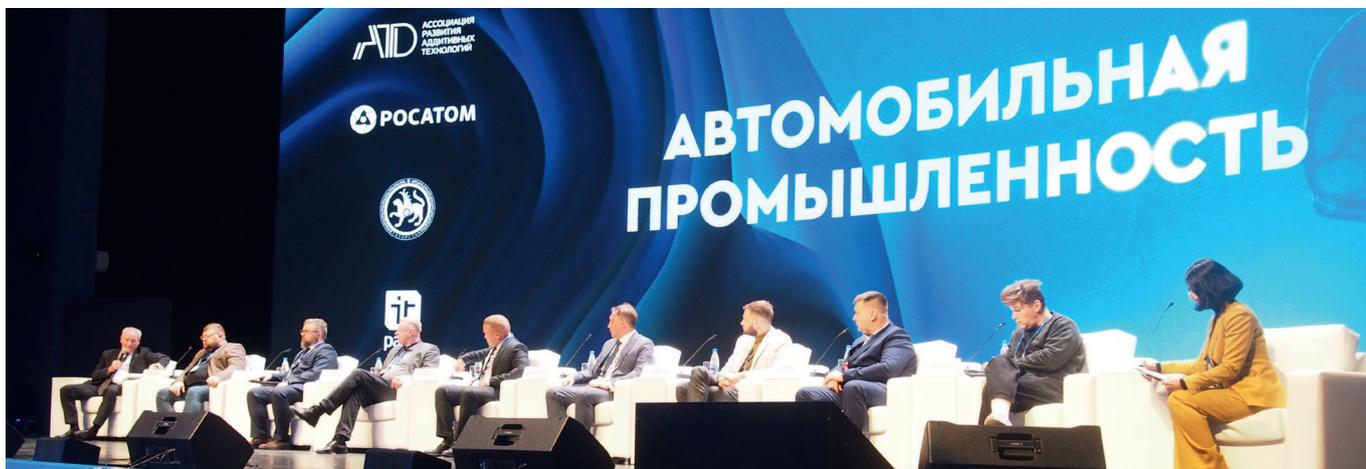
Также следует отметить, что производитель 5D-принтеров Stereotech и производитель 3D-сканеров RangeVision выступили соорганизаторами молодежного конкурса «Ночь технологий», предоставили свое оборудование. Победителями конкурса стали: 1 место — команда Томского политехнического университета, 2 место — команда Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, 3 место — команда Казанского национального исследовательского технического университета им. Туполева. ■



Рис. 14. Выставка оборудования:

1. 3D-принтер RusMelt 310M разработки ООО «РусАТ» и производства госкорпорации «Росатом». 2. Аддитивный комплекс АМТ-16. ООО «НПО ЗД-Интеграция». 3. SLM-принтер 3DLAM Mid. Компания 3DLAM.

4. 5D-принтер ST-AHW. ООО «Стереотек». Фото: «Татар-информ». 5. 3D-принтер F2 Lite. ООО «Ф2 Инновации». 6. 3D принтер FORA F300 (FDM-технология). ООО «РусАТ». 7. Пятиосевой FDM-3D-принтер EPIT 5.1. ООО «Воллощение».

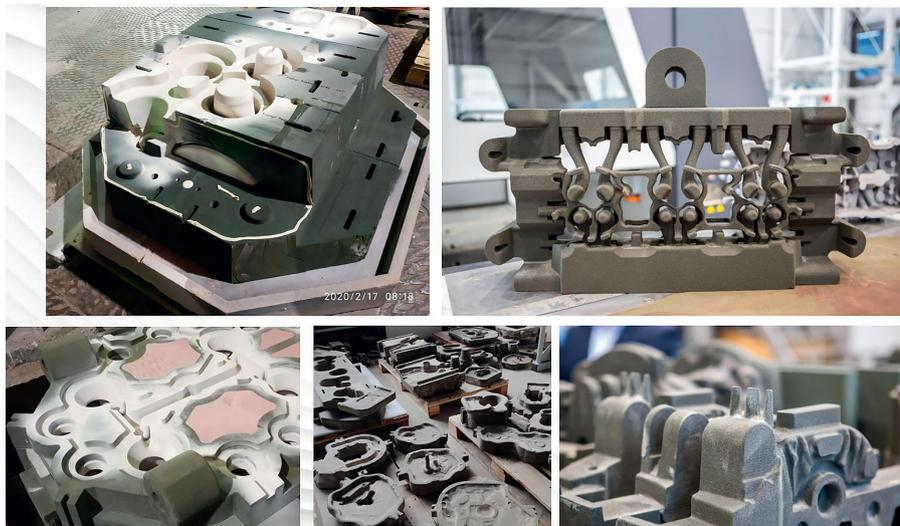


По оценкам ассоциации АРАТ, на автомобильную промышленность приходится около 4% всего рынка АТ в России. Как объяснил участник **Сергей Майоров**, модератор секции, председатель правления Промышленного кластера Республики Татарстан, данный сегмент пока не развит в полном объеме, но ключевые предприятия автомобилестроения уже внедряют АТ в производство. АТ позволяют эффективно решать задачи прототипирования, создания начальных макетов,

изготовление запчастей, а также изготовления сложных песчаных форм для литья металлов. Среди наиболее востребованных технологий АТ в автомобилестроении: FDM, SLS, SLA и Binder Jetting.

**Евгений Дьяконов**, заместитель директора АО «Уральский завод гражданской авиации», руководитель отраслевого комитета «Аддитивные технологии» Промышленного кластера Республики Татарстан, отметил,

Рис. 15. Производство литейных форм любых габаритов на промышленных 3D-принтерах. Фото: АО «Центр цифровых технологий».



что развитию АТ уделяется большое внимание в республике и уже есть определенные успехи, например, ООО «ЗИАЗ Машинери» занимается изготовлением уникальных станков по печати песчаных и песчано-полимерных форм для литья, ООО «Воплощение» производит пятиосевые FDM-принтеры, АО «КНИАТ» имеет компетенции по прототипированию, АО «Центр цифровых технологий» изготавливает формы для литья и осуществляет отливки и т.д.

**Николай Булгаков**, генеральный директор ООО «ЗИАС», в своем выступлении подчеркнул, что оценка эффективности применения АТ — это не только прямые затраты — очевидное отсутствие оснастки, но есть и другие преимущества, которые сложно оценить и применить при составлении технико-экономического обоснования. Применение 3D-печати в коллаборации с серийным производством позволяет существенно сокращать технологические цепочки, повышать производительность труда, снижать человеческий фактор, что приводит к повышению качества изготовления детали, повышать гибкость производства. У предприятия появляется возможность в очень короткие сроки выводить на рынок новые изделия.

**Илья Микрюков**, технический директор АО «Центр цифровых технологий», рассказал, что посредством 3D-печати предприятие решает широкий спектр производственных задач: инженерные задачи (конструирование, проектирование, моделирование литейных процессов, реверсивный инжиниринг), производство литейных форм на промышленных 3D-принтерах (рис. 16), производство отливок (законченный цикл изготовления, широкая номенклатура сплавов на основе железа и алюминия, вес отливок до 700 кг по чугунам и сталям, до 150 кг по алюминиевым сплавам),

Рис. 16. Примеры отливок. Фото: АО «Центр цифровых технологий».



передача и сопровождение форм для заливки на предприятиях-партнерах. Продукция ЦЦТ — это сложные единичные изделия для опытно-экспериментальных работ при проведении НИОКР, ОКР, изделия малых и средних серий перед внедрением их в производство для подтверждения функциональных и эксплуатационных характеристик. К основным деталям автомобильного двигателя, в производстве которых АТ могут дать преимущества, относятся головки цилиндров, автомобиля — элементы подвески, блоки головки, трансмиссия.

**Михаил Хазов**, ведущий инженер по разработке и локализации материалов автомобильной компании Sollers, рассказал о постоянном выводе на рынок новых марок автомобилей и, соответственно, технологическом развитии заводов компании. Так, например, в Казани недавно был открыт центр продуктового развития, где инженеры занимаются разработкой и локализацией комплектующих для автомобилей. И здесь в том числе был внедрен 3D-принтер, на котором производятся прототипы деталей. Например, стояла задача спроектировать блок помощи водителю ADAS (камера ADAS и кожух камеры с датчиком дождя) и определить его место размещения в автомобиле Sollers Atlant. При выполнении задания было выбрано потенциальное место установки блока ADAMS в автомобиле и произведен замер посадочного места, созданы «черновые» CAD-модели, из которых методом АТ произведены макеты физических деталей, после тестовой установки макетов были созданы и согласованы с поставщиками финальные CAD-модели деталей. В результате создание физического макета и его установка позволили исключить ошибки геометрии при проектировании финальной детали, а также исключить риски при ее монтаже при массовом производстве. Благодаря АТ удалось сократить время прототипирования в три раза.

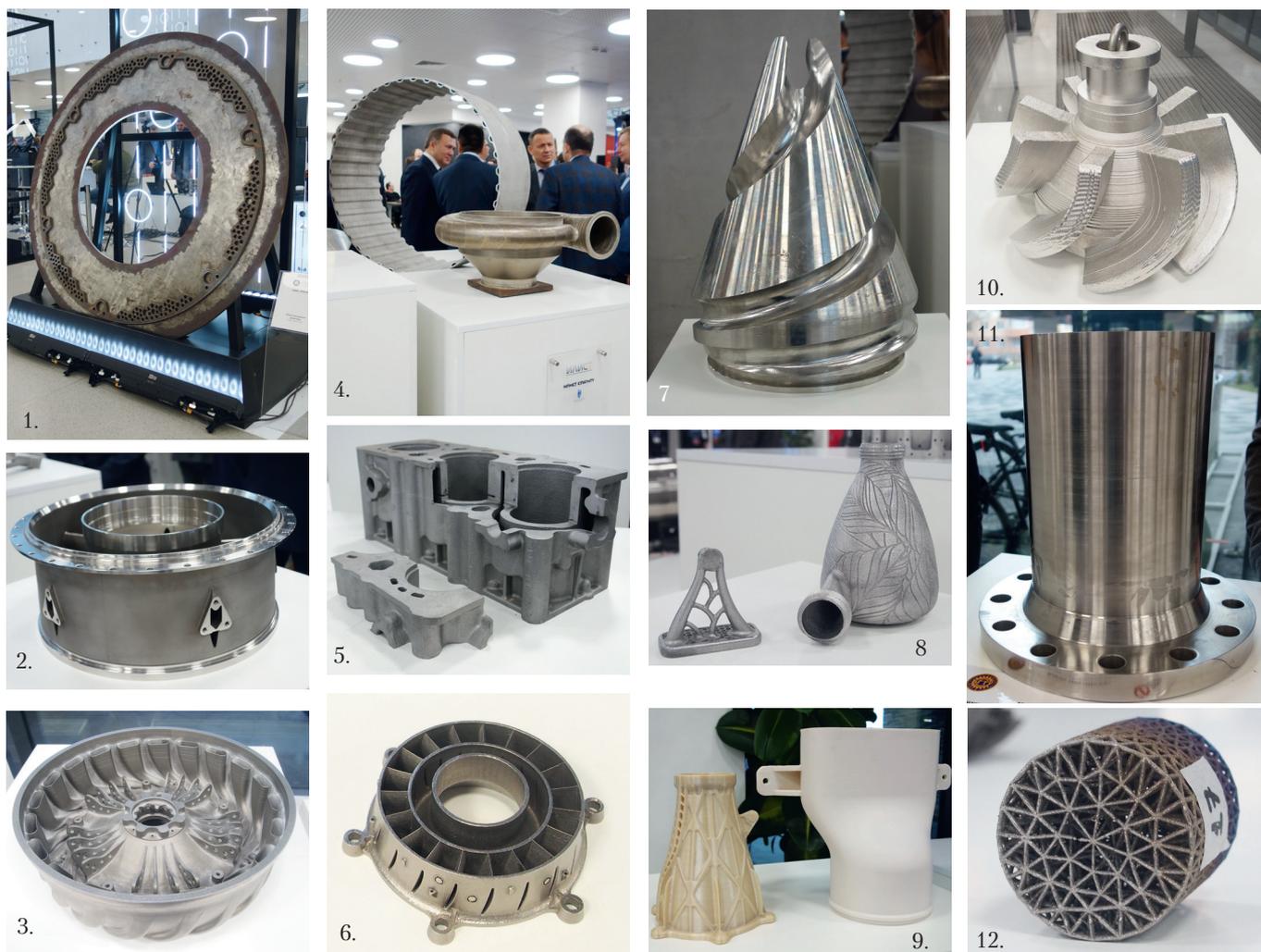


Рис. 17. Образцы печати, представленные участниками выставочной экспозиции:

1. Элемент выгородки реактора. ИЛИСТ СПбГМТУ.
2. Корпус со стойками (SLM). АО «ЦАТ».
3. Крышка малогабаритной газотурбинной установки. ООО «НПО «Центротех».
4. Корпус турбины и макет негерметичного корпуса. ИЛИСТ СПбГМТУ.
5. Отливка «Блок цилиндров», полученная с использованием аддитивных технологий в части изготовления песчаных литейных форм. АО «Центр цифровых технологий».
6. Завихритель (SLM-печать на установке M250). АО «Лазерные системы».
7. Выходная часть МГД-насоса (электронно-лучевая наплавка проволоки). ООО «РУСАТ»

Еще одна решенная задача — локализация производства бамперов. На 3D-принтере были произведены накладка и фрагмент бампера. После установки накладки провели испытания прочностных характеристик всех крепежных элементов, подтвердив необходимый результат. С помощью АТ удалось избежать рисков в последующем массовом производстве дорогостоящей модификации оснастки. Было существенно уменьшено время на выпуск конструкторской документации и обновление дизайна.

8. Изделия для собственных 3D-принтеров (SLM-печать). Компания 3DLAM.
9. Корпус редуктора и патрубок воздуховода (FDM/FFF-печать). ООО «Ф2 Инновации».
10. Аппарат спрямляющий. Насосное оборудование реактивной установки «РИТМ-200» (прямое лазерное выращивание).
11. Штуцер (биметаллическая печать). Представлено отраслевым комитетом «Аддитивные технологии». (Машиностроительный кластер Республики Татарстан)
12. Образец SLM-печати. ЦТКАТ.

**Тимур Дебердеев**, главный технолог по локализации Инновационно-технологического центра «Автотор» отметил что в рамках реализации стратегии «Автотор» организовал строительство 12 новых заводов. Один из интересных проектов — реализация совместно с Московским Политехом электромобиля категории L7 «Амбер Авто». И если классическое производство компании занималось крупноузловой сборкой, то сейчас планируется решать все вопросы — от выплавки металла до изготовления автокомпонентов. И в рамках дивер-

сификации производства задачей технологического центра разработок является внедрение лучших мировых практик, в том числе изготовления деталей по технологиям FDM, SLS, SLM, MBJ. Среди запланированных к производству изделий, например, шаблоны наклейки эмблем, ложементы, технологическая оснастка, адаптеры для ручного инструмента, адаптер парктроники, детали интерьера салона, технологическая оснастка для формовки листового пластика, кронштейн-крепления электродвигателя, ремонтные детали оборудования и др.

Компания «АТОМ» также ставит перед собой амбициозную задачу по выпуску электромобиля, причем электромобиля-гаджета нового поколения с широким сектором IT-возможностей. **Максим Силенков**, руководитель экспериментальной лаборатории НМИ департамента «АТОМ», отметил, что сейчас разрабатываются и изготавливаются различные компоненты, ставятся эксперименты, осуществляется эргономичное и функциональное прототипирование. На сегодняшний день из AT-технологий используются FDM и LCD, которые миксуются с субтрактивным производством.

По заявлению участников сессии, состоявшийся разговор был очень полезен и дал пищу для размышления и новые стимулы для развития AT на своих предприятиях.

Рис. 18. Экспозиция ООО «Дом занимательной науки и техники»



Прекрасной иллюстрацией достижений от внедрения AT в промышленный сектор стала выставочная экспозиция (рис. 17, 18), которая пользовалась неизменным вниманием и удостоилась отдельных слов благодарности раиса Татарстана Рустама Минниханова в адрес ее организаторов и участников.

В свою очередь участники лидер-форума в своих выступлениях неоднократно заявляли о значимости события, важности поднятых тем, прекрасной организации мероприятия, радушии принимающей стороны. ■

*Татьяна Карпова*

Презентации отдельных участников представлены на сайте АРАТ: <https://aatd.ru/>

**Оборудование для аддитивного производства**

- ◆ Установки для просеивания металлических порошков
- ◆ Установки для очистки деталей от порошка
- ◆ Пылесосы
- ◆ Установки сбора порошка

**Услуги 3D-печати фотополимером**

Технология печати: SLA  
Максимальные размеры печати: 650x600x400 мм

www.a-tekh.ru
info@a-tekh.ru
+7 495 152-03-73
www.a-tekh-print.ru
info@a-tekh-print.ru

# АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



Фото компании «АМТ»

Строительная отрасль, которая долго отставала во внедрении инноваций, например, от промышленности, готова к глобальным изменениям.

Данный проект посвящен технологиям 3D-печати, которые как минимум десятилетие были уделом энтузиастов. Но сложность выполняемых работ растет и в мире, и в России. Наблюдается кооперация участников рынка. Увеличивается число публичных мероприятий, где демонстрируются возможности 3D-печати для строительных задач, а также поднимаются проблемы, сдерживающие ее развитие.

В 2024 году в России создана Ассоциация профессионалов аддитивного строительства. В июне пройдет первая тематическая конференция 3DMIX «Аддитивные технологии в строительстве».

Как оценивают происходящие изменения участники рынка, какие достижения отмечают, какие цели и задачи ставят перед собой – все это вы можете узнать в данном номере журнала «Аддитивные технологии».

## Развитие строительной 3D-печати в мире

Как отмечается на ресурсе Construction placements [1], тенденциями в строительстве в 2024 году станут: информационное моделирование зданий (BIM); облачные и мобильные технологии; виртуальная и дополненная реальность; 3D-печать; искусственный интеллект; робототехника; экзоскелеты; новые эффективные решения для сканирования; передовые материалы; машинное обучение; прогнозная аналитика; автономные транспортные средства и др.

По данным маркетингового агентства Research and markets [2], объем рынка строительства зданий с помощью 3D-печати в последние годы растет в геометрической прогрессии, и в ближайшие годы эта тенденция сохранится. Рост можно объяснить технологическим прогрессом, увеличением инвестиций в инфраструктуру возобновляемых источников энергии, эффективностью строительства с помощью 3D-печати по сравнению с традиционными методами, сокращением производственных затрат, развитием технологии 3D-печати и значительным ростом урбанизации.

Ключевые тенденции включают использование эксгрудеров с роботизированными манипуляторами для повышения производительности, инвестиции в 3D-изготовление элементов зданий и модульное строительство для повышения эффективности, а также внедрение методов «зеленого» строительства. Важной тенденцией является повышение операционной гибкости 3D-печати

за счет интеграции искусственного интеллекта (ИИ). Стратегическое партнерство будет иметь решающее значение для позиционирования на рынке.

Спрос на 3D-печать на рынке строительства зданий в первую очередь обусловлен ее способностью эффективно и экономично создавать сложные конструкции в установленные сроки. Среди других преимуществ: экономическая эффективность, экономия времени, повышенная точность, безопасность, снижение затрат на рабочую силу, экологичность и облегчение реализации сложных архитектурных проектов. По сравнению с традиционными производственными процессами 3D-печать в строительстве особенно экономична в использовании материалов. Кроме того, она существенно снижает трудозатраты — на 50–80%, время производства — на 50–75% и строительные отходы — на 30–60%.

Также следует отметить и проблемы внедрения 3D-печати в строительстве [3]. К техническим проблемам относятся: некоторые ограничения, такие как качество, долговечность и точность печатных конструкций. Для 3D-печати требуются высокопроизводительные и надежные машины, материалы и программное обеспечение, которые не всегда доступны или дороги. 3D-печать должна соответствовать строительным нормам и стандартам, которые могут различаться в зависимости от страны или региона. 3D-печать в строительстве также сталкивается с некоторыми нетехническими проблема-

Рис. 1. Дата-центр в Германии [4]



ми, такими как недостаток осведомленности, знаний и навыков среди заинтересованных сторон. 3D-печать требует изменения мышления и культуры строительной отрасли, которая часто сопротивляется инновациям и новым технологиям. 3D-печать также сталкивается с некоторыми юридическими, этическими и социальными последствиями, такими как права интеллектуальной собственности, риски безопасности, а также влияние на рынок труда и местные сообщества. Чтобы преодолеть эти проблемы и способствовать развитию и внедрению 3D-печати в строительстве, необходимо проводить больше исследований и разработок, обеспечивать образовательный процесс, налаживать более тесное сотрудничество и общение, а также создавать правила и определять политику.

Среди впечатляющих проектов, реализованных или выполняемых за последнее время, — печать на 3D-принтере в Гейдельберге в Германии дата-центра с необычным дизайном (рис. 1, [4]). Компания Peri 3D Construction (Германия) за 140 часов возвела самое большое напечатанное здание в Европе (его площадь — 600 кв. м, высота — 9 м). В декабре 2023 года девелоперская компания Emaar Properties представила первую в Дубае виллу, напечатанную на 3D-принтере (рис. 2, [5]). В этом году в Китае обещают достроить 180-метровую плотину ГЭС (рис. 3, [6]). При реализации с помощью 3D-принтера срок строительства составит всего два года, хотя обычно на подобные объекты требуется мини-

Рис. 3. Плотина в Китае [6]

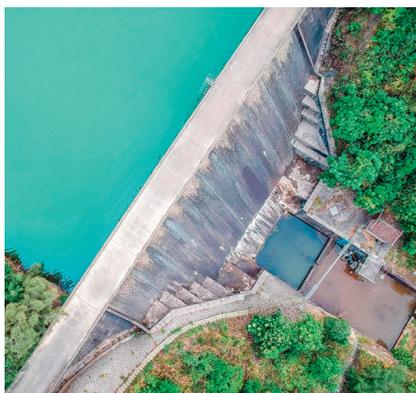


Рис. 2. Вилла в Дубае [5]



мум 4–5 лет. Данная плотина будет самым высоким сооружением в мире, построенным с применением 3D-технологии.

В России также не отстают. В экопарке «Ясно поле» открыт первый российский отель, напечатанный на 3D-принтере. В ближайшее время будут построены еще пять домов самых разных форм, а всего запланировано тридцать. В селе Айша Зеленодольского района идут работы по возведению 34 домов с использованием 3D-принтера. В 2023 году «Татнефть» совместно с 3D4Art начали строительство общественно-культурного центра «Мелля» в селе Мальбагуш. Его высота 9,8 метров, площадь более 1500 кв. м (рис. 4, [7]). Как особенности проекта можно также отметить: 3D-бетон с растительными компонентами, локализацию производства материалов, тестирование и сертификацию решений, доработку оборудования, 3D-печать несколькими принтерами. Кстати, рынок строительной 3D-печати не ограничивается только строительством зданий и сооружений, но и включает печать малых архитектурных форм, элементов зданий, декоративных элементов, предметов ландшафтного дизайна и др.

По данным Ассоциации развития аддитивных технологий [8], на сегодняшний день в России разработками собственных оригинальных моделей строительных 3D-принтеров занимаются такие компании, как «АМТ» (г. Ярославль), «Аркон Констракшн» (г. Москва), «Бум 3D принтер» (г. Москва), «Парк3D» (г. Выкса,

Рис. 4. Центр «Мелля» в селе Мальбагуш [7]



Рис. 5. Цеховой и полевой принтер компании «АМТ» [10]



Нижегородская обл.), «РВС-ЗД» (д. Подолино, Московская обл.), «Ренка» (г. Клин, Московская обл.) и «Смартбилд» (г. Ставрополь). Также можно добавить ООО «Лерто» (г. Петрозаводск), Printbuild (г. Санкт-Петербург). В начале 2024 года на российском рынке строительной 3D-печати появился новый игрок — компания «Платинус» (г. Тюмень), специалисты которой отработали и ввели в эксплуатацию технологию по печати малых архитектурных форм. Среди первых ее заказов — новый тюменский ресторан в центре города CREMant.

На рынке предлагаются полевые модели, предназначенные для организации печати на строительной площадке, и цеховые модели для печати малых форм и элементов в помещении (рис. 5, [9]). Различают также принтеры с порталной системой позиционирования, с роботом-манипулятором, с кабельной подвесной системой (дельта-принтер). Важными характеристиками 3D-принтеров являются допустимые объемы построения, скорость печати и размер печатного слоя, а также виды используемых материалов.

Долгое время движущей силой развития рынка строительных аддитивных технологий оставались именно компании–производители оборудования [9]. Сейчас рынок вступил в новый этап, когда появились компании, оказывающие услуги по строительной 3D-печати (например, ранее упомянутая компания 3D4Art, г. Москва), специализированные инжиниринговые компании («ЗД-Строй» (г. Казань), «ЗД Стройдизайн» (г. Воронеж), «Хабаровск ЗД» (г. Хабаровск), производители специальных смесей («Фирма «Вефт», Королев). На рис. 6 представлена схема взаимодействия основных структур при организации масштабной 3D-застройки, представленная в презентации Р. В. Павленко, 3D4Art [11]. Также докладчик уделил большое внимание подготовке кадров, в частности операторов 3DCP (строительной 3D-печати). 3D4Art стала инициатором создания первого в России учебного центра 3D-печати с реальной проектной практикой.

Не могут оставить равнодушным впечатляющие кадры текстур 3D-печати и уникальных материалов, разработанных 3D4Art (рис. 7, [11]). Их использова-

Рис. 6. Взаимодействие структур при организации масштабной 3D-застройки [11]



ние открывает новые возможности для дизайнеров и архитекторов.

Важно также отметить, что первые строительные стандарты для аддитивного производства появились в России [9], 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».

• В настоящее время вносятся изменения ФАУ «ФЦС» к СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции».

Разработка национальных стандартов продолжается.

Представленная в обзоре информация демонстрирует высокий потенциал строительной 3D-печати, показывает, что развитие российского рынка идет синхронно с зарубежным и уровень компетенций и наработок, достигнутый на текущий момент, уже впечатляет, а проблемы и сдерживающие факторы оценены и прорабатываются в рабочем порядке. Это дает основание полагать, что развитие этого инновационного направления будет успешно продолжаться и нас ждет знакомство с новыми уникальными проектами. ■

Обзор подготовила  
Татьяна Карпова

Рис. 7. Примеры 3D-печатной поверхности, декоративного и светопропускающего бетона [11]



#### Использованные источники:

1. <https://www.constructionplacements.com/construction-technology/>
2. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5939299/3d-printing-building-construction-global-market>
3. <https://prototechsolutions.com/blog/3d-printing-construction-market-growth-in-2024/>
4. <https://3dnews.ru/1101419/publikatsiya-1101419>
5. <https://3dprintingindustry.com/news/emaar-unveils-first-ever-3d-printed-villa-in-dubai-227516/>
6. <https://rg.ru/2024/01/06/v-etom-godu-s-pomoshchiu-3d-printera-v-kitae-zavershaetsia-stroitelstvo-180-metrovoj-plotiny.html>
7. <https://www.tatar-inform.ru/>
8. <https://aatd.ru/news/tendentsii-razvitiya-3d-pechati-v-stroitelstve-v-rossii-i-v-mire/>
9. <https://www.kommersant.ru/doc/5734178>
10. Презентация А.В. Маслова («АМТ»), представленная на лидер-форуме «Аддитивные технологии – новая реальность» в Казани в ноябре 2023 г., <https://aatd.ru/>
11. Презентация Р.В. Павленко (3D4Art), представленная на лидер-форуме «Аддитивные технологии – новая реальность» в Казани в ноябре 2023 г., <https://aatd.ru/>

# 3D-печать в строительстве: потенциал очевиден

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ) является одним из организаторов первой конференции по аддитивным технологиям в строительстве 3DMIX, которая впервые пройдет на базе университета в Москве 4–5 июня 2024 г.



О конференции, месте новых аддитивных технологий в строительстве рассказал Алексей Адамцевич, директор НИИ СМиТ НИУ МГСУ, председатель ПК 7 «Применение аддитивных технологий, робототехники и беспилотных авиационных систем в строительстве» ТК 400.

Конференция по аддитивным технологиям в строительстве первая. Кто стал инициатором ее проведения?

Оргкомитет конференции сформирован из инициативной группы представителей НИУ МГСУ, компании «Квинтет», Ассоциации профессионалов аддитивного строительства, Российской гипсовой ассоциации, Комитета по науке и инновационному развитию строительной отрасли Российского союза строителей. Спонсором мероприятия стал крупнейший производитель белого цемента в России — компания СЕМІХ. Информационными партнерами выступают главные российские

тематические журналы «Аддитивные технологии» и «Строительные материалы».

Какие задачи ставят перед собой организаторы?

На сегодняшний день рынок строительной 3D-печати лишь формируется. И это происходит не только у нас в стране, но и в мире в целом. На данном этапе наиболее важным является выстраивание эффективного взаимодействия специалистов из самых разных областей и сфер деятельности, от слаженной работы которых зависит развитие технологического прогресса и скорость разработки и внедрения эффективных практических решений. Главной задачей конференции является создание и поддержание функционирующей площадки, в рамках которой будет происходить знакомство и регулярный обмен опытом и мнениями существующих и потенциальных участников рынка аддитивного строительного производства из разных областей и сфер научно-практической деятельности.

Кого вы видите потенциальными участниками конференции?

В качестве докладчиков и участников конференции мы ждем представителей компаний—производителей оборудования и программного обеспечения, заказчиков, застройщиков, проектировщиков, производителей материалов, представителей научного и экспертного сообщества, образовательных организаций и всех неравнодушных к идее развития и внедрения строительной 3D-печати в России и в мире.

Расскажите подробнее, какую нишу сейчас занимает 3D-печать на строительном рынке.

Весь рынок строительной 3D-печати можно условно разделить на два ключевых сегмента: цеховое производство и полевая печать. В цеховых условиях изготавливают малые архитектурные формы, а также элементы зданий и сооружений для дальнейшей укрупнительной сборки на строительной площадке (сейчас такой подход часто называют технологией префаб), а также для изготовления готовых модулей различного функционального назначения — в том числе жилого. Применение аддитивного строительного производства в условиях цеха позволяет повысить гибкость производственного процесса и расширить номенклатуру выпускаемых бе-

тонных изделий, производить изделия любой сложной формы без необходимости серьезной перенастройки производственного процесса под каждый вид выпускаемой продукции, исключить потребность в изготовлении и хранении на производстве дополнительных опалубочных форм и т.д.

Под полевой печатью понимается печать конструкций зданий и сооружений непосредственно на строительной площадке в их проектном положении. Конечно, бывают случаи, когда требуется напечатать какой-то элемент на площадке, а затем дополнительно смонтировать его в проектное положение, но это стоит рассматривать скорее как частный случай цехового производства под открытым небом. Главная же потребность в переходе от цеховой печати префабов с последующей укрупнительной сборкой (именно так возводились первые в мире 3D-дома) непосредственно к полевой печати зданий и сооружений связана с возможностью значительного повышения экономической эффективности строительства благодаря росту производительности труда и сокращению потребности в рабочей силе в условиях автоматизации трудоемких производственных процессов, что уже не так хорошо сочетается с необходимостью выполнения монтажных работ при укрупнительной сборке на строительной площадке.

Таким образом, на сегодняшний день основной нишей применения цеховой строительной 3D-печати является производство уникальных (выпускаемых штучно или малыми сериями) малых архитектурных форм, префабов или модулей, а основной нишей полевой печати — малоэтажное строительство, прежде всего — индивидуальное жилищное строительство, где сегодня действует наиболее лояльный режим с точки зрения технического регулирования в строительстве.

**3D-печать в строительстве — все еще дело энтузиастов или уже нечто большее?**

Мировой рынок строительной 3D-печати весьма молод, и потому на нем до сих пор очень много энтузиастов, для которых, как мне кажется, спортивный интерес преобладает над коммерческим. При этом, в отличие от этапа зарождения рынка строительной 3D-печати (примерно 10 лет назад), сегодня уже всем действитель-



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
**«АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»**

**3D  
MIX**

**Москва  
НИУ МГСУ  
4-5 июня  
2024 года**

- Тенденции развития рынка
- Оборудование
- Цеховое производство
- Печать в полевых условиях
- Стандартизация
- Материалы
- Особенности проектирования
- Перспективные исследования и разработки

**Посещение строящихся  
и уже готовых объектов  
в Московской области**

Организаторы:  МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

При поддержке:  АГАС

Спонсор:  **Cemix**

 КВИНТЕТ  


но очевиден его огромный коммерческий потенциал. По этой причине во многих странах сформированы национальные программы для поддержки внедрения технологии аддитивного производства в массовых сегментах строительства. Да и сами реализуемые проекты за это время существенно эволюционировали — если на заре эпохи появлялись совсем небольшие и простые пилотные объекты, то сегодня речь идет уже о массовой застройке целых поселков по всему миру (включая Россию) и реализации довольно сложных архитектурных объектов высотой до трех этажей.

**Есть ли ограничения по высоте объектов, возводимых по технологии строительной 3D-печати в полевых условиях?**

В подавляющем большинстве проектов, реализуемых сегодня по всему миру, технология аддитивного строительного производства используется не для воз-

ведения зданий под ключ, а для печати внешнего контура вертикальных несущих и ограждающих конструкций. Полнотелая печать рассматривается достаточно ограниченно — например, как способ возведения перегородок одновременно с печатью самой коробки здания. Благодаря такому подходу создается несъемная опалубка, которая затем заполняется традиционными тяжелыми или легкими бетонными смесями для несущих и ограждающих конструкций соответственно. С этой точки зрения в рамках рассматриваемого технологического перехода строительную 3D-печать логичнее рассматривать даже не в качестве принципиально новой технологии строительства, а скорее как продвинутый способ выполнения опалубочных работ в монолитном домостроении. С одной стороны, такой подход обеспечивает хорошую экономическую эффективность производства и сохраняет гибкость в управлении механическими и теплофизическими свойствами возводимых конструкций, а с другой — позволяет сделать вывод о том, что с технологической точки зрения строительная 3D-печать вряд ли может иметь больше ограничений в плане этажности, чем традиционное монолитное строительство, — то есть потенциально позволяет возводить очень высокие объекты.

Если рассматривать этот вопрос с точки зрения оборудования, то, например, у нас в стране уже есть производители, предлагающие строительные 3D-принтеры порталной конструкции, позволяющие возводить объекты до 80 метров высотой, что сильно превышает текущие потребности основных потребителей такого оборудования.

Поэтому в данном случае речь следует вести скорее не о принципиальных ограничениях этажности, а об экономической целесообразности применения строительной 3D-печати для возведения многоэтажных объектов. Связано это с тем, что, как уже было сказано ранее, строительная 3D-печать бетоном дает возможность быстро и экономично возводить вертикальные конструкции, но ее возможности сильно ограничены при возведении горизонтальных пролетных элементов. При строительстве высоких многоэтажек неизбежно возникнет потребность в комбинировании процесса строительной 3D-печати с другими технологиями строительно-монтажных работ для последовательного устройства перекрытий. Необходимость координации работы принтера с дополнительным подъемно-крановым оборудованием на площадке увеличит простой принтера. При этом если тот же портал для строительной 3D-печати небольшого коттеджа можно смонтировать вручную, то под многоэтажный дом эта задача становится кратно сложнее и дороже. Уверен, что строительная 3D-печать еще покажет свою высокую эффективность и в многоэтажном строительстве, но произойдет это, вероятно, чуть позже — с ростом общей автоматизации строительно-монтажных работ. На сегодняшний день более логичным выглядит развитие малоэтажного аддитивного строительного производства. ■

**Компания КВИНТЕТ** работает на российском рынке сухих строительных смесей 24 года. Одним из основных направлений ее деятельности является организация и проведение конференций, семинаров и бизнес-мероприятий разного уровня на рынке строительных материалов. КВИНТЕТ следит за трендами, анализирует рынки, делится информацией с друзьями и единомышленниками.

#### **Компания КВИНТЕТ:**

- С 2000 г. организует ежегодную международную отраслевую конференцию производителей сухих строительных смесей (ССС) **BALTIMIX** (<https://baltimix.ru>). Мероприятие ежегодно проводится в новом регионе России. Эта традиция «путешествий» ярко вписалась в отрасль и позволяет эффективно обсуждать отраслевые вопросы регионального рынка, формируя здоровый конкурентный рынок федерального масштаба, демонстрировать новые достижения и технологии, общаться с представителями науки, бизнеса и власти. Для регионов России **BALTIMIX** это место, где возможно представить свой инвестиционный потенциал и найти надежных партнеров.
- С 2018 года выступает техническим партнером МГСУ в организации международных научных конференций.
- С 2019 года при участии и поддержке СПбГАСУ организует научно-практическую конференцию **FIBROMIX**, посвященную инновациям, тенденциям, практическим проблемам и решениям в области композиционных материалов и конструкций в строительстве. Конференция направлена на объединение усилий, обмен опытом и результатами исследований между ведущими учеными и специалистами в этой сфере.
- Издает отраслевой «Справочник производителей СССР» — «желтые страницы» отрасли.
- Регулярно организует курсы повышения квалификации для технологов и технических специалистов предприятий СССР-отрасли.
- Имеет огромный опыт по изданию тематической литературы, включая эксклюзивные переводные издания.
- В 2024 г. выступает организатором первой **конференции 3DMIX «Аддитивные технологии в строительстве»**.

# Ассоциация профессионалов аддитивного строительства: цели и задачи



Созданная в январе 2024 года Ассоциация профессионалов аддитивного строительства начинает свою работу по консолидации компаний отрасли, работающих на российском рынке. О целях и планах редакции рассказал генеральный директор ассоциации Алексей Гагулаев.

Всем хорошо известно, что многие задачи, стоящие перед первопроходцами аддитивного строительства, производителями строительных принтеров, производителями строительных составов для печати, и, конечно, перед теми, кто направленнo хочет изменить принцип строительства с применением новых аддитивных технологий, не решить силами отдельного предприятия или даже группы компаний. Абсолютно очевидна потребность в консолидации усилий по решению таких задач.

Постоянное взаимодействие с кругом людей развивающих строительную 3D-печать, позволило ассоциации сформировать ряд задач, с которыми в скором времени столкнется отрасль. На данный момент, только по нашим данным, известно более 10 производителей принтеров, из них три — ведущие компании, осуществляющие серийный выпуск.

Очень важно, чтобы разработчики принтеров, преодолев все сложности начального этапа, вышли на стабильный уровень производства и позволили заказчикам приобрести по доступным ценам и в приемлемые сроки высококачественное, эффективное оборудование.

Есть сложность с разработкой уникальных материалов для печати и началом их серийного производства. Для удешевления материалов для печати ведется работа с производителями сухих строительных смесей. В 2024 году серийный выпуск планируется в Краснодарском крае, г. Выборге, на острове Сахалин.

Важно привлечь к возможностям аддитивного строительства архитекторов, проектные команды, строительные компании.

Но более актуальна и долгосрочна задача синхронизации и опережающей подготовки высококвалифицированных специалистов, способных обеспечить эксплуатацию и обслуживание производств 3D-комплексов в различных условиях работы. С этой целью мы активно налаживаем отношения и строим планы с профессиональными образовательными учреждениями.

4 апреля прошел IV чемпионат «Лучший по профессии», приуроченный к 375 летию ЖКХ, который был проведен на территории «Межрегионального Центра Компетенции-Техникума имени С.П. Королева» в г. Королев. Ассоциация содействовала в организационных вопросах, связанных с демонстрацией технологии на этом мероприятии. Интерес проявили как студенты колледжа, так и преподаватели профильных специальностей. Директор техникума Ираида Анатольевна Ласкина прокомментировала перспективность технологии аддитивного строительства, предоставив возможность попрактиковать студентов, проявивших интерес к строительной печати.

В этом же ключе планируется работа с вузами для формирования инженерно-технического класса по программированию, проектированию и т.д.



# 3D-печать — альтернатива традиционным технологиям в малоэтажном строительстве



технологий рассказывает генеральный директор 3D4Art Роман Павленко.

## Какова ниша 3D-печати в строительстве?

Ниша 3D-печати на строительном рынке продолжает расширяться, и её роль становится всё более заметной. Три года назад строительная 3D-печать считалась несерьёзным занятием для энтузиастов, однако с 2022 года стали появляться осознанные запросы на 3D-печатные здания. Крупные компании начали проявлять интерес к этой технологии, и государственные структуры также обратили внимание на возможности 3D-печати в строительстве.

Строительная 3D-печать рассматривается как реальная альтернатива традиционным технологиям в малоэтажном строительстве и реализации зданий геометрически сложной формы. Ожидается, что в ближайшем будущем доля строительной 3D-печати значительно увеличится в малоэтажном частном строительстве, особенно в сегменте качественных каменных домов. Также появятся собственные ниши для 3D-строительства уникальных и геометрически сложных сооружений, а также для возведения промышленных объектов.

## Какие актуальные задачи стоят перед участниками российского рынка?

Актуальные задачи участников российского рынка строительной 3D-печати включают:

- Улучшение имиджа строительной 3D-печати и устранение негативных ассоциаций, связанных с неудачными проектами и начинаниями.
- Разработку единых стандартов для проектирования и возведения зданий, чтобы обеспечить безопасность и качество строительства.
- Переход строительной 3D-печати на профессиональный уровень, включая общестроительные стандарты, нормативы, бизнес-процессы и вопросы техники безопасности.
- Государственную поддержку и стимулирование развития отрасли, включая внедрение новых технологий и улучшение стандартов.

- Создание успешных примеров 3D-строительства, которые могут служить ориентиром для других компаний и способствовать распространению технологии.

## Какие достижения за последнее время Вы считаете значимыми?

В мире крупнейшие строительные проекты стали выделять существенную долю бюджета на технологии 3D-печати, некоторые страны законодательно закрепляют необходимость развития отрасли. В России также появляются крупные и интересные проекты, развивается производство специализированных материалов и оборудования. Основные достижения нашей компании включают доработку специализированной смеси для 3D-печати, выпуск марки с растительными волокнами, вывод на рынок специализированных покрытий для 3D-печатных стен и строительство первого в мире здания за полярным кругом.

## Какие факторы влияют на развитие этого нового строительного направления?

- Рост малоэтажного строительства: увеличение объёмов малоэтажного жилья, повышение его доли в общем объёме вводимого жилья в России.
- Социально-психологический комфорт проживания: улучшение качества жизни благодаря комфортной и уютной среде обитания.
- Доступность жилья: возможность самостоятельного строительства или с помощью строительной бригады при относительно низких затратах.
- Индустриальность: применение современных технологий для снижения себестоимости и эксплуатационных затрат.
- Энергоэффективность: соответствие требованиям по снижению энергоёмкости и применению экологически чистого сырья.
- Динамичность: сокращение сроков строительства благодаря современным технологиям.
- Экономическая эффективность: использование местных ресурсов и снижение финансовых затрат.

## Какие факторы будут способствовать развитию Вашей компании?

Мы надеемся, что наши проекты станут мощным драйвером роста, визитной карточкой и рекламой компании. Также мы рассчитываем на поддержку институтов развития, АСИ и государственных структур. Мы уверены, что наши проекты заинтересуют крупных корпоративных заказчиков. Кроме того, мы возлагаем большие надежды на сотрудничество с МГСУ.

# На невозможное требуется немного больше времени



Компания «АМТ» в 2015 году запустила первое в Европе и СНГ серийное производство строительных 3D-принтеров (торговый знак АМТ) и продемонстрировала возможности своего оборудования в ряде строительных проектов. Постоянное развитие

компании (сейчас уже группы компаний) и пополнение линейки оборудования новыми моделями, коммуникация и кооперация с ведущими участниками этого инновационного строительного направления в России, включение оборудования в каталог российского аддитивного оборудования Минпромторга РФ, экспортные поставки в страны Евросоюза, США и Средней и Юго-Восточной Азии — все это этапы непростого пути, который выбрал для себя и своей команды основатель и генеральный директор компании Александр Маслов.

В данном интервью представлено мнение человека, который стал одним из первопроходцев отрасли.

## **Как получилось, что Вы выбрали альтернативный путь в строительстве? Какова ниша 3D-печати на строительном рынке?**

В эпоху роботов автоматизация такой большой сферы человеческой деятельности, как строительство, напрашивалась сама собой. Аддитивное производство как нельзя лучше подходило для этих целей. Был понятен подход к масштабированию оборудования, предполагаемые к использованию материалы.

Несмотря на то, что рынок строительной 3D-печати еще только начал свое формирование, оборудование выпускается уже серийно и пользуется спросом. Основной покупатель — малоэтажные застройщики. Привлекает минимизация человеческого фактора, скорость и точность возведения строительных конструкций. Уже достаточно большое количество прецедентов массового строительства, когда печатают сразу десятки домов.

## **Быть среди первых особенно трудно. Вы всегда верили в свой успех?**

Компания начала производство совершенно нового типа строительного оборудования и начать продавать то, чего не было раньше было достаточно трудно. Кроме того, не все воспринимали идею аддитивного строительства на ура. В 2014 году над нами откровенно посмеивались... Тем не менее сейчас метод строительной 3D-печати воспринимается вполне серьезно. Практика показала преимущества этого метода. По поводу веры в успех: у меня в кабинете висит плакат «На невозможное требуется немного больше времени!». Этим и живем.

## **Правда, что на российском рынке не представлено зарубежное оборудование строительной 3D-печати?**

Знаю про единственную несостоявшуюся поставку принтера датской компании в Уфу. По нашим оценкам, на рынке России работает около 200 единиц именно отечественных 3D-принтеров.

## **Каковы тенденции развития оборудования для строительной 3D-печати?**

### **Вы им следуете?**

Направлений два. Первое — применение аддитивной технологии для строительства многоэтажных и промышленных объектов, что требует в том числе и развитой нормативно-законодательной базы. Второе — в дополнение к порталным принтерам разработка новых систем оборудования, в том числе и на самоходных шасси. Мы — в тренде.

## **Какие актуальные задачи стоят перед участниками российского рынка?**

Рынок формирует сам себя. Развитие строительства в сторону малоэтажной застройки, социальное строительство, строительство в условиях сокращения некавалифицированного труда определяет рост применения роботизированных систем, в том числе и принтеров. Задач много. Основные — формирование нормативно-законодательной базы, разработка, сертификация и промышленное производство материалов для печати, популяризация аддитивной строительной технологии.

## **Какие достижения за последнее время Вы считаете значимыми?**

За последнее десятилетие — в целом появление новой строительной технологии — технологии 3D-печати. Серийное производство строительных принтеров. К слову, в России производится абсолютное большинство строительных принтеров мира.

## **Какие факторы влияют на развитие этого нового строительного направления?**

Сдерживающие: консервативность строительной отрасли и, как следствие, отсутствие сформированного рынка 3D-печати. Стимулирующие: очевидные преимущества автоматизации производства, в том числе скорость, точность, минимизация ошибок и «кривых рук», уменьшение численности рабочих на строительной площадке.

## **Какие факторы будут способствовать развитию Вашей компании?**

Надеюсь, что растущий спрос, интерес к новым методам строительства, развитие рынка индивидуального жилищного строительства в России. ■

# Основные тренды — это модульное строительство и аддитивные технологии



Группа компаний КТБ — эксперт в области железобетонных конструкций и технологий, ведет историю с 1962 года как конструкторское бюро внедрения технологий индустриального домостроения, с 2020 года участник проекта «Сколково». Руководитель холдинга — кандидат технических наук, президент «Клуба строителей Сколково» Артем Давидюк ответил на вопросы редакции журнала «Аддитивные технологии» о развитии 3D-печати в строительстве.

## Какова ниша 3D-печати на строительном рынке?

Ниша 3D-печати на сегодняшний день очень узкая и в то же время популярная среди предпринимателей, которые создают инновации и идут в ногу со временем. Пока нет как такового массового внедрения 3D-печати и в строительной отрасли. Самый главный эффект технологии наблюдается в производстве деталей и оборудования, которые можно воспроизвести по заданным заранее чертежам. Это особенно важно для малых промышленных производств в качестве оперативного воссоздания запчастей или частей оборудования, которые тяжело закупать, но можно сделать на месте.

Зачастую не хватает каких-то пластиковых, металлических деталей, в том числе элементов для того, чтобы ускорить ремонт оборудования. Как правило, предприниматели, производственники используют для их создания маленькие офисные 3D-принтеры.

## Какие актуальные задачи стоят перед участниками российского рынка строительной 3D-печати?

Идет осмысление тех областей, где применима данная технология. То есть мы видим, что печать комплексных конструкций дома не совсем эффективна, печатаются только стены. Фундаменты и крыши не печатаются, а выполняются вручную. Более того, стены потом нужно отдельно утеплять, засыпать и т.д. Поэтому производители думают о локальной печати элементов конструкции по префаб технологиям, допустим, в цехах с последующей сборкой на участке, на строительной площадке. И, конечно, 3D-печать сейчас активно применяется для изготовления различных малых архитектурных форм (МАФ) — элементов благоустройства и др.

## Какие достижения за последнее время Вы считаете значимыми?

Я считаю, что самое главное достижение в области строительства, — это быстрое импортозамещение,

которое произошло за последние два-три года. Мы не увидели сильных просадок в области строительства, хотя повысилась стоимость на все. Но, несмотря на это, застройщики сумели быстро переориентироваться.

Основные тренды — это модульное строительство и аддитивные технологии. Эти направления были давно разработаны и применялись еще в 60-х годах в Советском Союзе. Просто сейчас появились технологии, за счет которых процессы в данных направлениях пошли быстрее, эффективнее. Где-то применяются модульные фасады, появляются высокопрочные бетоны, новые виды арматуры, системы, позволяющие экономить, системы умных домов, оцифровка жилых пространств.

Плюсом является поддержка со стороны государства и бизнеса. Нет отвержения новых технологий и инноваций. Благодаря этому все процессы ускоряются и строительная отрасль движется вперед.

## Какие факторы влияют на развитие этого нового строительного направления?

В первую очередь желание человека разбираться до мелочей во всех технологиях, упрощение технологий, автоматизация, нехватка рабочих кадров. То есть сейчас будущее за решением, которое заменит человека, поэтому об этом думают все. Люди начинают воспринимать сложный строительный процесс как легкую сборку конструктора лего. В строительной области пока это наименее возможно, но рано или поздно все эти технологии, за которыми будущее: аддитивные технологии, модульные конструкции, цифровизация, технологии информационного моделирования, BIM — все эти инструменты объединятся в автоматизированную систему, которая будет меньше зависеть от влияния и присутствия человека в процессах строительства. Кстати, еще надо отметить один из новых трендов — искусственный интеллект (ИИ), который уже применяют в Китае. Он проектирует небольшие легкие типовые конструкции без участия человека. Вот это, наверное, наиболее трендовая история, за которой будущее. ■



## С новыми принтерами мы сможем делать еще более сложные проекты

*Отель, расположенный в экопарке «Ясно поле» в Тульской области, внесен в Реестр рекордов России как первый в нашей стране отель, напечатанный на 3D-принтере. Выбор технологии не был случайным. О развитии аддитивного направления в строительстве, особенностях и результатах реализации проекта редакции рассказал Дмитрий Черепков, основатель экопарка «Ясно поле».*

Какова ниша 3D-печати на строительном рынке?

Ниша небольшая. На мой взгляд, 3D-печать пока востребована для уникальных строений сложной формы и экспериментальных построек, например, таких, которые мы создаем для гостевой индустрии. Есть небольшой спрос у новаторов, которые хотели бы попробовать эту хайповую тему. Но люди пока больше интересуются, как и что печатается, нежели сами готовы строить нечто подобное. Конечно, формирование спроса еще впереди. И оно будет следствием появления профессионально сделанных объектов.

3D-печать в строительстве — все еще дело энтузиастов или уже нечто большее?

Дело энтузиастов. Но энтузиасты набираются опыта и приближаются к тому, чтобы продукт вышел на рынок. Небольшой интерес со стороны профессиональных участников рынка присутствует как следствие наблюдения за энтузиастами, которые что-то печатают.

Какие цели и задачи стоят перед участниками рынка и перед вашей компанией?

Сейчас количество компаний, реально способных печатать, очень мало — по пальцам пересчитать. Таких, которые могут заявиться и взять подряд, — побольше.

Впереди еще изучение технологий, их отработка, особенно в нашей климатической зоне, где более сложные условия для печати. Требуется повышение управляемости процессом, что позволит не просто печатать дома с вертикальным отклонением стен в сечении, но и дома вместе с крышей. Это очень непростая задача в технологическом плане из-за больших нависаний. Также нужны материалы и технологии, чтобы обеспечить водонепроницаемость бетона. И конечно, необходимо обучать специалистов.

Что касается нашей компании, в первую очередь важно освоение новых материалов или добавок к материалам, которые позволят избежать в печати даже декоративных трещинок. Также задачей является при-

менение водонепроницаемого бетона, чтобы печатать и стены, и кровли. Запросы на сложные проекты куполообразной формы будут расти.

Какие достижения вашей компании за последнее время вы считаете значимыми?

Самое главное достижение — мы уже открыли первый отель в России, напечатанный на 3D-принтере. И мы можем говорить про позитивную реакцию наших гостей. Те, кто у нас останавливался, в будущем хотели бы жить в таком доме.

Мы смогли на достаточно простом принтере напечатать стены с отклонением от вертикального сечения и с нависанием, решив непростую технологическую задачу. С новыми принтерами мы сможем делать более сложные проекты.

Как и почему вы выбрали 3D-печать для своего проекта? Какие впечатления по итогам?

В первую очередь выбор связан с тем, что с помощью печати можно делать более сложные и интересные формы домов, получать интересную фактуру. Для привлечения клиентов это имеет важное значение.

Недавно ко мне приезжали в гости знакомые из Домбая, которые строят экопарк. Они посмотрели и сказали: «Нам это так нравится, что мы хотим построить такой же дом для себя!» Это высокая оценка от людей, имеющих возможность построить себе любое здание. ■



# Достижение в том, что рынок смотрит в сторону строительной 3D-печати



*Художественная печать металлом на собственном 3D-принтере*



Миссия команды PARC3D — вывести на рынок новый инструмент, благодаря которому в каждом городе нашей страны появится новая точка притяжения или доблестной памяти. Одним из приоритетных направлений деятельности компании является производство арт-объектов и малых архитектурных форм. И создаются они на 3D-принтере по металлу собственной разработки.

Андрей Матчин, технический директор, основатель компании PARC3D, ответил на вопросы редакции о перспективах развития отрасли и компании.

## Какова ниша 3D-печати на строительном рынке?

Рынок строительной 3D-печати в России только зарождается. Несмотря на то, что в последнее время отовсюду слышно о создании новой компании, принтера для печати строительными смесями, в реальности очень мало проектов, реализованных по печати зданий и сооружений. В то же время интерес со стороны девелоперов набирает оборот — они готовы вкладывать деньги в развитие технологии и экспериментальные проекты. Такой интерес с их стороны стимулирует компании к разработке и созданию новых принтеров с уникальными технологиями и вселяет уверенность в том, что товар будет востребован на рынке. На данном этапе развития в России 3D-печать применима для малоэтажного строительства.

## Какие задачи стоят перед участниками российского рынка?

Основная задача как для разработчика, так и для строителя — это получить строительный комплекс, который перекрывает основные запросы рынка по 3D-принтерам:

- простота конструкции,
- легкость в эксплуатации и обслуживании,
- широкий спектр применяемых материалов,
- скорость и себестоимость самой печати,
- доступность оборудования (принтера),
- баланс между производительностью принтера и его стоимостью.

Отдельно, на наш взгляд, выделяется задача создания строительных смесей, применимых для печати, состав которых позволит обеспечить непрерывную печать одного этажа без остановки. На данный момент мы не встречали смесь, которая это позволяет, и на мировом рынке в том числе. Видно, что большинство зданий печатают не более метра за подход.

## Какие достижения последнего времени Вы считаете значимыми?

Затрудняюсь ответить: как уже сказал, на российском рынке нет готового комплекса, закрывающего все потребности печати. Разве что достижением можно назвать то, что рынок готов и смотрит в сторону 3D-печати как на технологию будущего вопреки первоначальному настрою как к безумно дорогой технологии.

## Какие факторы влияют на развитие этого нового строительного направления?

Это экономика, спрос на саму 3D-печать (пока небольшой), отсутствие готового — полностью отлаженного продукта (принтера), отсутствие компаний, готовых печатать на выезде по всей России.

## Какие факторы будут способствовать развитию Вашей компании?

Ключевой фактор для нас — это финансирование, так как разработку и постройку принтеров осуществляем на свои деньги — это потеря времени на заработок и, как следствие, ограниченность в маневрах. ■

# Конкурс строительной 3D-печати



Подведены итоги Международного конкурса строительной 3D-печати 2023 года, организатором которого выступает компания АМТ – ведущий российский производитель строительных 3D-принтеров. Представляем победителей.

Номинация «Лучший медиаматериал о строительной 3D-печати»

## Победитель — компания «Основание»

Компания «Основание» объединяет аддитивные технологии и строительство и уже длительный период времени занимается 3D-моделированием и проектированием для 3D-печати бетоном. Для конкурса был предоставлен материал об уникальной печати светящимся бетоном: презентационные материалы показывают, насколько отрасль богата на необычные и смелые решения в области строительства.



## Лауреат — выпускающий редактор журналов «РИТМ машиностроения» и «Аддитивные технологии» Татьяна Васильевна Карпова

В конкурсе отмечена статья по результатам прошедшего профильного форума в области аддитивных технологий, которая дает возможность окунуться в мир аддитивного строительства.

## Победитель — НИУ МГСУ

НИУ МГСУ подготовил две научные статьи: обзорная статья в декабрьском номере журнала «Промышленное и гражданское строительство» и статья по результатам экспериментальных исследований в декабрьском номере журнала «Строительные материалы». Статьи раскрывают особенности работы с бетонными смесями для печати на 3D-принтерах.

## Победитель — компания OneSW

На совместной конференции OneSW и Профсоюза свободных предпринимателей в Элисте три партнера компании получили ключи от своих домов, возведенных по Программе недвижимости. Все три дома построены по 3D-технологии. Победитель заявил свои материалы в формате видеоролика.



Номинация «Продвижение технологии»

## Победитель — компания 3D4Art

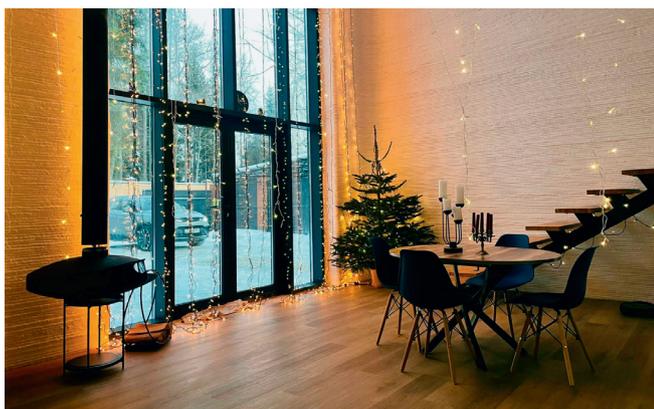
В ноябре 2023 года компания 3D4Art была включена в состав технического комитета по стандартизации «Производство работ в строительстве. Типовые технологические и организационные процессы (ТК400)». Участие в работе ТК400 позволяет компании вносить большой вклад в разработку стандартов и эффективное развитие строительной отрасли. Компания готова сотрудничать с «НОСТРОЙ» и другими участниками



комитета. Также 3D4Art подписано соглашение о сотрудничестве с НИУ МГСУ, которое открыло новые перспективы и возможности для долгосрочной работы в области аддитивных технологий в строительной сфере. 3D4Art принимала участие в форумах и выставках в Москве, Казани, Санкт-Петербурге и др.

#### Лауреат — ООО «3Д Строй»

Компания «3Д Строй» в Подмосковье создала здание, которое впечатляет не только своей высотой, но и техническим совершенством. Оно имеет рекордную высоту — 7 метров, что делает его одним из самых высоких сооружений, созданных с использованием 3D-печати в 2023 год.



#### Победитель — компания 3D CDC

Компания 3D CDC занималась строительным консалтингом для компании Printstone 3D. Во время совместной работы был напечатан ряд построек в ОАЭ. Сотрудники на стройке не говорили по-русски, что стало определенным барьером при работе. Из-за чрезвычайной жары строительство, как правило, производилось в ночное время, когда рабочие и оборудование не подвергались сильному тепловому воздействию. Печать произведена строго в соответствии с нормами ОАЭ.



#### Победитель — Printstone 3D

Печатью объекта занималась компания Printstone 3D. Именно она одной из первых начала передовое строительство на территории ОАЭ. Более того, компания продвинула технологию строительной печати на новый



уровень: массовая печать в Ближневосточном регионе стала доступнее и проще.

#### Лауреат — компания «Дом-из-принтера.рф»

«Дом-из-принтера.рф» — молодая компания, которая только начинает свой путь в мире строительства с применением 3D-технологий. Ее первый проект уже прошел проверку и был принят первыми жителями Московской области. Компания открывает новые перспективы в области печати индивидуальных зданий, настраиваясь на потребности каждого клиента.



Номинация «Самая массовая застройка»

#### Победитель — компания «Ясени»

Компания из Ейска продолжает удивлять плотностью и многочисленностью построек. Отель на берегу моря, который возводится при помощи аддитивных технологий, совсем скоро откроет свои двери перед по-



стояльцами. Комплекс полностью отстроен в рекордные сроки: менее чем за два года новые дома для проживания станут доступны для своих посетителей.

**Победитель —  
ООО «Специализированный застройщик  
ЗДЛЭНД»**

Компания занимается строительством коттеджей с использованием аддитивных технологий на территории Республики Татарстан. Квадрум — первый в России коттеджный поселок, построенный с использованием технологии 3D-печати. Это парк домов в единой концепции, вдохновленный образом жизни с тремя уникальными и разнообразными направлениями: дом, отдых и развлечения! Дома уже заселяются жильцами!



Номинация «Лучший архитектурный проект»

**Победитель — компания «Архитектурная  
студия M-A Space»**

Проект M-A Space в ОАЭ вызывает особый интерес в сфере строительства не только благодаря своей инновационности, но и тщательно продуманным деталям, которые предоставили Максим Семенов и Анна Будникова.



Не ограничиваясь лишь созданием модели в разрезе по слоям печати, они также разработали модель всех печатных слоев, что позволило застройщикам получить полное представление о том, как будущий дом будет выглядеть на каждом этапе строительства.

Также были созданы впечатляющие визуализации готового проекта, которые не только демонстрировали внешний вид здания, но и позволяли оценить его в контексте окружающей среды и ландшафта.

**Победитель — детский технопарк  
«Кванториум» — подразделение  
Ярославского градостроительного колледжа**

Основные задачи детских технопарков «Кванториум» — это развитие творческого потенциала детей, воспитание будущих высококлассных специалистов в стратегически важных областях российской науки и техники, возрождение интереса к техническим профессиям. Компания АМТ давно является партнером технопарка «Кванториум», поэтому к участию в конкурсе были приглашены талантливые дети.



**Победитель — компания  
«Частная территория»**

В номинации на лучший архитектурный проект студия «Частная территория» представила собственный взгляд на строительную печать и ее возможности. Выполненные проекты демонстрируют, насколько разнообразны могут быть напечатанные здания и сооружения.



## Номинация «Малые архитектурные формы»

### Победитель — компания «Основание»

Компания «Основание» одержала победу сразу в двух номинациях! Уникальная печатная продукция, выполненная в разнообразных цветовых решениях, светящиеся в темноте формы печати, а также смелые архитектурные решения были отмечены в номинации «Малые архитектурные формы».



### Победитель — MSBOCS

Компания MSBOCS продемонстрировала свою уникальность и мастерство в создании сооружений, которые переворачивают представление о возможностях современного строительства. То, что действительно удивляет, — это чистота печати. MSBOCS достигает невероятной точности и детализации в каждом элементе своих построек. Это не просто здания, это произведения искусства, вылепленные из бетона.



### Лауреат — ООО «МВИЛ»

Компания «МВИЛ» является уникальным участником. В отличие от предыдущих номинантов, ее специалисты создали не просто архитектурную форму, а практический элемент функционального дизайна. Это еще раз показывает, насколько разнообразна строительная печать.



### Победитель — компания RVS 3D

Компания занимается печатью уникальных и оригинальных архитектурных элементов для дачных и приусадебных участков из бетона, предлагая широкий ассортимент изделий высокого качества, включая индивидуальные.



## Номинация «Экстремальные условия печати»

### Победитель — компания 3D4ART

Одноэтажное здание площадью 80 кв. м печаталось зимой, в тепляке, окружающая температура воздуха доходила до -40 градусов, внутри тепляка сохранялась температура не ниже 10 градусов. Объект является производственным. Внутри находится большой холл и стойка.



Источник: <https://lider3d.com/winners>

# ARMY 2024

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ



12–18 АВГУСТА 2024

КВЦ «ПАТРИОТ», МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ, г. КУБИНКА

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР



МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ  
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ

[RUSARMYEXPO.RU](http://RUSARMYEXPO.RU)

# Электрические свойства ТПУ-пластика после 3D-печати по экструзионной технологии

К.А. Поляков<sup>1</sup>, Т.В. Баранов<sup>1</sup>, И.Ю. Булич<sup>1</sup>, П.А. Петров<sup>1\*</sup>, Н.С. Шмакова<sup>2</sup>, И.А. Чмутин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский политехнический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Технологический центр коллективного пользования АО «Технопарк Слава», Москва, Россия  
e-mail\*: petrov\_p@mail.ru

Термопластичный полиуретан (принятое сокр. ТПУ, TPU и др. по ГОСТ 34376.1-2017, ISO 16365-1:2014) — популярный современный инженерный полимерный материал, относящийся к термопластичным эластомерам (ТПЭ) класса эластомеров [1]. Первые упоминания о данном материале относятся к концу 1950-х годов XX века и связаны с компаниями В.Ф. Goodrich и Кратон (Kraton).

Помимо ТПЭ в класс эластомеров включаются также такие полимерные материалы, как:

- натуральные эластомеры, получаемые из растительного сырья;
- синтетические эластомеры, представляющие собой синтетические полимеры, способные перерабатываться в резину путем вулканизации, и подразделяющиеся на каучуки общего (изопреновый, бутадиеновый и бутадиенстирольный каучуки) и специального (бутилкаучук, этиленпропиленовый и хлорпреновый каучуки, фторкаучук, уретановый каучук) назначения;
- терморектеривные эластомеры, получаемые путем реакции полимеризации или вулканизации компонентов, являющейся необратимой, и полимер не подлежат вторичной переработке.

Популярность ТПЭ связана с его свойствами, обеспечивающими промежуточное положение между резинами и пластмассами (по ISO 16365-1:2014). В ISO 16365-1:2014 выделено три группы по твердости: 1) Шор D не более 25; 2) Шор D более 25 и не более 65; 3) Шор D более 65. Эта уникальная особенность полимера достигается за счет присутствия в его структуре

двух фаз: жесткой термопластичной и гибкой эластичной (рис. 1). Первая фаза отвечает за прочность материала, вторая — за его стабильность и эластичность (упругость). В зависимости от соотношения количеств эластомера и термопластика твердые сегменты пластика образуют либо непрерывную фазу, либо дискретно распределены в непрерывной фазе эластомера (рис. 1).

В соответствии с ГОСТ 34376.1-2017 (ISO 16365-1:2014) в ТПУ жесткие и гибкие фазы могут быть связаны между собой уретановыми химическими связями в жестких блоках и простыми эфирными, сложными эфирными или карбонатными связями или их сочетанием в гибких блоках. С учетом внутреннего строения и получаемых свойств классификация ТПУ основана на двух характеристиках: 1) твердость; 2) модуль упругости при растяжении (дополнительно).

Помимо этого в условном обозначении ТПУ может указываться предполагаемое применение и/или метод переработки. Среди методов переработки по ГОСТ 34376.1-2017 выделяют: ротационное и выдувное формование, каландрирование, экструзию (пленок, мононити и др.), литье под давлением, комбинирование нескольких способов. Экструзионная аддитивная технология по способу подачи материала, нагретого до высокоэластичного состояния, подобна методу экструзии. Отличие: множественное повторение циклов подачи материала до получения конечного изделия.

Значения твердости ТПУ могут варьироваться в диапазоне от 30 единиц Шора А до 80 единиц Шора D. На рис. 2 показано соответствие между шкалами D и А.

Рис. 1. Структура ТПУ [2]

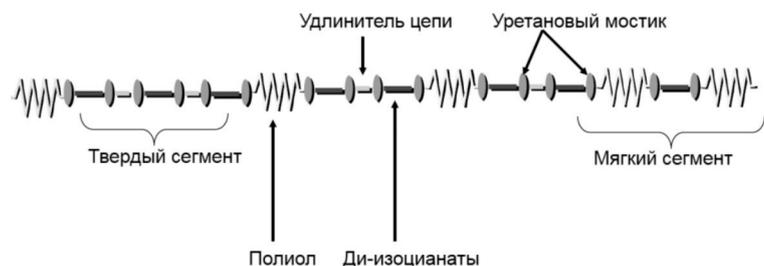


Рис. 2. Соотношение шкал твердости по Шору [2]

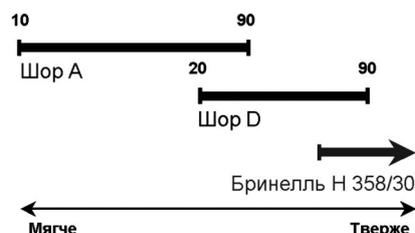


Таблица 1. Температурные условия переработки ТПЭ по ISO

Твердость по Шор D	Температура в области плавления, °C	Температура на выходе из инструмента (фильера, сопло экструзионной головки), °C	Температура плавления, °C
< 25 (Soft)	200–220	210–230	205–225
25 ≥ D < 65 (Medium)	205–225	215–235	210–230
D ≥ 65 (Rigid)	210–230	220–240	215–235

В первом случае (50 единиц по Шору A) полиуретан будет обладать повышенной мягкостью и эластичностью, а во втором случае (80 единиц по Шору D) материал будет твердый, как сталь.

ТПУ характеризуются уникальным уровнем свойств: отличная стойкость к истиранию и износу; гибкость и эластичность; прочность, в том числе на разрыв; оптическая прозрачность (для неокрашенных материалов); хорошая шумопоглощающая и виброгасящая способность; гидролитическая стойкость; холодостойкость, химическая и атмосферная стойкость. Температурные условия переработки связывают с твердостью материала. В ISO 16365-1:2014 выделяют три температурных диапазона, приведенных в таблице 1.

Долгое время 3D-печать ТПЭ-материалами была под вопросом; к настоящему времени ТПЭ и, в частности ТПУ-пластики, нашли свое применение при изготовлении изделий методом экструзионной аддитивной технологии. Одним из известных маркетинговых кейсов считается чехол для смартфона, напечатанный по FFF-технологии из термопластичного пластика. Самый популярный материал для 3D-печати — термопластичный полиуретан (ТПУ).

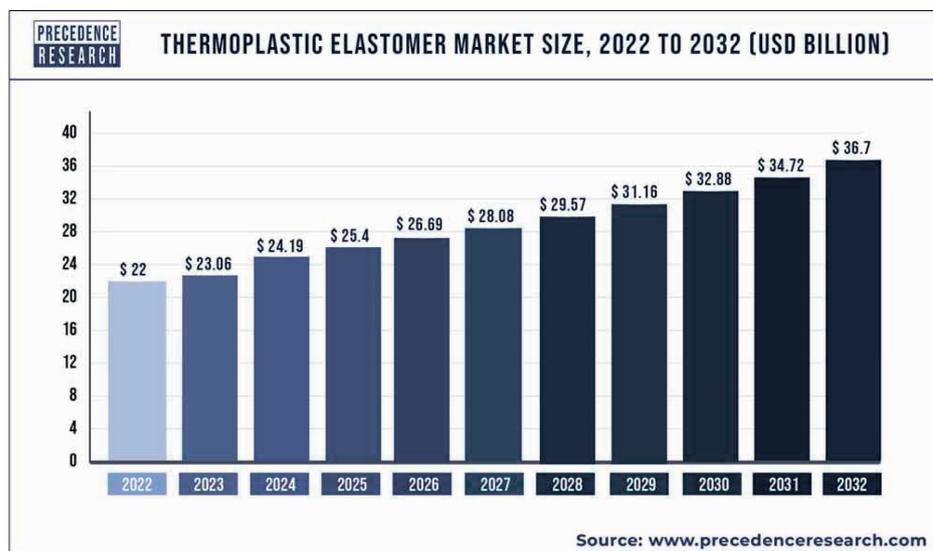
К 2017 году начал формироваться рынок расходных материалов, на котором некоторые производители предлагали термопластичный филамент диаметром 1,75 или

2,85 мм, в том числе NinjaFLEX, MakerFlex, PolyFlex, Sainsmart TPE [3]. Соотношение стоимости филамента ТПЭ к стоимости филамента АБС либо ПЛА за 7 лет практически не изменилось и составляет от 1,5 до 2,5 и выше. Однако более высокая стоимость расходных материалов окупается за счет функциональности изделия, изготовленного по технологии FFF/FDM, меньшего по длительности цикла производства и приемлемого качества в сравнении с изделиями, получаемыми по традиционным технологиям переработки ТПЭ.

Термопластичные эластомеры и их переработка являются одним из активно развивающихся направлений в химическом производстве. К 2012 году в Европе рынок ТПЭ составлял 570 тысяч тонн в год; наиболее широкое применение — автомобильная отрасль (40–50%). К 2032 году, по данным агентства Precedence Research [4], прогнозируется рост рынка ТПЭ, и наибольшую роль на этом рынке занимают ТПУ (рис. 3). Лидеры рынка термопластичных эластомеров: DuPont (США), BASF SE (Германия), Covestro AG (Германия), KRATON CORPORATION (США), SABIC, Asahi Kasei Corporation (Япония), China Petroleum Corporation (Китай), SIBUR (Россия), Dynasol Group (Испания).

К 2024 году практически все лидеры рынка термопластичных эластомеров вовлеклись в производство расходных материалов для аддитивных технологий,

Рис. 3. Прогноз рынка термопластичных эластомеров [4]



причем не только экструзионной аддитивной технологии (FFF/FDM и модификаций), но также технологии FGF (fused granule fabrication), SLS (selective laser sintering), HSS (high-speed sintering), MJF (HP's multi jet fusion). В таблицах 2–4 [5] приведены примеры расходных материалов из ТПЭ, в том числе для экструзионной аддитивной технологии (в таблице 2 приводятся далеко не все производители ТПЭ-филамента в России и зарубежом).

Изделие, изготовленное с помощью экструзионной аддитивной технологии, имеет электрические свойства, как правило, отличающиеся от свойств изделия, полученного традиционными методами (литье под

Таблица 2. Производители филамента ТПЭ [5]

Наименование продукта	Производитель	Свойства, особенности
Arnitel ID2045	Covestro (бывш. DSM Engineering Plastics; сейчас Stratasys)	ТПЭ-С, содержит 50% биоосновы, для высокоскоростной 3D-печати, твердость по Шору 34D
Arnitel ID2060 HT		Химически стойкий
Addigy® FPU 77D 000 A X1010	Stratasys (бывш. Covestro AM)	TPU, твердость по Шору 77D, жесткий
Addigy® FPU 79AR8 000000 A UV		TPU, твердость по Шору 79A, содержит 8% вторичного материала, характеризуется низкотемпературной гибкостью
Hytrel 3D4100FL	DuPont	Твердость по Шору 60D
Hytrel 3D4000FL		Твердость по Шору 40D
Ultrafuse® TPU 85A	BASF	В основе Elastollan, твердость по Шору 85A
Ultrafuse TPC 45D		ТПЭ-С, твердость по Шору 45D, гибкий резиноподобный эластомер
Ultrafuse TPU 64D		Самый твердый эластомер от компании BASF
Ultrafuse TPU 95A		В основе Elastollan для более удобной печати
Ultrafuse TPS 90A		TPS, твердость по Шору 90A, гибкий антифрикционный
ColorFabb varioShore TPU	colorFabb	TPU различной твердости по Шору, вспенивающийся
Filaflex 60A, 70A, 82A, 95A	Recreus	TPU различной твердости по Шору А, относительное удлинение при разрыве 950%
Reciflex		TPU, 100% вторичный
Conductive Filaflex		TPU, твердость по Шору 92A, электропроводящий
Filaflex Purifier		TPU, твердость по Шору 82A, смягчает загрязнение и очищает окружающую среду путем адсорбции CO <sub>2</sub> , NOx и летучих органических соединений за счет их преобразования в безвредные минеральные отходы посредством минерализации газа, относительное удлинение при разрыве 650%
Ninjaflex 85A	Ninjatek	TPU, твердость по Шору 85A
Chinchilla		ТРЕ, твердость по Шору 75A, безопасность для кожи протестирована с использованием модели кожи EpiDerm
Eel		TPU, твердость по Шору 85A, химически стойкий
Cheetah		TPU, твердость по Шору 95A, для высокоскоростной 3D-печати
Armadillo		TPU, твердость по Шору 75D, износостойкий
Titi Flex Soft 80A	Print Product	Titi Flex-пластики – это чистый полиуретан, без добавок и модификаторов, полностью адаптированный для 3D-печати с сохранением физико-механических свойств, как у литьевого полиуретана
Titi Flex Spring 95A		
Titi Flex Medium 50D		
Titi Flex Hard 60D		
TPU A95	Filamentarno!	УФ-стабилизированная (UF-стойкая) марка гибкого полиуретана, пригодная для применения в пищевой промышленности
TPU A93		
TPU A80		
TOTAL CF-5		Ударопрочный угленаполненный (5%) композит на основе TPU, твердость по Шору 68D
TOTAL GF-10		Ударопрочный стеклонаполненный (10%) композит на основе TPU; твердость по Шору 85D
TOTAL GF-30	Ударопрочный стеклонаполненный (30%) композит на основе TPU; твердость по Шору 73D	
TPU (REC Soft Flex)	REC	TPU, твердость по Шору 70A
TPU (REC Easy Flex)		TPU, твердость по Шору 95A
TPU (REC TPU D70)		TPU, твердость по Шору 70D
TPU (REC TPU GF)		TPU, твердость по Шору 70D; стеклонаполненный, ударопрочный

Таблица 2. Производители филамента ТПЭ [5] (продолжение)

Наименование продукта	Производитель	Свойства, особенности
TPU SOFT	Best Filament	Гибкий мягкий материал. Идеально подходит для печати гибких изделий: прокладок, проставок, демпферов, колес. Отличается повышенной стойкостью на истирание, на сжатие.
TPU HARD 60D		
U3 FLEX CONDUCTIVE / ТОКОПРОВОДЯЩИЙ	U3Print	TPU с углеродными нанотрубками, твердость по Шору 42D
U3 TPU FLEX 60D		TPU, твердость по Шору 60D
U3 TPU FLEX CFF 60D		TPU, наполненный углеволокном более 15%; твердость по Шору 60D
U3 TPE FLEX EXTREME		TPE, твердость по Шору 36D, адаптирован для 3D-печати

Таблица 3. Производители гранул ТПЭ [5]

Наименование продукта	Производитель	Свойства, особенности
Addigy GPU 64D 000000 UV	Covestro (бывш. DSM Engineering Plastics; сейчас StratasyS)	Твердость по Шору 64D, устойчив к ультрафиолету, износостойкий
Addigy GPU 74D 000000 UV		Твердость по Шору 74D, жесткий, устойчив к ультрафиолету
Addigy GPU 77D 000000 X1010		Твердость по Шору 77D, жесткий, прозрачный
Addigy GPU 89A 000000 AF		Твердость по Шору 89A, характеризуется низкотемпературной гибкостью
Addigy GPU 98AN8 000000 UV		Устойчив к ультрафиолету, адаптирован для быстрой настройки 3D-печати
Addigy GPU 79AR8 000000 A UV		TPU, твердость по Шору 79A, содержит 8% вторичного материала, характеризуется низкотемпературной гибкостью и обладает обеззараживающими свойствами
Addigy GPU 62AV8 000000 TPE		Устойчив к истиранию и износу
Hytrel 3D4100PT	DuPont	Твердость по Шору 60D
Hytrel 3D4000PT		Твердость по Шору 40D
HiFill TPU 0600, 0780, 1000	Techmer	Стандартный TPU
HiFill TPU GF20, GF30, GF40		Стандартный TPU, стеклонаполненный (20%, 30%, 40%)
HiFill TPU 0266 A, 0445 A		TPU, серия A
HiFill TPU/E 0140		TPU, серия E
HiFill TPU/I CF30, I CF10, I GF15, I GF25, I GF30, I GF40		TPU, серия I, угленаполненный и стеклонаполненный
HiFill TPU 85A 0152 S1		TPU, твердость по Шору 85A
HiFill TPU LGF40 2000 NAT 12 mm		TPU, стеклонаполненный (40%) длинными волокнами
ESTANE 3D TPU F70D-065 TR UV PL	Lubrizol	TPU, твердость по Шору 70D, характеризуется низкотемпературной гибкостью, устойчивостью к ультрафиолету
ESTANE 3D TPU F98A-030 CR HC PL		TPU, твердость по Шору 98A, характеризуется низким короблением и усадкой
ESTANE 3D TPU F95A-030 BR ECO PL		TPU, твердость по Шору 95A, содержит 30% компонентов растительного происхождения; характеризуется широким диапазоном настроек для 3D-печати

давлением, экструзия, формование), даже если они изготовлены из одного и того же материала [6]. Есть необходимость прогнозировать свойства конечного изделия, исходя из свойств материала филамента и технологических параметров печати, учитывая, что экструзионные 3D-принтеры не имеют стопроцентной повторяемости при переходе от модели одного производителя к модели

другого производителя. К свойствам материала филамента ТПУ относится комплекс характеристик, описанных в ГОСТ 34376.2-2017 (ISO 16365-2: 2014): реологических, механических, термических, электрических, физических, химических и прочих. Но если электрическим свойствам образцов, полученных традиционными методами, посвящена обширная научная литература,

Таблица 4. Производители порошка ТПЭ [5]

Наименование продукта	Производитель	Аддитивная технология	Свойства, особенности
TPU-70A	Prodways	SLS	Твердость по Шору 70А, относительное удлинение при разрыве 300%
EOS TPU 1301	EOS	SLS	Относительное удлинение при разрыве 250%
HP 3D High Reusability TPA enabled by Evoni	HP	MJF	TPA, твердость по Шору 91А
TPU	Voxeljet (разработан в партнерстве с компанией Covestro AG)	HSS	Предназначен для высокоскоростной 3D-печати
Ultrasint TPU01	BASF	MJF	Твердость по Шору 88–90А, относительное удлинение при разрыве 280%
Ultrasint TPU 88А/ TPU 88А Black		SLS	Твердость по Шору 88–90А, относительное удлинение при разрыве 270%
Addigy PPU 86AW6 000000 F EXFW	Covestro (бывш. DSM Engineering Plastics; сейчас StratasyS)	HSS, SLS	Твердость по Шору 85–89А, относительное удлинение при разрыве 416%
TPU “FLEX”	Fabulous	SLS	Твердость по Шору 65–85А, относительное удлинение при разрыве 300%
INFINAM TPA (rubber-like)	Evonik	SLS, HSS, MJF	TPA, твердость по Шору 91А; характеризуется гибкостью, долговечностью и устойчивостью к истиранию и износу
INFINAM TPC 8008 P		SLS, HSS, MJF	Термопластичный сополиэстер; характеризуется гибкостью, долговечностью и устойчивостью к истиранию, к химическим веществам, воде и УФ-излучению
ESTANE 3D TPU M95A	Lubrizol	MJF	TPU, твердость по Шору 95А

то особенности электрических свойств изделий, полученных с использованием аддитивных технологий, изучены крайне слабо. Требования к определению относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg}\delta$  устанавливаются по ГОСТ 22372-77 в диапазоне частот от 100 до  $5 \times 10^6$  Гц. В соответствии с ГОСТ 22372-77 и ГОСТ 34376.2-2017 эталонные значения диэлектрической проницаемости определены для образцов, изготовленных литьем под давлением, что позволяет избежать анизотропии и свести к минимуму неоднородность структуры.

В данной статье рассматриваются две композиции термопластичных полиуретанов (ТПУ), различающихся друг от друга по температуре стеклования и твердости по Шору (таблица 5). Средняя температура стеклования определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с применением прибора компании Mettler Toledo. Режим проведения опыта методом ДСК: нагрев в диапазоне  $-100$ – $250^\circ\text{C}$  со скоростью 20 К/мин в среде  $\text{N}_2$ .

По данным из открытых источников, эталонное значение диэлектрической проницаемости ТПУ-пластиков, полученных с применением различных методов переработки, составляет от 3,6 до 8,0 (таблица 6).

Образцы для определения диэлектрической проницаемости изготавливались по экструзионной аддитив-

ной технологии на 3D-принтере PICASO Designer X. В таблице 7 представлено описание параметров, характеризующих режим печати образцов для испытания электрических свойств.

В данном исследовании режим 3D-печати определяется помимо прочего сочетанием толщины слоя и стиля заполнения. Для каждого материала рассматривается четыре режима: 1) concentric с толщиной слоя 0,2 мм (режим 1); 2) concentric с толщиной слоя 0,3 мм (режим 2); 3) zig-zag с толщиной слоя 0,2 мм (режим 3); 4) zig-zag с толщиной слоя 0,3 мм (режим 4). Для каждого из режимов верхний (top) и нижний (bottom) слой выполнен стилем concentric.

Диэлектрическая проницаемость ТПУ-пластика после его обработки по экструзионной аддитивной технологии может быть оценена методом широкодиапазонной диэлектрической спектроскопии с использованием прецизионного измерителя LRC в диапазоне частот от 20 Гц до 5 МГц. Схема установки образца при спектроскопии и методика проведения испытаний описаны в работе [7]. Принимаем, что исследуемый ТПУ-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 технологических неровностей на верхнем и нижнем торцах, что позволяет уменьшить

Таблица 5. Значения средней температуры стеклования различных композиций ТПУ по результатам ДСК-анализа

Номер композиции	Твердость по Шору	Температура стеклования (средняя), °С	Температура начала теплового процесса (предшествующего пику плавления на ДСК-диаграмме), °С	Температура плавления (пик на ДСК-диаграмме), °С	Удельная теплоемкость (по первому нагреву), Дж/(г*К)
ТПУ-1, прозрачный	58D	18,28	112,0	180,90	0,396
ТПУ-2, черный	88A	-6,40	130,0	179,84	0,513

Таблица 6. Значения диэлектрической проницаемости ТПУ

Материал	Твердость	Диэлектрическая проницаемость	Тангенс диэлектрических потерь	Источник данных
Elastollan® C 95A	по Шору 95A	7,0 (100 Гц) 5,0 (1 МГц)	0,05 (100 Гц) 0,07 (1 МГц)	Сайт компании BASF
Elastollan® C 80A	по Шору 80A	7,0 (100 Гц) 6,0 (1 МГц)	0,05 (100 Гц) 0,07 (1 МГц)	
Elastollan® C 59D	по Шору 59D	6,5 (100 Гц) 5,0 (1 МГц)	0,04 (100 Гц) 0,06 (1 МГц)	
Polyether TPU (полиуретановые ТЭП: полиуретан на основе простых полиэфиров)	по Шору 72A–76D	5,8 – 8,0 (100 Гц) 4,6 – 6,5 (1 МГц)	0,035 – 0,120 (100 Гц) 0,048 – 0,087 (1 МГц)	<a href="http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_TPU.htm">http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_TPU.htm</a>
Polyester TPU (полиуретановые ТЭП: полиуретан на основе сложных полиэфиров)	по Шору 56A–78D	5,1 – 7,1 (100 Гц) 4,1 – 6,1 (1 МГц)	0,034 – 0,200 (100 Гц) 0,048 – 0,087 (1 МГц)	<a href="http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_TPU.htm">http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_TPU.htm</a>
RTPU + 30% GF (вторичный с 30% стекловолокном)	по Роквеллу R119–R125	3,6 – 3,7 (1 МГц)	0,003 – 0,012 (1 МГц)	<a href="http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_TPU.htm">http://www.barvinsky.ru/guide/guide-materials_TPU.htm</a>
ТПУ марки ТМ-0533-90	по Шору 90A–97A	6,0 (10 кГц)	0,023 (10 кГц)	<a href="https://www.vitur33.ru/sale-raw-matherial/based-light/based-light_9.html">https://www.vitur33.ru/sale-raw-matherial/based-light/based-light_9.html</a>

Таблица 7. Параметры 3D-печати образцов

Параметр	Значение	
	ТПУ-1	ТПУ-2
Образец для испытания электрических свойств (диэлектрическая проницаемость)	диаметр 20,00 мм, толщина 1,0 мм	
Температура сопла, °С	240	220
Температура рабочего стола, °С	75	80
Диаметр сопла, мм	0,5	0,5
Ширина линии, мм	0,4	
Толщина слоя, мм	0,2 (вариант 1) 0,3 (вариант 2)	0,2 (вариант 1) 0,3 (вариант 2)
Толщина стенки (оболочки), мм	0,4	0,4
Обдув	да, 50 %	да, 20 %
Ретракт	да	да
Плотность заполнения, %	100	100
Стиль заполнения	concentric zig-zag	concentric zig-zag
Верхний (top) и нижний (bottom) слой	concentric	concentric
Поддержки	нет	нет

возможную погрешность измерений в опытах с применением измерителя LRC.

В таблице 8 показаны измеренные значения диэлектрической проницаемости для исследованных композиций ТПУ (таблица 5).

ТПУ-1 характеризуется положительной температурой стеклования, что влияет на большую твердость и меньшую гибкость материала при комнатной температуре до нагрева под 3D-печать. Изменение режима 3D-печати, увеличение толщины слоя с 0,2 мм до 0,3 мм приводит к некоторому изменению диэлектрической проницаемости: при толщине 0,2 мм – для concentric 4,897 (100 Гц) и 4,114 (1 МГц), для zig-zag 5,314 (100 Гц)

Таблица 8. Значения диэлектрической проницаемости ТПУ-пластика

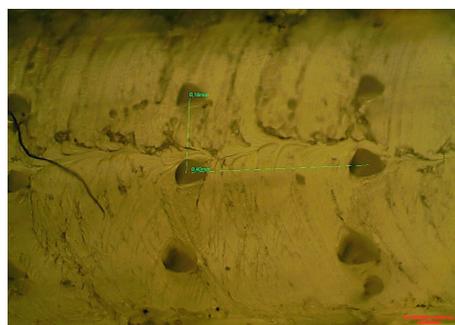
Эталонное значение диэлектрической проницаемости ТПУ (при заданной частоте)				Тип образца	Режим 3D-печати	Измеренное значение диэлектрической проницаемости (при заданной частоте)			
		100 Гц	1 МГц			100 Гц	1 кГц	100 кГц	1 МГц
Elastollan® C 59D		6,5	5,0	ТПУ-1	режим 1	4,897	4,707	4,310	4,114
Polyester TPU (на основе сложных полиэфиров)		5,1–7,1	4,1–6,1		режим 2	4,076	3,930	3,691	3,569
Polyester TPU (на основе простых полиэфиров)		5,8–8,0	4,6–6,5		режим 3	5,314	5,048	4,601	4,377
	50 Гц	1 кГц	1 МГц		режим 4	5,222	5,093	4,661	4,438
Elastollan® 1185A	7,5	7,2	5,5–6,2	ТПУ-2					
Elastollan® 1154D	6,3	5,9	4,9		режим 1	3,636	3,486	3,205	2,991
		10 кГц			режим 2	3,425	3,329	3,092	2,911
ТПУ марки ТМ-0533-90		6,0			режим 3	3,804	3,672	3,358	3,118
ТПУ марки Т-1413-85 (ООО НПФ «Витур»)		7,0±0,5			режим 4	3,934	3,797	3,471	3,234

и 4,377 (1 МГц); при толщине 0,3 мм — для concentric 4,076 (100 Гц) и 3,569 (1 МГц), для zig-zag 5,222 (100 Гц) и 4,438 (1 МГц). Повышение частоты приводит к снижению значения диэлектрической проницаемости. Переход к стилю zig-zag приводит к повышению значения диэлектрической проницаемости несмотря на то, что количество пор (пустот) в среднем слое образца, формируемого данным стилем заполнения, увеличивается. Верхний слой (top) и нижний слой (bottom)

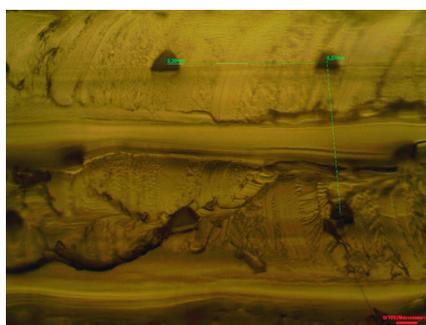
формируются стилем concentric. На рис. 4 показаны структуры, формируемые в образцах ТПУ при их заполнении стилем concentric и zig-zag. Полученные значения диэлектрической проницаемости близки к значениям одного из найденных в открытых источниках аналогов — Polyester TPU на основе простых эфиров (таблица 8), получаемого традиционным методом переработки.

ТПУ-2 характеризуется отрицательной температурой стеклования, что влияет на большую гибкость материала при комнатной температуре до нагрева под 3D-печать. Изменение режима 3D-печати не приводит к существенному изменению диэлектрической проницаемости, средние значения которой: 3,700 (100 Гц) и 3,063 (1 МГц). Повышение частоты приводит к снижению значения диэлектрической проницаемости. Полученные значения диэлектрической проницаемости близки к значениям одного из найденных

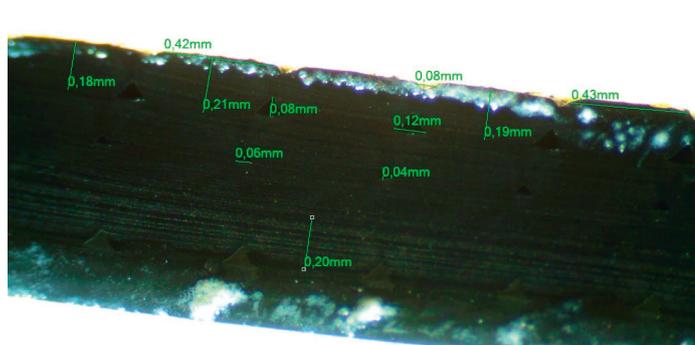
Рис. 4. Характерная форма пор (пустот) в образцах ТПУ после 3D-печати



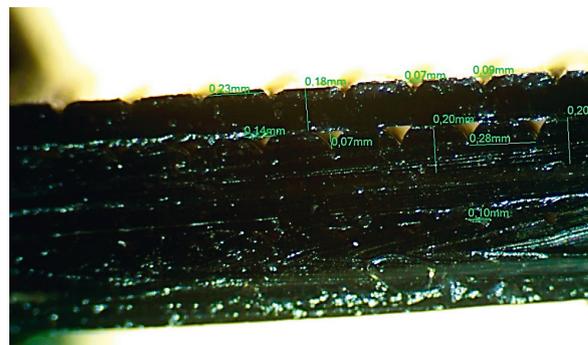
ТПУ-1, concentric, толщина слоя 0,2 мм



ТПУ-1, zig-zag, толщина слоя 0,2 мм



ТПУ-2, concentric, толщина слоя 0,2 мм



ТПУ-2, zig-zag, толщина слоя 0,2 мм

в открытых источниках аналогов — Polyester TPU на основе сложных эфиров (см. таблица 8), получаемого традиционным методом переработки.

### Разница между измеренным и эталонным значениями диэлектрической проницаемости может быть связана с одной из нижеописанных причин.

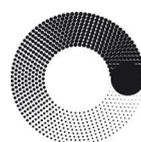
1. На значение диэлектрической проницаемости оказывает влияние выбранный режим 3D-печати, учитывающий реологические свойства материала, а также геометрические особенности конструкции образца, параметры оборудования и температурные условия в течение всего цикла экструзионной 3D-печати.

2. В структуре образцов в процессе 3D-печати формируются поры (пустоты, рис. 4). Эти элементы заполнены воздухом, что может способствовать уменьшению значения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ). Чем больше пор, заполненных воздухом, тем меньше значение  $\epsilon$ . Так, например, для термоэластичного полимера СБС (стирол-бутадиен-стирол) наблюдается аналогичный характер изменения диэлектрической проницаемости в случае изменения толщины слоя, а также при изменении стиля заполнения и толщины слоя [7].

Полученные в данной работе результаты могут быть использованы для контроля качества на этапе проектирования изделий, изготавливаемых из ТПУ-пластика с твердостью по Шору 58D и 88A по экструзионной аддитивной технологии. ■

#### Литература

1. Legge N. R. Thermoplastic Elastomers — Three Decades of Progress / N. R. Legge // Rubber Chem. Technol. 1989. Vol. 62. № 3.
2. Корнев В.А., Рыбаков Ю.Н., Чириков С.И. Структура и оценка применимости термопластичных эластомеров для технических средств перекачки и хранения топлива // Проблемы современной науки и образования. 2015. № 11. С. 84–88.
3. Woern, A.L.; Pearce, J. M. Distributed Manufacturing of Flexible Products: Technical Feasibility and Economic Viability. Technologies 2017, 5, 71.
4. Thermoplastic Elastomer Market [электронное издание] URL: <https://www.precedenceresearch.com/thermoplastic-elastomer-market> (дата обращения: 30.03.2024).
5. All about TPU and other thermoplastic elastomers for 3D printing [электронное издание] URL: <https://www.voxelmatters.com/all-about-tpu-and-other-thermoplastic-elastomers-for-3d-printing/> (дата обращения: 30.03.2024)
6. Хаширов А.А. Влияние технологических режимов FDM-печати на свойства изделий из полифениленсульфона и его композита с дискретным углеродным волокном: дис. канд. техн. наук: 02.00.06. ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». Нальчик. 2019. 124 с.
7. Вивтоненко А.С., Таксимбаева Д.А., Петров П.А., Шмакова Н.С., Чмутин И.А. Электрические свойства СБС-пластика после 3D-печати по экструзионной технологии. // Аддитивные технологии. 2023. № 3. С. 24–27.

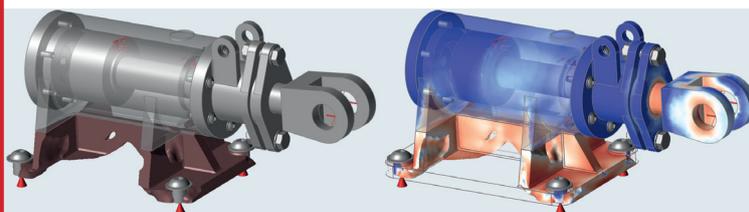


# МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ

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 применяется современное российское и зарубежное программное обеспечение.

### 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>

# 3D-печать оснастки при прототипировании изделий из металла



Андрей Хлыновский, основатель стартапа, инженер-технолог, изобретатель, [akhlynovsky@gmail.com](mailto:akhlynovsky@gmail.com)

При моделировании и разработке новых образцов изделий стоимость изготовления даже сравнительно несложного работоспособного прототипа может достигать

десятков и сотен тысяч долларов. Такая стоимость во многом обусловлена необходимостью изготовления технически сложных заводских штампов, гибочной оснастки и специального нестандартного крепежа и сильно ограничивает доступ к разработке новых изделий частным изобретателям и основателям стартапов. Также заводские штампы требуют и заводского штамповочного оборудования, а очень немногие производства соглашались устанавливать штамп, настраивать и налаживать пресс для изготовления нескольких единичных изделий. Можно изготовить упрощенные временные штампы из мягкого металла (например, дюралюминия), но даже они будут достаточно дорогими из-за необходимости применения электроэрозионных и фрезерных станков с ЧПУ и постобработки. Появление недорогих моделей 3D-принтеров позволило повысить доступность процесса разработки и изготовления прототипов изделий.

В данной статье рассматриваются вопросы 3D-печати временных пластиковых штампов, форм и их применения для изготовления реалистичных, работоспособных единичных прототипов изделий, содержащих детали из тонкого листового металла, на примере созданного работающего прототипа отопительного оборудования.

Временные пластиковые штампы и оснастка обеспечивают высокую гибкость прототипирования за счет скорости их изготовления (печати) и доступности. При наличии 3D-принтера стоимость пластикового штампа или оснастки обычно не превышает 10 долларов, а это в сто и более раз дешевле покупки самого простого заводского штампа. В данном случае 3D-принтер окупится в первую же печать. Если необходимо внести корректировку в прототип изделия и изменить штампы или гибочную оснастку — это делается за несколько часов. Для изготовления штампов и форм подойдет практически любой исправный и настроенный бюджет-

ный FDM-принтер. В качестве материала могут быть использованы PLA, PETG, ABS-пластики, так как они обеспечат хорошую прочность и жесткость при сжатии. Для изготовления штампов, скорее всего, не подойдут SLA-принтеры из-за низкой прочности фотополимерной смолы.

Далее рассмотрим применение FDM-3D-принтера для создания:

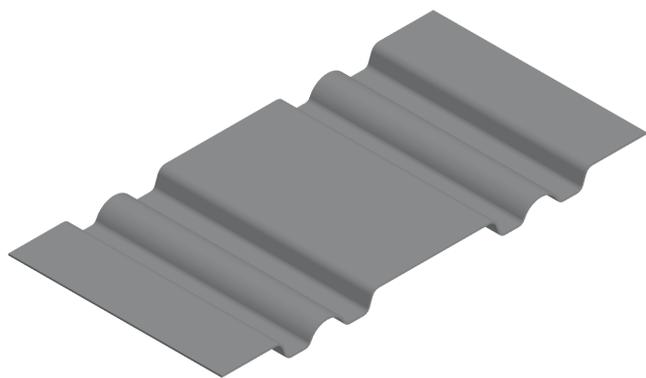
- временных пластиковых штампов для деталей из тонкого листового металла геометрически сложной формы;
- временной пластиковой гибочной оснастки для точной гибки деталей из тонкого листового металла с заданным радиусом.

До описания процесса создания временных пластиковых штампов и гибочной оснастки затронем вопросы экологичности данных изделий. Оснастка из пластика — это временное решение для создания единичных экземпляров изделий. Переработка пластика для 3D-печати в России отсутствует полностью, в данной ситуации временную оснастку лучше делать из натуральных пластиков на основе полимеров кукурузы и рапса (PLA-пластики различных производителей). Такие пластики стабильно можно использовать до года, после чего они потеряют свои прочностные свойства. Они более безопасны как при работе с ними в мастерской, так и при последующем захоронении на мусорных полигонах. В части затрат энергетических и материальных ресурсов временная пластиковая гибочная оснастка и штампы достаточно экономичны.

## Процесс создания и применения временных пластиковых штампов

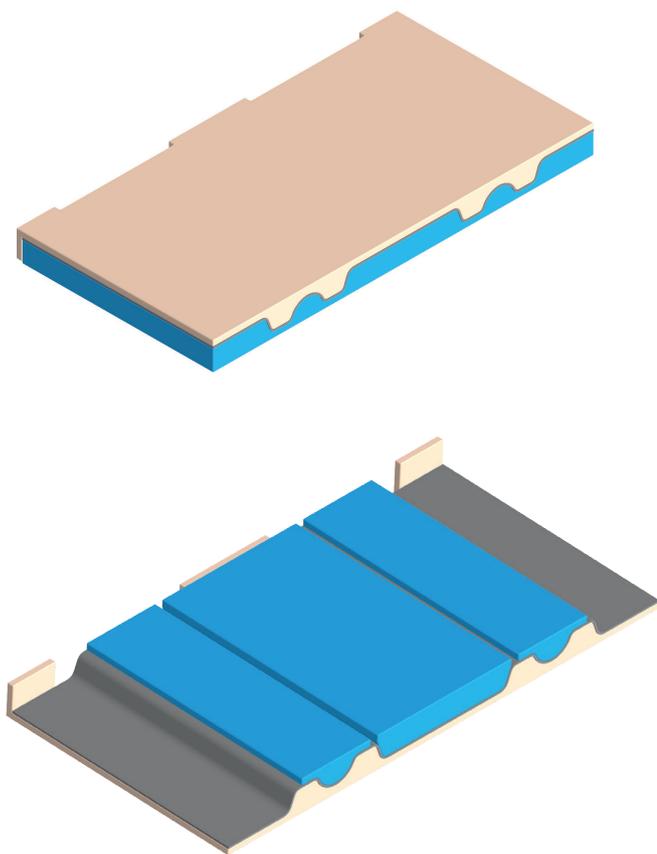
Заводские металлические штампы имеют высокую точность, жесткость, твердость и прочность, а также низкую шероховатость поверхности, для чего проходят сложную обработку, в том числе закалку и несколько циклов шлифовки и полировки поверхности до зеркального блеска. Временные пластиковые штампы имеют низкие показатели твердости, жесткости, прочности и качества поверхности, что необходимо нивелировать

Рис. 1. Трехмерная модель детали прототипа



при их использовании. Пластиковыми штампами можно изготавливать единичные детали из незакаленной листовой стали толщиной до 1 мм, а также мягких металлов (алюминиевые сплавы, медь и т.д.) толщиной до 1,5 мм. Пластиковые штампы не обеспечат высокую точность получаемых изделий и качество поверхности. Отклонения форм и размеров получаемых изделий 0,2–1 мм, что подразумевает подгонку и рихтовку при сборке. При создании пластикового штампа лучше предусмотреть зазор между штампом и деталью 0,1 мм, это облегчит процесс штамповки.

Рис. 2. Трехмерные модели временных пластиковых штампов в сборе с деталью с цельным (сверху) и разборным (снизу) пуансонами



Если деталь, которую необходимо изготовить с помощью временных пластиковых штампов, имеет значительные углубления, то необходимо сделать пуансон двух видов — цельный и разборный (рис. 2). Разборный пуансон будет применяться для поэлементного продавливания профиля от центра к краям детали, цельный — для последующей рихтовки всего изделия. Для выдавливания профиля детали могут применяться ручные прессы, винтовые струбцины или метрический крепеж соответствующей прочности. Разметку для обрезки торцов детали лучше всего производить в зажатом в штампе состоянии.

При создании элементов штампов необходимо выставлять заполнение материала в слайсере на уровне 80–95% для обеспечения максимальной жесткости и прочности штампов. Заполнение детали на уровне 100% не рекомендуется из-за эффекта переэкструзии — подачи чрезмерного количества материала при печати из-за неточности настройки экструдера 3D-принтера, что приводит к деформации и дефектам.

На рис. 1 приведена трехмерная модель требуемой детали сложной формы.

На рис. 2 приведены трехмерные модели временных пластиковых штампов в сборе с деталью в рабочем виде и с разнесенными компонентами. Сверху штамп с цель-

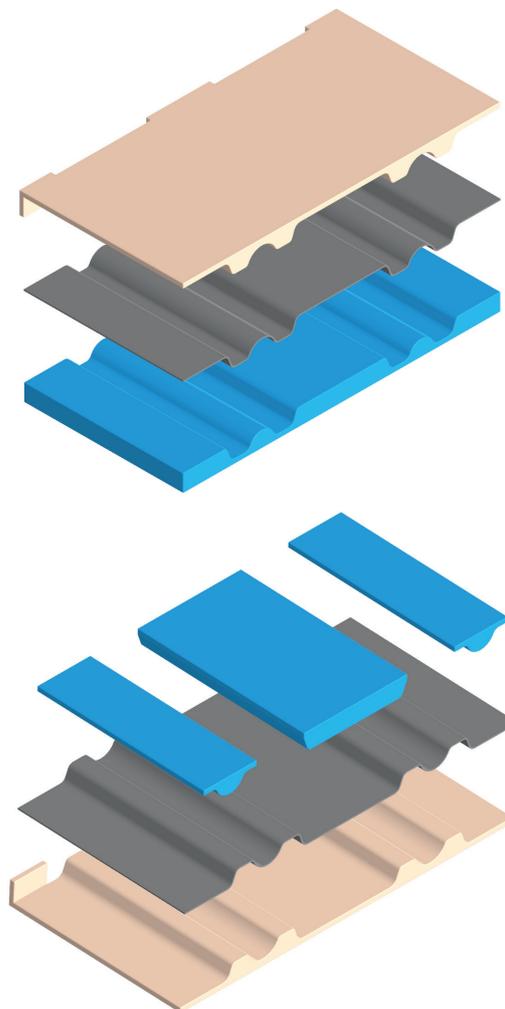
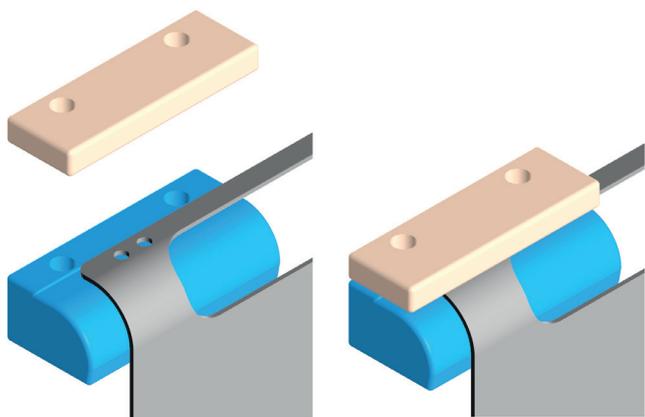


Рис. 3. Процесс штамповки штампами из PLA-пластика с помощью винтовых струбцин и готовой детали



Рис. 4. Трехмерные модели временной пластиковой гибочной оснастки в сборе с деталью (без изображения крепежа)



ным пуансоном для рихтовки, снизу штамп с разборным пуансоном для последовательного продавливания элементов изделия.

Процесс создания детали с помощью временных пластиковых штампов является достаточно трудоемким. Если деталь имеет несколько углублений или вертикальные в профиле участки, ее будет заклинивать в штампе. Такие участки, как указывалось выше, нужно продавливать разборным пуансоном с последующей рихтовкой в цельном пуансоне. Это достаточно медленный процесс с большим количеством операций.

На рис. 3 приведены фотографии процесса штамповки штампами из PLA-пластика с помощью винтовых струбцин и результата штамповки (готовой детали). Марка материала готовой детали — алюминиевый сплав АД1М, толщина — 0,8 мм.

#### Процесс создания и применения временной пластиковой гибочной оснастки

Заводское универсальное листогибочное оборудование доступно и позволяет изготавливать детали с небольшим радиусом в местегиба (обычно до 5 мм). Если необходимо изготовить деталь с большим радиусомгиба, расположенным на торце (см. рис. 4), то гораздо точнее и проще это сделать при помощи специальной пластиковой гибочной оснастки, распечатанной на 3D-принтере. Временная пластиковая гибочная оснастка компактна, легка в изготовлении и в простейшем виде представляет собой пластиковую деталь с требуемой по форме поверхностью, которая фиксируется в местегиба стандартным метрическим крепежом (рис. 4 и рис. 5 слева).

Пластиковой оснасткой можно гнуть с заданным радиусом единичные детали из незакаленной листовой стали толщиной до 1,5 мм, а также мягких металлов (алюминиевые сплавы, медь и т.д.) толщиной до 2 мм. Для малых радиусов в местегиба (до 5 мм) лучше применять стандартное листогибочное оборудование по металлу, изготавливать специальную оснастку в данном случае нецелесообразно.

В отличие от пластиковых штампов, пластиковая гибочная оснастка может применяться не только для изготовления единичных изделий, но также и в серийном производстве изделий из тонкого незакаленного металла, так как процесс гибки быстрый и нетрудоемкий, а нагрузки и износ оснастки незначительные.

При создании элементов временной пластиковой гибочной оснастки необходимо выставлять заполнение материала в слайсере на уровне 40–95% для обеспечения требуемой жесткости, прочности и недопущения дефектов из-за переэкструзии.

Если листовой материал изделия недостаточно пластичный, он будет немного распрямляться после гибки вследствие упругой деформации, что приведет к неточности получаемой детали. Это устраняется корректировкой

Рис. 5. Гибочная оснастка из PLA-пластика в сборе с метрическим крепежом (слева) и места гибов готовой детали, установленной в изделии (справа)



и подбором требуемого радиуса гибочной оснастки (последовательным уменьшением радиуса на 3D-модели до получения требуемого результата).

На рис. 4 приведены трехмерные модели временной пластиковой гибочной оснастки в сборе с деталью в рабочем виде и с разнесенными компонентами (без изображения крепежа).

На рис. 5 приведены фотографии гибочной оснастки из PLA-пластика в сборе с метрическим крепежом (слева) и мест гибов готовой детали, установленной в изделии (справа). Марка материала готовой детали — нержавеющая сталь AISI 304, толщина — 1 мм.

В качестве заключения можно отметить, что использование 3D-принтеров позволяет существенно расширить возможности частных разработчиков и стартапов при изготовлении единичных прототипов изделий. Гибкость процесса 3D-печати, доступность и экономичность оборудования и материалов, наличие бесплатного программного обеспечения для моделирования и преобразования модели в управляющую программу — все это делает 3D-принтер важным инструментом современного разработчика инженерных продуктов и решений. ■

ЦИФРА АКАДЕМИЯ  
ЦИФРА АДДИТИВНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ

# АДДИТИВНЫЙ КОНГРЕСС #1 С ЭЛЕМЕНТАМИ ЦИФРЫ

20 СЕНТЯБРЯ 2024

Единственное специализированное мероприятие  
и выставка аддитивных технологий в России

# ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ на 2024 год



## РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вы можете оформить подписку на журнал «РИТМ машиностроения» с любого месяца. Стоимость одного номера — **750** рублей, стоимость годовой подписки (7 номеров) — **5250** рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон по адресу: [ritm@gardesmesh.com](mailto:ritm@gardesmesh.com)

### БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»  
Юр. адрес: 107140, г. Москва,  
ул. Верхняя Красносельская,  
д. 17А, стр. 1Б  
Почт. адрес: 107140, г. Москва,  
ул. Верхняя Красносельская,  
д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1  
ИНН 7708266787  
КПП 770801001  
Р/с 40702810400120033781  
ПАО АКБ « АВАНГАРД»  
г. Москва  
К/с 3010181000000000201  
БИК 044525201

Фамилия, имя, отчество (получателя):

Наименование предприятия (организации, фирмы):

Индекс и полный почтовый адрес (получателя):

Юридический адрес (для выставления счета)

ИНН/КПП

Телефон:

E-mail (если он имеется)

Подписка на журнал “РИТМ машиностроения”:

номер

год

Подписка на журнал “Аддитивные технологии”:

номер

год



Вы можете оформить подписку на журнал «Аддитивные технологии» с любого месяца. Стоимость одного номера — **750** рублей, стоимость годовой подписки (4 номера) — **3000** рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон по адресу: [info@additiv-tech.ru](mailto:info@additiv-tech.ru)



107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1, т/ф (499) 55-9999-8,  
e-mail: [ritm@gardesmesh.com](mailto:ritm@gardesmesh.com), [www.ritm-magazine.ru](http://www.ritm-magazine.ru)  
e-mail: [info@additiv-tech.ru](mailto:info@additiv-tech.ru), [www.additiv-tech.ru](http://www.additiv-tech.ru)

22-26 | 05 | 2023

Россия, Москва,  
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



23-я международная  
специализированная  
выставка

# МЕТАЛЛООБРАБОТКА

«Оборудование,  
приборы и инструменты  
для металлообрабатывающей  
промышленности»



МИНПРОТОРГ  
РОССИИ



[www.metobr-expo.ru](http://www.metobr-expo.ru)

12+ Реклама

ЭКСПОЦЕНТР

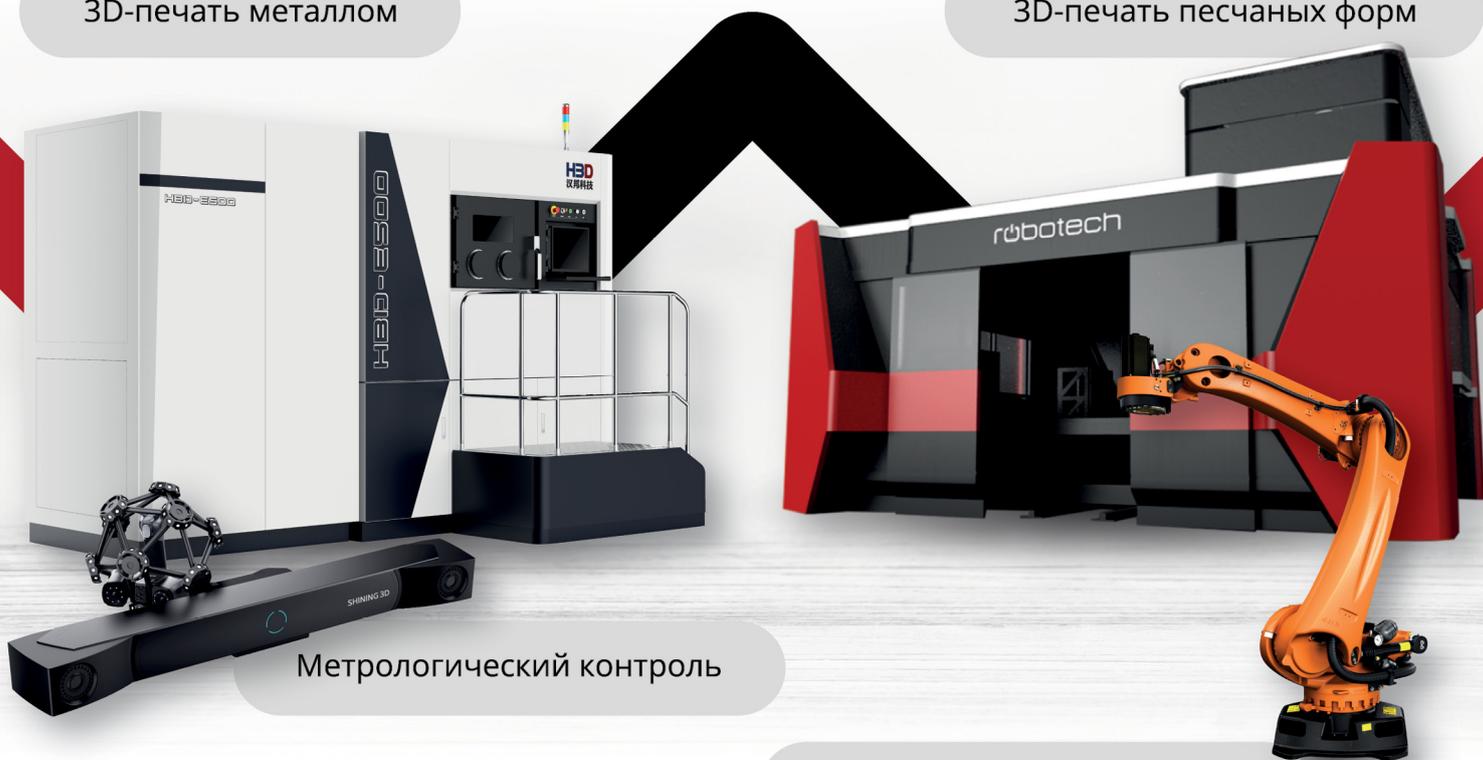


Интегратор  
цифровых решений

# ИНТЕГРИРУЕМ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО В ВАШЕ ПРОИЗВОДСТВО

3D-печать металлом

3D-печать песчаных форм



Метрологический контроль

Автоматизация производства



+7 (499) 290-24-20



sales@top3dgroup.ru



www.top3dgroup.ru