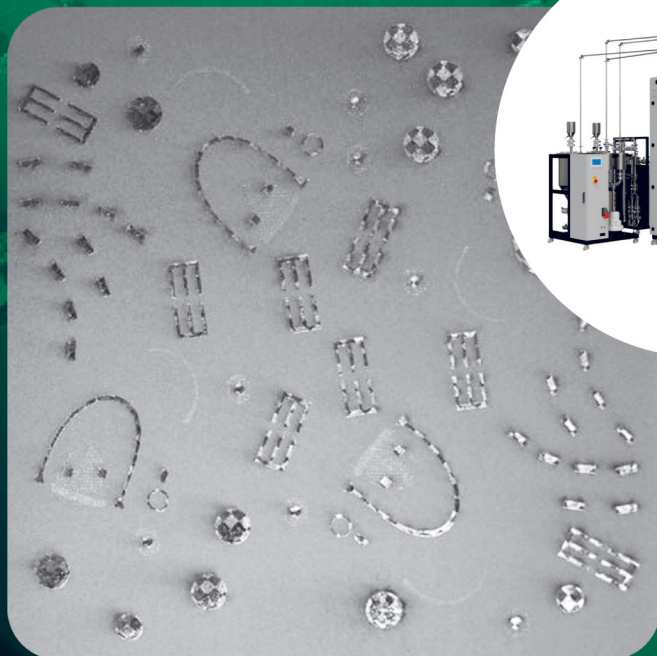
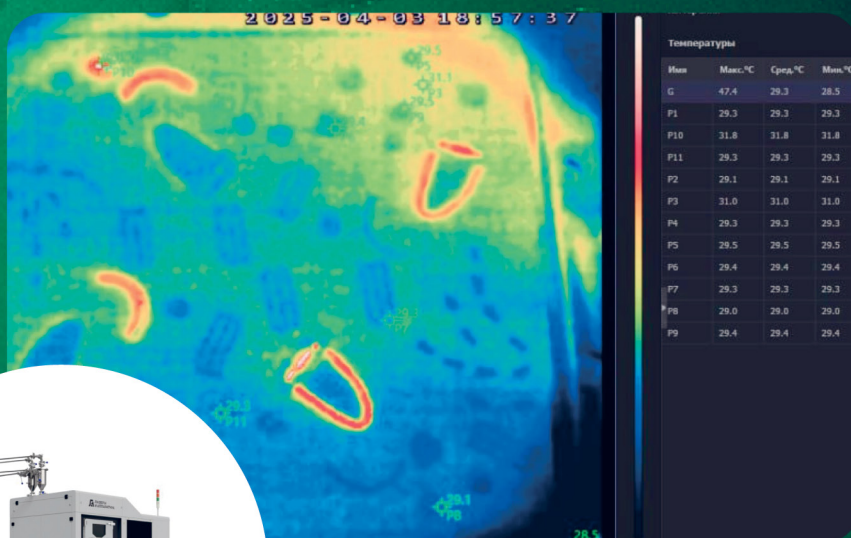
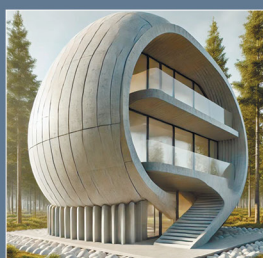


Четырехканальный лазерный 3D-принтер МЛ63 российского производства



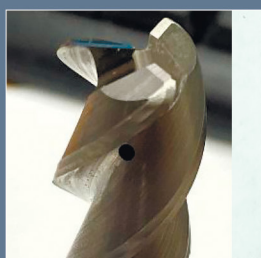
**Минимальная пористость
и высокие механические
свойства**

**ЧИТАЙТЕ
НА СТРАНИЦЕ 8**



Российский
рынок
строительной
3D-печати:
значимые
изменения

26



Фрезерная
обработка
деталей,
изготовленных
методом
FDM-печати

64



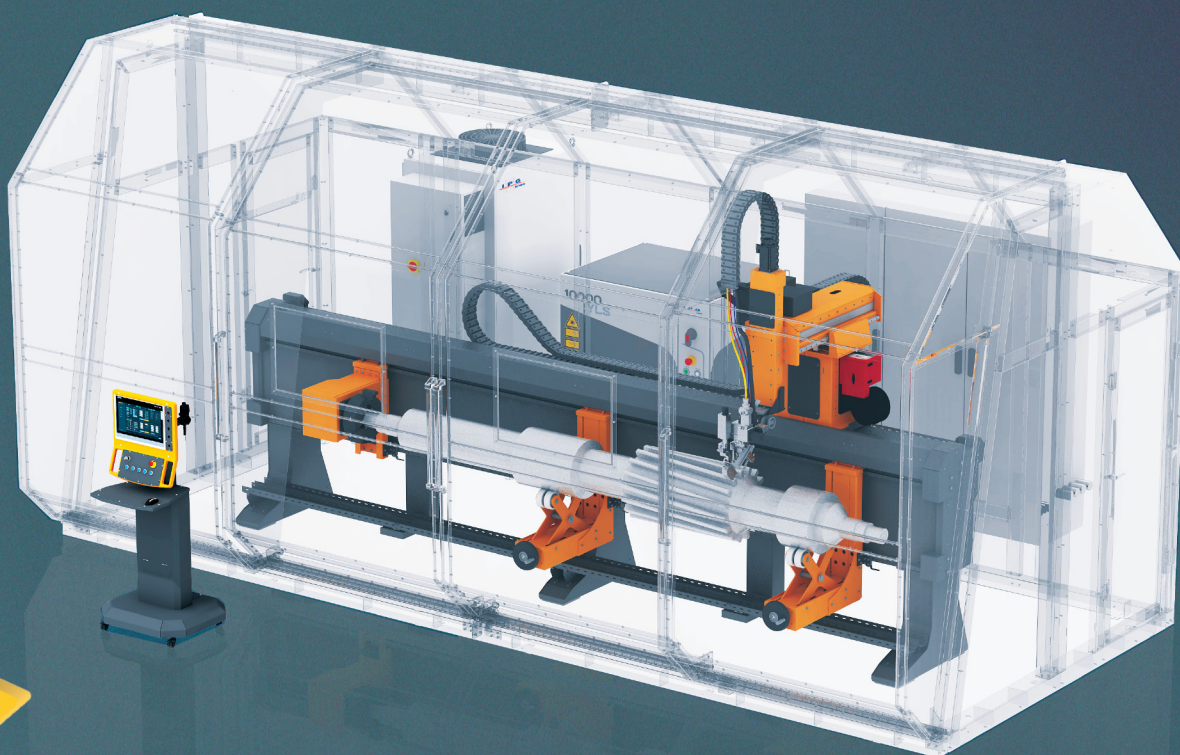
Вычислительная
инженерия и
суррогатное
моделирование
в аддитивном
производстве

69

VPG LASERONE

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ FL-CPM

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



Установите приложение для просмотра видео в дополненной реальности и направьте телефон на эту страницу

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР VPG Laserone ПОЗВОЛЯЕТ СОКРАТИТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ

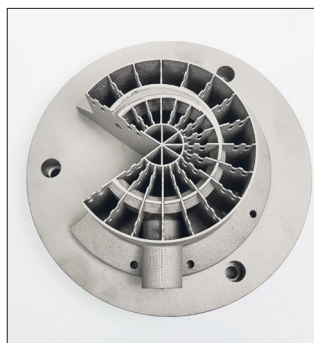
Высокий коэффициент использования материала: в случае наплавки проволокой — 100% (до 90% при наплавке порошком). Локальная обработка поверхности, минимальная постобработка, стабильная высота наплавляемого слоя, минимальное перемешивание основного и наплавляемого материалов. Отсутствие деформации изделия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

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

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

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

www.fl-cpm.ru



16



53



61

СОДЕРЖАНИЕ

- 2** Аддитивное производство: итоги 2024 года
- 4** Additive Minded – 2025: тенденции развития российского рынка аддитивных технологий
- 8** Направление аддитивных технологий в компании «Лазеры и аппаратура»
- 14** Простое и быстрое обратное проектирование с PointShape Design
- 16** Технические особенности проекта AMT
- 18** Экосистема аддитивного производства. Глайсер и Астрей — путь к успеху
- 22** От идеи до готового изделия: как унифицированная экосистема меняет подход к аддитивному производству
- 24** Возрождение легенды
- 26** 3D-печать в строительстве: уверенное развитие
- 30** Российский рынок 3D-печати: значимые изменения
- 36** 3D-печать в строительстве: технология будущего уже сегодня. История, перспективы и путь компании Smart Build Service
- 38** MEX/FGF — современная стадия развития аддитивных технологий для металлообработки
- 44** Аддитивное мышление, ракеты и цветы для Марса: как в Казани на «Спутнике знаний» выращивали инженеров нового поколения
- 46** Чемпионат «3D Профи»
- 48** Промышленность печатает: машиностроение и ТЭК
- 53** Промышленность печатает: аэрокосмическая отрасль
- 61** Технология MBJ для получения ступеней погружных электроцентробежных насосов
- 64** Фрезерная обработка деталей, изготовленных методом FDM-печати
- 69** Вычислительная инженерия и суррогатное моделирование в аддитивном производстве



Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

отдел редакции:

Т. Карпова, Э. Сацкая

С. Куликова

Экспертный совет :

Н.М. Максимов, к.т.н.

основатель и гендиректор
компании Nickatech, LLC

П.А. Петров, к.т.н.,

«Московский политех»

отдел рекламы:

т/ф (499) 55-9999-8

АДРЕС: 107140, г. Москва,

ул. Верхняя Красносельская,

д. 17А, стр. 1Б, офис 105

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.

Аддитивное производство: итоги 2024 года

Отчет Wohlers Report за 2025 год показывает, что глобальная индустрия аддитивного производства (AM) достигла \$21,9 млрд в стоимостном выражении: \$4,4 млрд — материалы, \$6 млрд — продажи машин и связанных услуг, \$10,1 млрд — услуги печати и \$1,4 млрд — продажи ПО. Среди них сегмент материалов продемонстрировал самые высокие темпы роста, что отражает рост промышленного внедрения. Однако сегмент машиностроения показал спад примерно на 1,5%.

В новом подходе Wohlers Associates впервые представила и определила верхние и нижние границы роста для своих рыночных прогнозов. Ожидается, что мировой рынок AM будет расти с годовой ставкой в 18%, потенциально достигнув \$115 млрд к 2034 году. Однако продолжающаяся вялость рынка может ограничить рост примерно до \$84 млрд, тогда как ускоренное восстановление — подтолкнуть рынок до \$145 млрд.

В эксклюзивном интервью онлайн-изданию 3D Printing Industry Мадхи Джемшид, директор по рыночной аналитике Wohlers Associates, отметил, что индустрия аддитивного производства переходит к большей консолидации и от продуктово-ориентированных подходов — к подходам, ориентированным на решения. Этот сдвиг означает зрелость AM.

Заглядывая вперед, Джемшид ожидает продолжения консолидации и вертикальной интеграции, когда крупные производители и даже конечные пользователи поглотят более мелкие компании.

Ожидается, что компании AM будут взаимодействовать с конечными пользователями в процессе внедрения, получая глубокое понимание их реальных потребностей и предлагая индивидуальные решения.

Джемшид подчеркнул, что геополитические факторы

сильно влияют на конкурентную динамику, и отметил, что бизнес-модели, делающие акцент на индивидуальных, высокоценных приложениях или специализированных материалах, таких как тугоплавкие сплавы, доказали свою эффективность, и, напротив, предостерег от конкуренции за счет недорогих предложений, отметив, что данная стратегия на текущий момент может оказаться неустойчивой.

Региональные показатели по 2024 году резко различались. Азия продемонстрировала самый высокий рост, обусловленный в основном растущим внутренним сектором AM в Китае. Напротив, в Америке наблюдался спад. Европейский рост был умеренным, при этом Германия, исторически являющаяся крупным экспортером AM-машин, сообщила о 20%-м сокращении экспорта (всех AM-машин) по сравнению с предыдущим годом.

Экспорт Китая значительно вырос в сочетании с сокращением импорта — внутренние поставщики все больше удовлетворяют внутренний спрос. Тем временем в США импорт машин AM резко вырос, что указывает на возросшую зависимость от иностранных поставщиков. Экспорт из Китая, Германии и США в совокупности составил около 2 млрд долларов, включая только машины AM. Джемшид описал эту цифру как показатель размера всей отрасли AM.

Рост международного рынка аддитивного производства
С момента издания Wohlers Report

WOHLERS ASSOCIATES powered by ASTM INTERNATIONAL



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

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

- 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.
- Высоточное и художественное 3D-сканирование, обратное проектирование, реверс-инжиниринг.
- Промышленное литье деталей различными партиями.

ТЕПЕРЬ В TELEGRAM! ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ!

РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



t.me/ritm_magazine



t.me/additiv_tech



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



Additive Minded – 2025: тенденции развития российского рынка аддитивных технологий

Ярким событием января в области аддитивных технологий стали конференция и выставка Additive minded – 2025, проходившие в рамках ведущей выставки пластмасс в России «Рупластика», организованной ООО «Экспо Фьюжн».

Additive minded, по сути, является детальным отчетом о том, что произошло в аддитивной сфере за минувший год. На восьмой по счету конференции традиционно собрались ведущие эксперты-аддитивщики страны, которые на протяжении трех дней с воодушевлением рассказывали о своих проектах, бизнес-идеях, делились опытом.

По итогам конференции **Дмитрий Трубашевский**, эксперт в области аддитивных технологий и неизменный ведущий проекта Additive minded отметил наиболее значимые события и тренды для российского рынка аддитивных технологий (АТ).

1. По данным Клуба аддитивных технологий, с 2021 по 2022 год отечественный рынок вырос на 33,9%. С 2022 по 2023 год он показал уже более высокую динамику в размере 60,1%, что составило 15,5 млрд руб. Если рынок продолжит так же стремительно обретать зрелость, то по целевому сценарию со среднегодовым темпом роста 31,5% достигнет отметки в 46,2 млрд руб. к 2027 году.



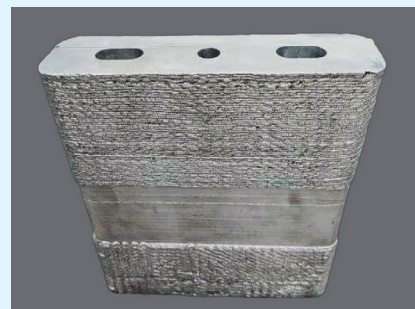
Кейсы компаний, представленные на Additive minded



3DVision. Прототип корпуса.
Технология: MJM.
Материал: VisiJet M3 Crystal



ПАО «Северсталь».
Сепараторы для подшипников.
Технология: SLM.
Материал: CoCrMo.
Печать: 3 часа. Количество: 3 шт.



xWELD. Заготовка детали оснастки.
Технология: сварочная наплавка проволокой с фрезерованием внутренних протяженных каналов. Материал: Amr5.
Время: 28 часов. Масса наплавки: 8 кг.

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

3. Все чаще у вузов и заводов 3D-принтеры ассоциируются с этакой палочкой-выручалочкой, когда им можно поручить абсолютно любую сложную и даже критически важную задачу. Вузы нарабатывают компетенции, вовлекаясь в различные проекты и создавая технологические демонстраторы, а бизнес готов за это платить. Порой демонстраторы показывают такие возможности АТ, которые могут воплотиться в жизнь спустя много лет, — и все из-за инерционности заводов, а также отсутствия должной сертификации ответственной продукции. Но ситуация меняется к лучшему.

4. Несмотря на конкуренцию среди лабораторий и центров аддитивного производства, спрос в этом сегменте еще превышает предложение.

Оптимальная производительность достигается при использовании принтеров, настроенных на один материал без переналадки, что снижает риски и повышает безопасность. Это открывает возможности для новых игроков, готовых инвестировать в современное высокопроизводительное оборудование. Более стабильные технологии и запас рентабельности позволяют им успешно конкурировать с опытными компаниями.

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

6. Заводы рассматривают к приобретению как отечественное, так и китайское оборудование, поскольку российские принтеры вполне конкурентоспособны. Дополнительным преимуществом становятся русскоязычные

лояльные инженеры и сервисный персонал, а также предустановка оборудования под российские материалы.

7. Отечественные материалы становятся все качественнее, особенно алюминиевые сплавы. Стоимость материалов за годы присутствия АТ на российском рынке упала в несколько раз, что позволяет центрам аддитивного производства и 3D-фермам производить вполне конкурентоспособную продукцию для единичного и мелкосерийного производства.

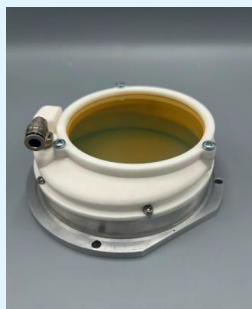
8. Между разработчиками российского ПО и интеграторами зарубежных продуктов до сих пор стоит стена, которая утончается из года в год. Работа ведется в том числе благодаря вузам и частным компаниям, которые планомерно нарабатывают потенциал.

9. Тем производствам, которые по каким-то причинам не находят перспективной экономику использования у себя 3D-печати в нынешнем виде, стоит обратить внимание на гибридизацию. Соединить субтрактивный и аддитивный способы — большая работа и ответственность. Но когда это удастся сделать — эффект не заставит себя долго ждать.

10. Ни один специалист, вовлеченный в аддитивное производство, не останется один на один со своей проблемой. На многочисленных специализированных каналах и в группах на помощь приходят более опытные коллеги. Вузы, дающие качественное образование в том числе на различном аддитивном оборудовании, а также многие интеграторы и специализированные компании помогают постигнуть дзен в этом направлении. А умножительное количество выставок, конференций, семинаров только доказывает, что аддитивные технологии и инновации востребованы в России.

Каждый год Additive minded дарит гостям выставки много новой информации, а также надежды и воодушевление. На сайте <https://additiveminded.ru/> возможно ознакомиться с докладами от компаний и экспертов. ■

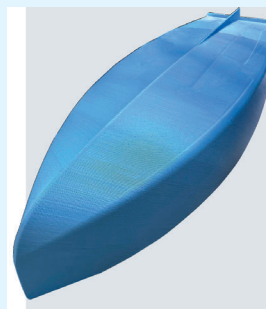
Фото с конференции: ООО «Экспо Фьюжн»



ООО «Онсинт».
Держатель
защитного стекла со
смещенным центром.
Технология: SLS.



AM.TECH. Трубка Вентури — элемент
системы контроля расходных скоростных
характеристик газового потока.
Технология: SLM. Материал: 12X18H10T.
Время: 27 часов. Высота: 215 мм.



F2 innovation. Лодка. Материал: PETG+GF.
Технология: FGF. Время печати: 50 часов.
Габариты: 4*1,5*0,8 м. Вес: 200 кг.



Российский прорыв

Единственный проект из России среди 3000 заявок из 75 стран в конкурсе ZGC ATECH в Пекине стал победителем в номинации «Умное производство и новые материалы», подтверждая технологическое лидерство России в сфере 3D/5D-печати.

Модуль Centaurus 5D компании Stereotech позволяет превратить обычный бюджетный 3D-принтер в 5D-устройство. Он устанавливается на стол 3D-принтера и подключается к блоку электроники. После обновления программного обеспечения принтер получает возможности 5-осевой печати. Таким образом, 5D-печать станет доступна миллионам пользователей.

Победа на престижном международном форуме для Stereotech — это международное признание, переговоры



о партнерстве с гигантами индустрии — с Crealitiy, Bambu Lab, CreatBot и другими, новые возможности для вывода российских решений на глобальный рынок.

Поздравляем с победой!

Наращивание мощностей

Завод порошковой металлургии «Гранком» (ГК «Руполимет») планирует в 2025 году нарастить мощности в области 3D-печати, используя меры государственной поддержки, в том числе Фонда развития промышленности. Об этом на заседании итоговой коллегии Минпрома Нижегородской области рассказал директор завода Артем Максимов. Будет запущено четыре 3D-принтера, работающих по SLM-технологии.

На предприятии уже имеется два 3D-принтера прямого лазерного выращивания ИЛИСТ СПбГМТУ со стационарным и двухосевым позиционером (габариты рабочей зоны: высота 970 мм, диаметр 988 мм), которые используются для отработки режимов печати выпускаемых порошков и выполнения деталей под заказ.

В начале этого года в промышленную эксплуатацию была запущена вторая установка VIGA с емкостью тигля 300 кг (также, как у первой). Планируется и дальнейшее расширение возможностей производства порошковых композиций — в стадии поставки еще одна EIGA-установка. Это позволит освоить выпуск новой продукции. В частности, как сообщил на международном технологи-



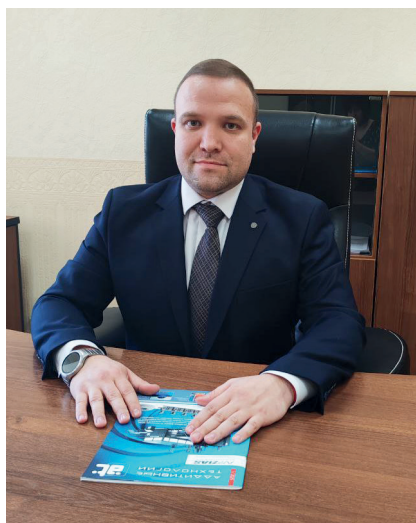
ческом форуме «Инновации. Технологии. Производство» в Рыбинске главный технолог ООО «Гранком» Александр Андрейко, ведется работа по получению эксклюзивной лицензии на производство металлических порошков НИЦ «Курчатовский институт» — ВИАМ марок: ВТ6, ВЖ159, ВЛК-1, ЭП648, ВНЛ-14, 12Х18Р10Т, ВАС-1. Металлопорошковые композиции компании «Гранком» успешно используются пользователями для 3D-печати изделий различных промышленных применений.

Новая технология упрочнения

В Московском авиационном институте (МАИ) разработали инновационную методику упрочнения деталей из композитов и иных полимерных материалов, изготовленных на 3D-принтере методом послойного наплавления. С ее помощью можно на 30% быстрее изготавливать опытные образцы авиационной техники. Кроме того, данная технология помогает побороть неравномерность механических свойств напечатанных деталей.

После печати деталь утрамбовывается в тонкий слой порошка — оксид магния, затем запекается в печи

при температуре, близкой к температуре плавления пластика, после чего выдерживается в течение 1–2 часов. Утрамбованный порошок имитирует литевную форму, и слои детали сплавляются между собой. Образцы, подверженные такой термической обработке, получают на 20–30% прочнее исходных деталей, изготовленных при помощи других методик, а после химической обработки они становятся ещё и более гладкими.



Синергия бизнеса, науки и государства для прорыва в сфере аддитивного производства

Аддитивные технологии сегодня — это не просто инструмент производства, а стратегический драйвер технологического суверенитета России. В условиях глобальных вызовов объединение усилий бизнеса, науки и власти становится критически важным. Именно на это направлена деятельность комитета «Аддитивные технологии» Республики Татарстан под руководством Евгения Дьяконова. Редакция журнала «Аддитивные технологии» воспользовалась возможностью узнать о деятельности этой организации из первых уст.

Евгений Викторович, расскажите, пожалуйста, о комитете и его задачах.

Наш комитет объединил 110 организаций из 19 регионов страны и Республики Беларусь, включая ключевых игроков отрасли. Это:

- **Корпорации-лидеры:** «Росатом», «Ростех», «Роскосмос», «СИБУР», «Татнефть», «Камаз», «УЗГА»;
- **Производители оборудования и материалов:** «СЛТ-Аддитивные технологии», «Лазерные системы», Высшая школа нефти в Альметьевске;
- **Научные центры:** КНИТУ-КАИ, КФУ, другие ведущие инженерные вузы;
- **Инновационные стартапы и промышленные предприятия.**

• **Фонды:** Фонд перспективных исследований.

Главная задача комитета — создать мостик между разработкой технологий, их внедрением в производство и государственной поддержкой.

Комитет входит в Промышленный кластер Республики Татарстан, председателем правления которого является Сергей Майоров. В составе Промышленного кластера более 2000 предприятий, что позволяет развивать кооперацию для создания инновационных продуктов, способных успешно конкурировать с лучшими мировыми образцами, и способствует организации эффективных индустриальных партнерств.

В апреле в Татарстане был создан Центр продвижения отечественного аддитивного оборудования. Можно поподробнее?

Можно сказать, что это старт новой эпохи. Миссия Центра продвижения отечественного аддитивного оборудования, материалов и технологий — стать окном возможностей для участников комитета. Его направления деятельности:

- **Бизнес-акселерация** — помощь в выводе продуктов на рынок: от технического задания до изделия, готового к потреблению, включая необходимую сертификацию.
- **Помощь в получении субсидий и банковских гарантий с целью поддержки и развития предпринимательства.**

В промышленном кластере организована группа ведущих экспертов по привлечению федеральных и региональных субсидий

• **Выставочно-демонстрационная платформа:** виртуальные и физические выставки для демонстрации оборудования («СЛТ-Аддитивные технологии», «Лазерные системы», AM.TECH) и материалов («СИБУР», «Татнефть»).

• **Международное продвижение:** участие в зарубежных выставках (Formnext, IMTS) под единым брендом, переговоры с партнерами из стран БРИКС и СНГ о совместных проектах.

• **Наука для промышленности:** лаборатории КНИТУ-КАИ, КФУ и Высшей школы нефти готовы принять активное участие в новых разработках.

• **Обеспечение кадрами:** обучение специалистов на базу учебных заведений, в КНИТУ КАИ разработана программа обучения специалистов по аддитивным технологиям, начиная с профессиональных училищ, заканчивая магистратурой.

А для самых маленьких детей погружение в технологии происходит в интерактивно-выставочном формате в музее «Дом занимательной науки и техники».

Аддитивные технологии — наше будущее?

Это не будущее, это настоящее. Уже сегодня наши предприятия печатают детали для беспилотников, медицинские импланты и элементы инфраструктуры и робототехники. С помощью Единого центра продвижения отечественного аддитивного оборудования и технологий мы сможем объединить инициативы и создать импульс для качественного развития отрасли.

Комитет «Аддитивные технологии» — это живой организм, где каждый участник вносит вклад в общее дело. Мы открыты к диалогу: если ваша организация готова стать частью экосистемы — присоединяйтесь к отраслевому комитету!

+7(967)370-11-69
filippenko.a@tatcluster.ru



Направление аддитивных технологий в компании «Лазеры и аппаратура»



Анна Цыганцова,
генеральный директор компании «Лазеры и аппаратура»

«Лазеры и аппаратура» — российский разработчик и производитель промышленных лазерных и электроэрозионных комплексов. За 27 лет работы компания внедрила множество решений с широким спектром технологий, в том числе с 2016 года занимается тематикой аддитивных технологий. На первом этапе это было в основном знакомство со спецификой активно развивающейся технологии, первые НИОКР, тогда как с 2021 года направление стало одним из основных.

На сегодняшний день аддитивным направлением в компании «Лазеры и аппаратура» занимается отдельное подразделение с выделенными группами разработчиков — конструкторской, технологической, систем управления и программного обеспечения. В рамках работ по развитию направления оснащены: собственный технологический центр, где работают комплексы нашего производства, отрабатываются режимы сплавления различных материалов и тестируются решения, а также собственная лаборатория металлографии. В цехах выделен отдельный участок сборки и тестирования аддитивного оборудования, при этом зоны сборки и испытаний разделены.

Все это нужно, поскольку аддитивные технологии стоят совершенно особняком, хотя и используют решения, перекликающиеся с другими областями (в качестве инструмента используют лазерный источник, в качестве системы перемещения — гальванометрические сканаторы, применяются ассистирующие газы и так далее).

Отдельный вопрос для компании «Лазеры и аппаратура» — организация производственного процесса. Задачи внедрения любых технологий, и в первую очередь аддитивных, в такие отрасли, как двигателестроение, атомная энергетика, авиа- и вертолетостроение и другие, диктуют строгие требования к результату печати, это означает, что начинать нужно не только с заложенных решений, но и с соответствующей организации и подходов к производству.

Актуальные на сегодняшний день задачи

Чтобы ответить на вопрос, что сейчас актуально и чем нужно заниматься производителям аддитивных комплексов, нужно посмотреть чуть шире на задачи, которые решает промышленное производство в мире и в России. Это:

— *Повсеместное внедрение новых материалов, их форм.*

Эта тенденция заметна везде, в том числе в классических, сформировавшихся технологиях. Внедрение

керамических материалов, полимерных композиционных материалов, новых сплавов металлов заставляет менять технологии и подходы к обработке. В случае с аддитивными технологиями тенденция усиливается тем, что химический состав означает многое, но не меньшее значение оказывает форма, фракция порошков и множество других свойств и параметров.

— *Увеличивающаяся специализация не только между отраслями, но и между разными производствами внутри отрасли.*

Еще 10–15 лет тому назад оборудование, которое используется, было гораздо более универсальным, и производитель оборудования мог не сильно погружаться в специфику области внедрения, но чем дальше, тем он более тесно связан с заказчиком.

— *Сокращение времени на разработки и внедрение.*

Это касается как новых изделий, так и внедрения новых материалов и разработки оборудования. Все процессы, функционал, подходы должны быть выстроены таким образом, чтобы обеспечивать «пятилетку в три года», и это особенность ситуации не только в России — это мировая тенденция.

Большие затраты на фонд оплаты труда и ограниченность числа квалифицированных специалистов.

При внедрении новых изделий и материалов, эксплуатации оборудования остро стоит вопрос, как максимально эффективно использовать время квалифицированного специалиста, с одной стороны, и как снизить затраты на оплату труда — с другой.

Если мы говорим про актуальные задачи для производителей оборудования в области аддитивных технологий, мы для себя их формулируем так:

1. *Обеспечение максимальной повторяемости и воспроизводимости.*

Проще говоря, высокий результат должен быть не чудом и стечением обстоятельств, а прогнозируемым следствием планомерной работы. И при производстве одного комплекса в уникальной комплектации, и при производстве десятка.

2. Обеспечение максимально возможного качества деталей.

Чем выше требования к механическим свойствам получаемых деталей, тем больше времени уходит на подбор оптимального режима и тем выше требования к самой системе и ее узлам. И здесь дело не только в затратах на изготовление узла как такового — много ресурсов уходит на поиск и анализ лучшего решения. Соответственно, чем выше уровень решения, чем выше его характеристики, тем больше времени потрачено на его разработку, испытания и отладку. Работающих сложных решений с первого раза не бывает, мы все это понимаем и поэтому хотим получать именно отработанные, проверенные и надежно выдающие результат.

Мы все знаем, что в мире эта технология внедрена более широко, чем в России, номенклатура оборудования и степень его отработанности — выше, однако это не означает, что можно просто взять и скопировать чужое решение (воспользоваться чужим опытом) и рассчитывать на стопроцентный результат.

Если в системе есть какой-то узел, мы должны хорошо знать ответ на вопрос, как именно он влияет на результат и каким он должен быть, чтобы этот результат обеспечить. Сейчас в серии МЛ6 мы выходим на очень хорошие значения — например, пористость на уровне 0,01% на сплаве ВНЛ-14, при этом мы понимаем, как именно мы ее обеспечиваем и видим, куда нужно дальше двигаться с точки зрения конструкции и функционала.

3. Внедрение решений, обеспечивающих результат печати и автономность работы.

Затраты на персонал могут составлять до 50% всех затрат на эксплуатацию. Задача — максимально сократить их, и один из путей — повышение уровня автономности работы системы и внедрение автоматизации со сложными алгоритмами принятия решений в зависимости от значений и различных событий, регистрируемых в процессе работы. Этот вопрос актуален для совершенно разных типов промышленного оборудования, но в аддитивных технологиях, учитывая стоимость материалов, время, которое уходит на печать, и саму сложность технологии — он один из самых острых.

Линейка оборудования

На сегодняшний день линейка оборудования компании «Лазеры и аппаратура» для аддитивных технологий включает в себя комплексы, работающие по двум технологиям: коаксиальной порошковой наплавки (LMD) и послойной печати (SLM).

Комплексы послойного лазерного сплавления — серия МЛ6

Ключевые особенности комплексов МЛ6 (рис. 1, 2, таблица 1):

- Оптическая система обеспечивает наилучшее качество сфокусированного пучка.
- Минимальное значение содержания кислорода на уровне 0,1% в рабочей зоне и в системе фильтрации на протяжении всего цикла выращивания.



Рис. 1. МЛ63 с областью построения 400*400*400 мм и четырьмя лазерными каналами

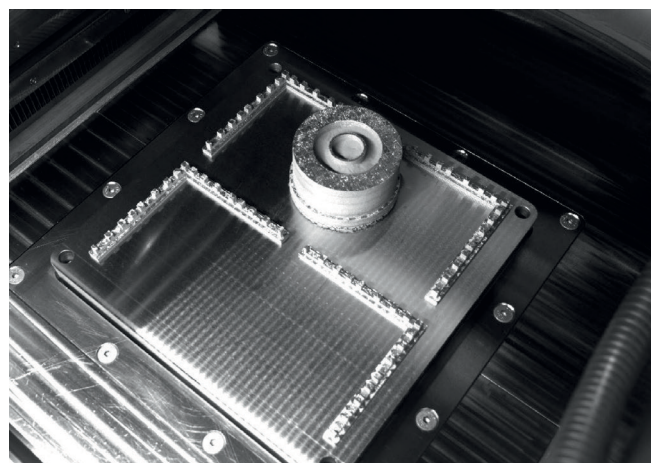


Рис. 2. Платформа с образцами на геометрическую точность. Цилиндрический образец построен одновременно четырьмя источниками

Таблица 1. Основные свойства и габариты комплексов серии МЛ6

	МЛ61	МЛ62	МЛ63
Объем построения	100*100*100 мм	250*250*250 мм	400*400*400 мм
Количество каналов (лазерных источников)	1	1,2	2,4
Минимальный уровень кислорода	0,1%		
Толщина слоя	20–80 мкм		
Расход газа	при откачке 30, при работе 5 л/мин		

- Система удаления порошка из камеры в бункер благодаря внутреннему пылесосу, работающему в замкнутой среде с доступом для оператора через перчаточный порт.
- Отстыковка корзины построения после завершения печати позволяет извлекать изделия большой высоты.
- Многоканальная оптическая система на основе иттербиевых волоконных лазеров с зоной перекрытия областей печати 80%, что позволяет выращивать габаритные изделия одновременно несколькими лазерами и дает существенное увеличение производительности.
- Система фильтрации и циркуляции газовой среды двухступенчатой системой фильтрации фильтром-циклоном и двумя фильтрами тонкой очистки с возможностью работы попеременно без остановки процесса печати.
- Работа лазерно-оптической системы и устройства подачи и разравнивания порошка синхронизирована во времени с минимальными задержками, но с возможностью регулировки, чем обеспечивается не только максимальная производительность, но и эффективность системы.
- Картриджная система замены дозирующего устройства позволяет переходить с одного на другой материал порошка с минимальным временем простоя оборудования.
- Блок контроля качества технологического процесса на основе цикловых ТВ-камер высокого разрешения и инфракрасной камеры для построения температурной карты поля с послойным контролем за процессом.
- Управляющий программно-аппаратный комплекс и специальное программное обеспечение собственной разработки обеспечивают весь цикл подготовки УП и работы оборудования

Комплексы коаксиальной порошковой наплавки — серия МЛ7

Основная сфера применений комплексов МЛ7 — ремонт изделий сложной формы и нанесение упрочняющих покрытий (рис. 3, 4, таблица 2). Первая машина этой серии была разработана компанией «Лазеры и аппаратура» и внедрена на ПАО «ОДК-Сатурн» в Рыбинске еще в 2021 году. Сейчас серия МЛ7 включает в себя две модели, которые обеспечивают об-



Рис. 3. Комплекс коаксиальной порошковой наплавки серии МЛ7

работку изделий сложной формы с большой точностью в диапазоне габаритов до 800 мм высотой.

Ключевые особенности комплексов серии МЛ7:

- Функция восстановления 3D-геометрии.
- Кинематическая система на линейных двигателях обеспечивает точные и динамичные перемещения.
- Автоматизация расчета стратегии наплавки с возможностью корректировки процесса оператором.
- 4-канальный распределитель порошка.
- Питатель порошка и рабочая головка разработки и производства «Лазеры и аппаратура».

Программный комплекс

Отдельно стоит упомянуть программный комплекс, который осуществляет и подготовку проектов на печать SLM, и управление работой всего оборудования (рис. 5–7). Комплекс является разработкой компании «Лазеры и аппаратура» без заимствования каких-либо сторонних модулей, в его основе — ядро собственной разработки, которое развивалось и испытывалось в течение нескольких лет. Одно из требований, которое предъявляется к его работе, — стабильность в многодневном режиме без пауз и технологических перерывов, ведь именно в таком режиме печатаются все изделия. Во время такой долговременной печати возникает множество самых разных эффектов, в том числе накопительных, и, несмотря на все это, система должна продолжать работать, и пользователь в идеале про них даже не будет знать.

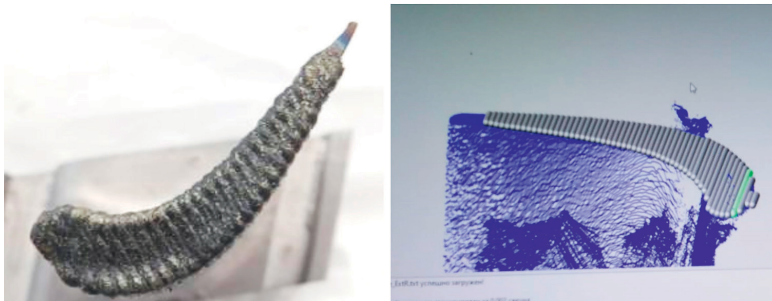


Рис. 4. Порошковая наплавка. Материал детали: ХН58КВТЮМБЛ-ВИ (ЧС70-ВИ, СН25-ВИ). Наплавляемый материал: ПР-КХ28В20Н5Ф. Работы проводились ПАО «ОДК-Сатурн»

Таблица 2. Основные характеристики комплексов серии МЛ7

	МЛ71	МЛ72
Тип лазера	Волоконный CW	
Габариты обрабатываемой детали	Ø400×400 мм	Ø600×800 мм
Функция восстановления 3D-геометрии	На основе сканирования профилометром	
Одновременная интерполяция	5 координат	

Чтобы не знал пользователь — должен знать производитель оборудования, чтобы понимать, как с этим работать. Система управления и программное обеспечение здесь занимает особенное место. Мы неоднократно производили печать продолжительностью в несколько недель и с уверенностью можем сказать, что система работает стабильно.

Программный комплекс, включая программы LASlicer+Builder и ML69, обеспечивает следующий функционал:

- Подготовка к процессу изготовления одновременно нескольких деталей.
- Работа с уже готовыми поддерживающими структурами или создание новых при помощи генератора с широким набором параметров.
- Размещение множества деталей на платформе построения, которые возможно поворачивать, перемещать, масштабировать.
- Создание карты слоев для обеспечения указанной толщины слоя (нарезки).
- Создание сложного набора дублирующих контуров.

Особенности программного модуля ML69:

- Управление и контроль лазерно-оптической, кинематической, газовой системами, системой контроля среды и другими системами оборудования с визуализацией статусов и текущих параметров;
- Управление системой подачи порошка.
- Контроль рабочих параметров комплекса, отображение результатов.
- Выполнение программы изготовления деталей в автоматическом режиме, а также управления комплексом в ручном режиме.
- Визуализация процесса изготовления изделия, ПО контролирует и отображает заданные режимы сплавления изделий в реальном времени.

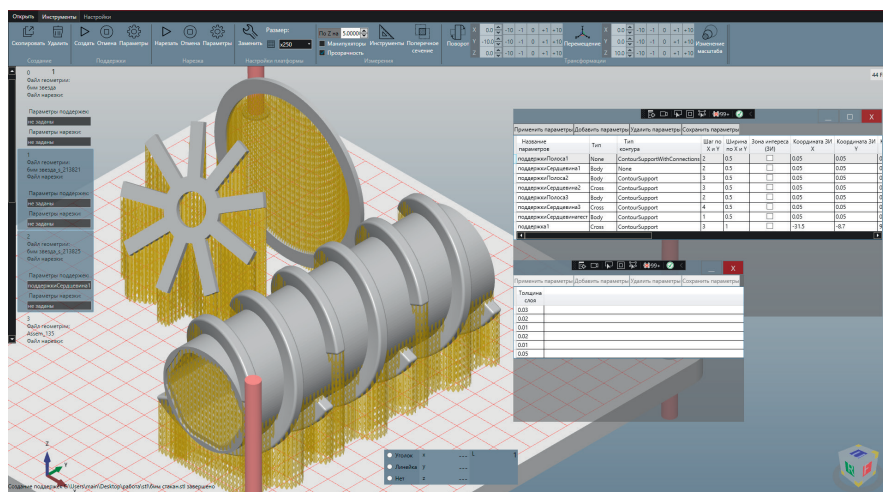


Рис. 5. Использование программного обеспечения LABuilder позволяет инженеру-технологу формировать техническое задание для лазерного технологического оборудования. Реализована возможность создавать поддержки различных типов

- Управление системой удаления порошка в многопорошковых исполнениях установки.
- Видеоконтроль за подачей и разравниванием порошкового слоя с возможностью автоматической повторной подачи и (или) автоматическим разравниванием слоя.

Исследование характеристик и свойств

Особняком стоит вопрос о режимах обработки и получаемых в результате свойствах изделий. Сложность в том, что недостаточно получить хорошие результаты «на кубиках», ведь когда мы начнем растить изделие, влияние окажут и другие параметры: тип поддержек и их количество (влияют на качество поверхности теплоотвод, наличие или отсутствие геометрических отклонений и т.п.), стратегия заполнения (тип штриховки, контур и отступы), конфигурация детали в каждом слое и так далее. Поэтому когда некоторые производители говорят про «библиотеку режимов», воспринимать это нужно очень аккуратно. Правильно было бы говорить про рекомендации, от которых пользователь может отталкиваться.

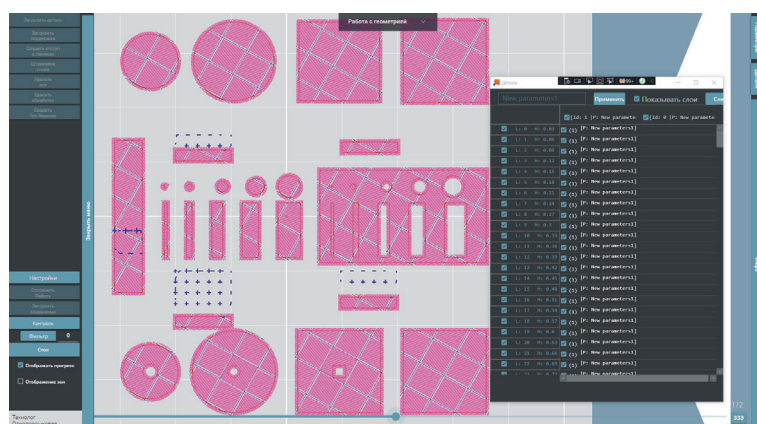
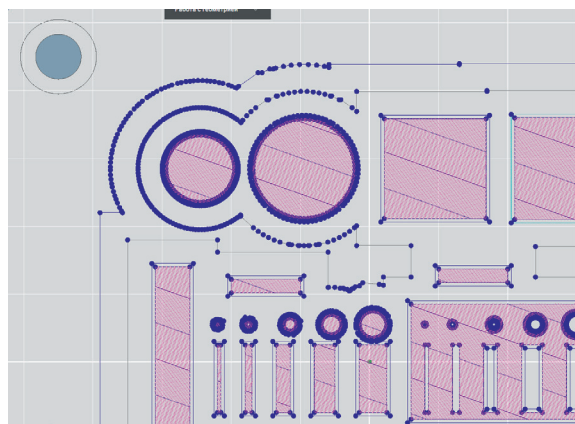


Рис. 6. Комплекс программ обеспечивает поддержку изготовления полиметаллических изделий

Таблица 3. Равномерность распределения пористости в образцах из сплава ВНЛ-14

№ образца	Пористость, %, сечение 1	Пористость, %, сечение 2
1	0,008	0,011
2	0,004	0,012
3	0,006	0,019
4	0,008	0,032

Таблица 4. Равномерность распределения пористости в сплаве ВНЛ-14 при использовании многоканальной системы

№ образца	Пористость, %, сечение 1	Пористость, %, сечение 2
1	0,014	0,009
2	0,010	0,012
3	0,018	0,006
4	0,011	0,010

Но и для того, чтобы найти эти основы, необходимо провести большой объем и практической, и теоретической работы, для чего мы оснастили на своей площадке технологическую лабораторию, где на нашем оборудовании ведутся работы по отработке базовых режимов. Также в компании «Лазеры и аппаратура» есть собственная лаборатория металлографии, где мы можем оперативно оценить внутреннюю структуру выращенных образцов (рис. 8).

Исследование равномерности получения характеристик на разных участках платформы (Пористость, %) представлено в таблице 3. Исследование однородности характеристик при выращивании на многоканальной системе (4 лазерных источника) представлено в таблице 4.

Таким образом, компания «Лазеры и аппаратура» активно инвестирует в исследования и разработки, внедряет инновационные методы проектирования и производства аддитивного оборудования на базе отечественной комплектации, в том числе собственного производства, развивает цифровизацию и автоматизацию процессов.

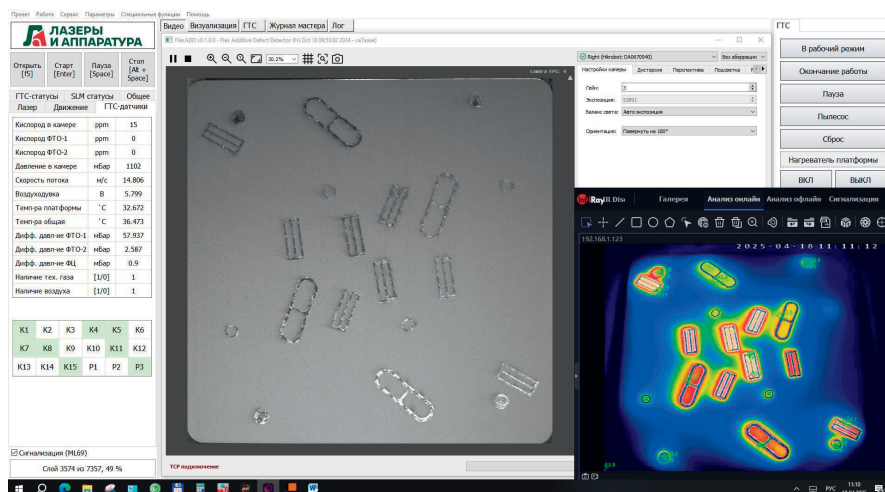


Рис. 7. Процесс печати МЛ63 с построением карты температурного поля, непрерывная печать в течение 19 дней

Совместная работа с ведущими отечественными промышленными предприятиями-заказчиками играет ключевую роль в развитии инновационных разработок в области аддитивных технологий и совместном выводе их на новый уровень эффективности и качества. Такое сотрудничество является необходимым условием успешного развития науки и техники.

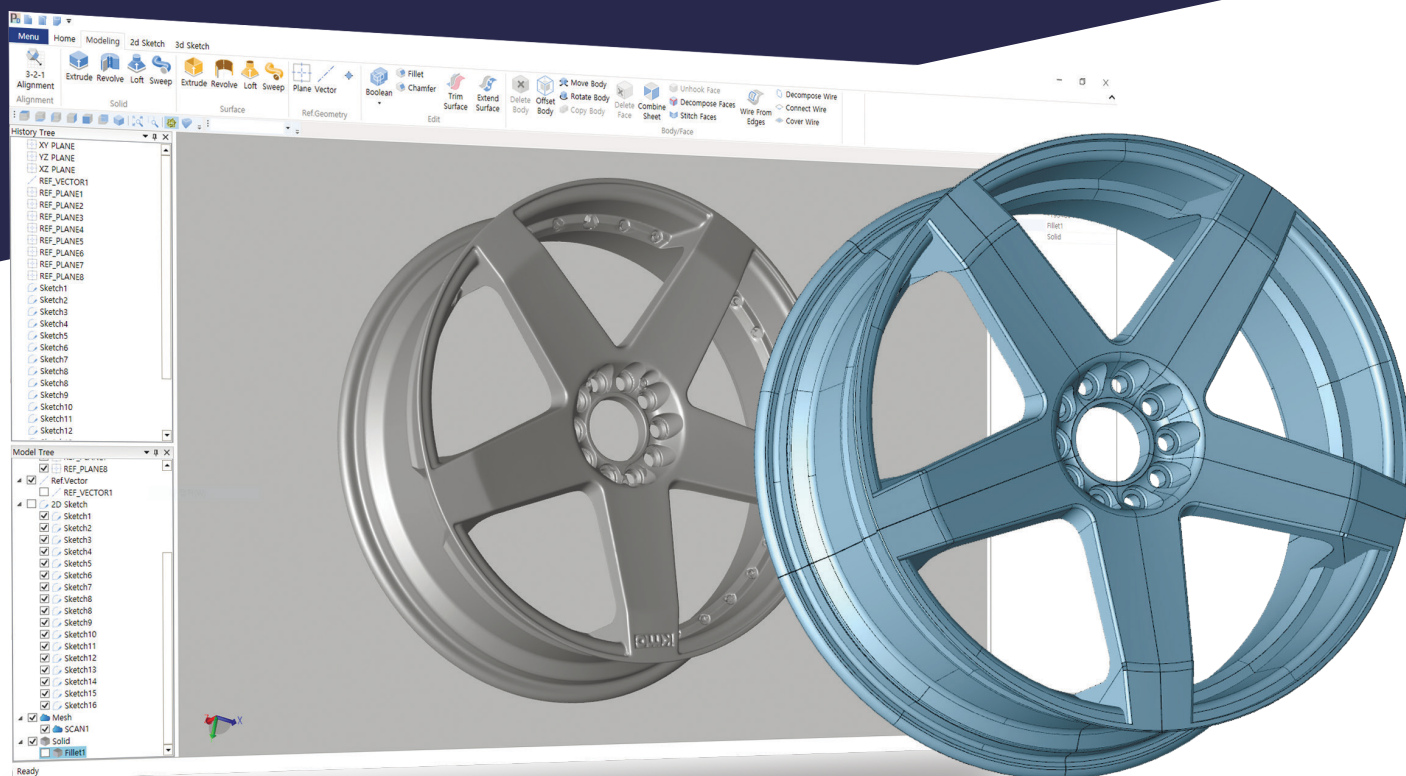
ООО «НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ»
Москва, Зеленоград, проезд 4922, д. 4
+7 499 390 9086,
laser-app.ru, sale@laser-app.ru



Рис. 8. Исследование в лаборатории металлографии: изготовление шлифов для определения пористости материала

PointShape™

Программное обеспечение для обратного проектирования и контроля геометрии



**Бесплатные демолицензии. Официальные поставки.
Полноценное обучение. Работа с дилерами.
Мы открыты к сотрудничеству!**

ООО «Инспект» — официальный дистрибьютор программного обеспечения PointShape 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

www.inspect-tech.ru

Простое и быстрое обратное проектирование с PointShape Design



Даниил Платонов,
специалист инженерно-технического отдела
platonov.d@inspectus.ru

PointShape Design — программное обеспечение, предназначенное для выполнения задач по обратному проектированию. Оно позволяет создавать 3D-модели имеющихся деталей, строить сложные объекты и выполнять анализ геометрии созданной модели.

Для того чтобы наглядно объяснить преимущества и возможности программы PointShape Design, рассмотрим проект, выполненный заказчиком компании «Инспект» в одном из научно-исследовательских институтов.

Главной задачей данного проекта являлось производство партии механизмов прямолинейного движения и последующее их испытание на прочность и износостойкость. Результатом работы должно было стать налаженное штучное производство данных деталей для последующей реализации. Для достижения результата коллеги располагали одним экземпляром реального механизма, то есть техническая документация отсутствовала. Необходимо было разработать 3D-модель данного механизма и составить по этой модели чертежи.

Для решения задачи был приобретен и освоен 3D-сканер. Было выделено специальное помещение, где сотрудники института проводили процесс обучения и занимались 3D-моделированием. Нужно отметить, что раньше обратным проектированием не занимался ни один из участников проекта. Однако это не мешало коллегам разобраться в вопросе создания облака точек необходимого механизма.

После того как облако точек было обработано и готово к экс-

порту, сотрудники института приступили к поиску программы для обратного проектирования. Мы были рады не только помочь коллегам решить данную задачу, но и предоставить программу, которая может быть с легкостью внедрена в учебный процесс и прекрасно подходит для изучения реверс-инжиниринга.

В программе PointShape Design представлено четыре раздела для работы с деталями: основной раздел, 2D-эскизирование, 3D-эскизирование и моделирование. В каждом из них есть набор инструментов для выравнивания и подготовки детали, составления эскизов на плоскости, эскизирования в пространстве и создания CAD-модели. Интересной особенностью является то, что раздел моделирование также содержит в себе набор инструментов для работы с оболочками, сравнения геометрии, перемещения и вращения деталей.

Опишем кратко процесс создания вышеупомянутого механизма в PointShape Design. Для начала необходимо было добавить облако точек в программу

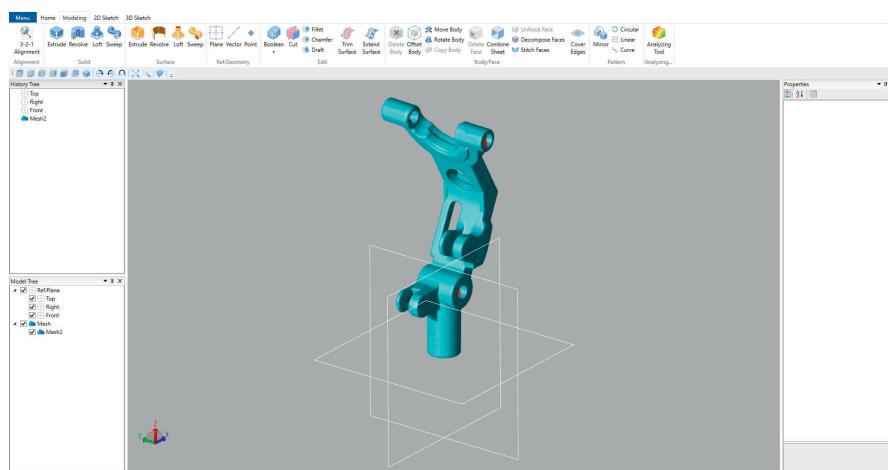


Рис. 1. Выравнивание детали

и выровнять деталь относительно исходной системы координат. Команда «3-2-1 Align» позволила получить деталь, выбранный центр которой сопоставлен с точкой пересечения осей координат XYZ. Для этого необходимо было указать объект, который нужно выровнять, плоскость, в которой находится центр детали, вектор и сам центр (рис. 1).

Далее была выбрана нижняя плоскость детали в качестве стартовой, относительно которой строилась сама модель. Важно заметить, что не стояла задача воссоздать облако точек и повторить его с максимальной точностью. Создавался некий эталон модели механизма в соответствии с правилами 3D-моделирования. Изменение диаметра (рис. 2) может свидетельствовать об износе детали.

После проведения всех необходимых операций в программе PointShape Design была получена твердотельная модель, по которой возможно уже создать чертежи и другую техническую документацию. Всего на создание модели ушло три часа рабочего времени.

После выполненной работы коллеги из научно-исследовательского университета воспользовались еще одной удобной функцией PointShape Design — функцией анализа геометрии. Она работает следующим образом. В зависимости от выставленного диапазона допустимых значений 3D-модель окрашивается в различные цвета — от красного до синего. Красный цвет свидетельствует о выходе детали за границы облака точек на рассматриваемом участке, синий — об ее недостижении. Если модель была создана весьма точно, то цвет материала будет окрашен в зеленый цвет. Данный инструмент позволяет ответить на вопрос, насколько сильно спроектированная деталь отличается от реальной модели (рис. 3). Однако необходимо отметить, что проведение подробного сравнения 3D-модели с облаком точек не всегда является корректным.

Функция анализа геометрии позволяет обратить внимание на несоответствие двух рассматриваемых объектов. PointShape полезна для решения различных технических задач: измерения линейных и угловых размеров, анализа отклонений формы. Эти измерения можно применить для следующих производствен-

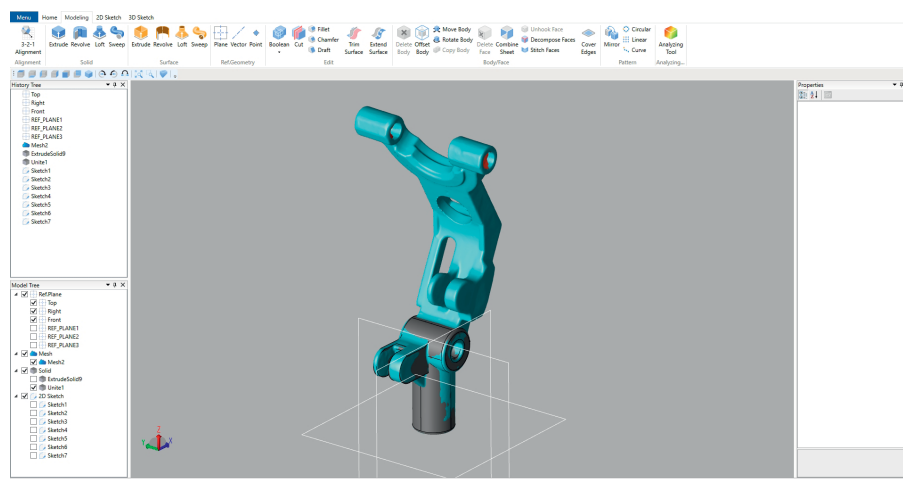


Рис. 2. Процесс создания CAD-модели

ных сфер: контроль оснастки, изделия, сборочных операций, качества продукции поставщиков, анализ деформации и износа, сопрягаемых деталей, виртуальной сборки, контроль прототипа.

Проделанная работа позволила запустить штучное производство механизмов прямолинейного движения. Была произведена пробная партия, которая успешно прошла испытания на прочность и износостойкость. Было показано, что PointShape является полезным инструментом для создания 3D-моделей.

Таким образом, PointShape Design — программа, способная решать широкий спектр задач в области обратного проектирования. С ее помощью можно не только построить 3D-модель или измерить детали, но и наладить процесс их изготовления независимо от сложности конфигурации. Данное программное обеспечение имеет интуитивно понятный функционал и интерфейс, предъявляет минимальные требования к компьютеру для установки и пользования, подходит для того, чтобы получить первые навыки в процессе освоения реверс-инжиниринга.

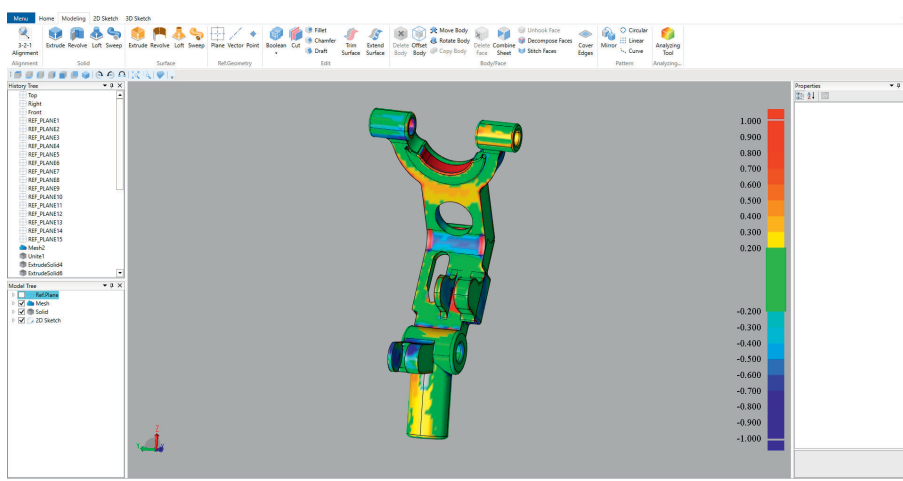


Рис. 3. Сравнение CAD-модели механизма с облаком точек

Технические особенности проекта AMT

Крупным отечественным промышленным компаниям, готовым внедрять АТ в свои стандартные производственные цепочки, важно, чтобы при покупке ими парка аддитивных установок одной модели на них была обеспечена безусловная повторяемость. Проект, реализуемый компанией AM.TECH, направлен на разработку и выпуск отечественного серийного оборудования для аддитивного производства, доступного в нескольких конфигурациях, с акцентом на стабильность и точность процесса порошкового лазерного сплавления. Первым в линейке создаваемых промышленных 3D-принтеров стал компактный однолазерный комплекс AMT-16, официальный коммерческий релиз которого состоялся в конце 2023 года. В данной статье мы рассмотрим технические особенности проекта AMT, конкурентные преимущества новых установок и методы их реализации.



Серия AMT от компании AM.TECH выгодно отличается от оборудования, представленного сегодня на российском рынке другими производителями.

Уже в малогабаритной модели мы внедрили систему верхней подачи порошка через шлюзовой механизм — она станет стандартом для всей линейки. Это важно при печати изделий со сложной геометрией, когда возрастает расход материала на слой. Даже при увеличенном запасе в загрузочном баке (около 50%) материал может внезапно закончиться.

Шлюзовой механизм решает эту проблему: при достижении минимального уровня, рассчитанного примерно на 120–150 слоёв, срабатывают датчики, и оператор оперативно добавляет новую порцию порошка прямо в процессе печати. Камера при этом остаётся герметичной, инертная атмосфера не нарушается, а качество изделия не страдает.

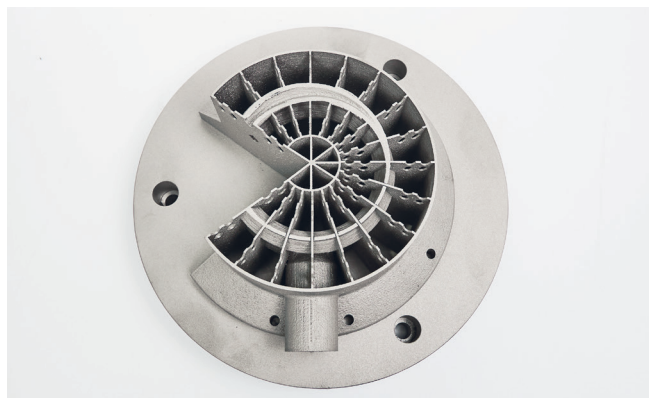
Такое техническое решение принципиально отличает 3D-принтеры AMT от большинства аналогов в сегменте малых машин, включая зарубежные модели, и обеспечивает высокую надёжность при производстве сложной продукции.



Ещё одна важная особенность серии AMT — усиленный контур безопасности установок. Мы подходим к проектированию с позиции практиков и учитываем реальность промышленной эксплуатации: уровень подготовки персонала может варьироваться, а оборудование зачастую используется с реакционно активными материалами — титаном, алюминиевыми сплавами. Поэтому безопасность — один из наших главных приоритетов.

Электрический шкаф собран в полном соответствии с нормами электробезопасности, что подтверждено испытаниями в авторизованной лаборатории «Ростеста». Мы применяем промышленные контроллеры, а не стандартные схемы «плата плюс ПК» на Windows или Linux, что характерно для многих отечественных решений. Такая архитектура уязвима: сбой в операционной системе может привести к некорректной работе системы безопасности.

В наших установках контур безопасности реализован отдельно и независимо от управляющей электроники. Даже в случае сбоя, ошибки оператора или непредвиденного прерывания критической операции система немедленно остановит установку с гарантированной



защитой персонала. Именно такой подход применяют в высокотехнологичных и ответственных производствах, и нам важно соответствовать этим стандартам.

Чем ещё выделяются наши установки? Прежде всего — высокой степенью герметичности рабочей камеры и всех элементов газовой системы. Уровень герметизации, по нашим наблюдениям, превосходит показатели большинства конкурентов. В режиме сплавления, а не простой продувки расход аргона у нас составляет менее одного литра в минуту — и это зафиксировано датчиками расхода защитного газа. Такой результат — весьма весомый даже по мировым стандартам. Без раскрытия всех технологических деталей скажу, что достигнуто это за счёт особой обработки соединений и узлов. Как результат — значительная экономия ресурсов на замену баллонов с газом и сокращение времени простоев.

Следующая важная особенность — мощный лазер. Уже в модели AMT-16, относящейся к малому формату, используется источник на 500 Вт, что принято сегодня считать отраслевым стандартом для оборудования среднего и даже крупного класса. Благодаря этому пользователи могут прорабатывать практически весь спектр режимов и параметров для большинства применяемых в SLM-технологии материалов.

К тому же лазерная и оптическая системы оборудованы водяным охлаждением. Внедрённый нами термоменеджмент сводит к минимуму тепловые искажения, устранен дрейф параметров, и сохраняется стабильность лазерной фокусировки на протяжении всего процесса. Всё это делает работу установки надёжной, прогнозируемой и эффективной.

У современного высокотехнологичного оборудования, будь то обрабатывающий комплекс с ЧПУ или 3D-принтер, очень важный элемент — интерфейс. Немного о нем:

Интерфейс нашей установки продуман до мелочей и максимально ориентирован на пользователя. С самого начала мы стремились избежать визуальной перегрузки: никаких избыточных схем, таблиц или второстепенной информации — только самые важные и нужные параметры, отображающиеся на экране. Такой подход делает работу лёгкой и интуитивно понятной даже для тех, кто впервые сталкивается с оборудованием.

Кстати, на выставках «Металлообработка» и «Росмолд» в 2024 году многие гости нашего стенда отдельно отмечали интерфейс AMT-16 как заметно более удобный и «чистый» по сравнению с большинством других аналогов. Это подтверждает, что мы движемся в правильном направлении: современное оборудование должно быть не только функциональным, но и комфортным в управлении.

Уже в базовой версии наши установки оснащены системой контроля качества укладки слоя. Оператор может в реальном времени выводить увеличенное изображение на экран, отслеживать каждое действие по фотографиям, сопровождаемым интеллектуальной системой анализа. При малейших отклонениях можно сразу вмешаться и скорректировать процесс — просто, быстро и удобно.

Программное обеспечение также включает интуитивное диалоговое окно, которое проводит оператора через



все этапы подготовки. Перед запуском система запрашивает подтверждение каждой ключевой операции по заранее заданному чек-листу. Этот процесс напоминает предполётную проверку пилота и диспетчера, только в нашем случае диспетчером выступает сама установка, исключая возможность пропуска даже одного важного шага. Такой подход обеспечивает надёжность и повторяемость печати с первого слоя.

В нашем программном обеспечении PrintMate уже заложены проверенные режимы печати для наиболее популярных материалов. Это позволяет технологу при запуске работы просто открыть нужный файл и использовать его как наглядное руководство — удобно, быстро и практично. При этом ПО остаётся полностью открытым: опытный пользователь при желании может легко внести свои параметры или адаптировать имеющиеся под конкретные задачи.

Кроме того, в стоимость каждой установки входит трёхдневное обучение персонала, который будет эксплуатировать оборудование. Если же предприятие сразу планирует вывод на производство конкретных изделий, мы готовы подключиться глубже: наши инженеры выезжают на площадку заказчика, совместно прорабатывают технологию, отлаживают процесс и добиваются получения готовых деталей требуемого качества. Такой индивидуальный подход соответствует лучшим практикам индустрии и позволяет клиенту максимально эффективно стартовать с нашей техникой.

Таким образом, серия AMT от компании AM.TECH — это не просто новое слово в отечественном 3D-производстве, а продуманный до мелочей ответ на ключевые запросы промышленности: надёжность, повторяемость, безопасность и удобство эксплуатации. Важно, что это решение создано в России, с учетом реальных производственных условий и потребностей рынка. А значит, перед отечественной промышленностью открываются новые возможности для широкого, эффективного и безопасного внедрения аддитивных технологий — на уровне лучших мировых стандартов. ■

Am.tech
+7 (495) 109 11 91
office@am.tech

Экосистема аддитивного производства. Глайсер и Астрей — путь к успеху



Андрей Рипецкий, к.т.н.
генеральный директор
ООО «Аддитивные
технологии»



Сергей Зеленов, к.т.н.
Технический директор
ООО «Аддитивные
технологии»



Алексей Дренин, к.т.н.
начальник отдела
перспективных разработок
ООО «ЮЗТС»



Дмитрий Колчанов, к.т.н.
ведущий инженер отдела
перспективных разработок
ООО «ЮЗТС»

В наше время на любом промышленном предприятии в России тяжело найти технолога и конструктора, которые не слышали про 3D-печать металлом. Но одновременно с ростом популярности редко можно увидеть системный подход к аддитивным технологиям в рамках существующих жизненных циклов производства высокотехнологичной продукции.

Компании ООО «Аддитивные технологии» и ООО «ЮЗТС» (Южный завод тяжелого станкостроения) ведут совместную работу по созданию программно-аппаратных комплексов АСТРЕЙ, которые позволяют

конечным пользователям реализовать ту экосистему аддитивного производства (АП), которая им необходима.

Можно и нужно сразу разделять задачи производства изделий, имеющие требования по стабильности свойств и те, к которым такие требования не предъявляются. Поскольку в 3D-печати металлами, как в анекдоте про начинающего программиста, который считает, что в одном мегабайте 1000 килобайт, а приобретая опыт и профессиональную деформацию — что в одном килограмме 1024 грамма, поэтому важно входить в эту область, опи-



Рис. 1. Пример организации экосистемы аддитивного производства

раясь на адекватные и надежные инструменты. Какие же сегодня основные инструменты в промышленном аддитивном производстве? Это оборудование и материалы, программное обеспечение и образование/компетенции людей.

Важно отметить, что многие зарубежные и популярные комплексные решения от известных производителей — это, в первую очередь, опыт, полученный на протяжении десятилетий упорного труда сотен сотрудников, решение задач от крупных промышленных предприятий с их непосредственным участием и определенные недостатки, которых не лишены эти решения. Часто мы не можем увидеть эти недостатки в дорогих зарубежных продуктах ввиду отсутствия отечественных альтернатив и из-за отсутствия соответствующего опыта и глубокого понимания процессов.

Одновременно с этим, возвращаясь к вопросу о требованиях к изделиям, которые планируется производить по технологии селективного лазерного плавления (СЛП), нужно принять во внимание, что ее текущий уровень требует отработки и верификации технологических параметров на программно-аппаратном уровне с учётом свойств выбранного материала. Эта особенность предполагает концентрацию внимания на всем, что влияет на стабильность, скорость и стоимость АП: методики отработки параметров 3D-печати, соответствующие технологические режимы, особенности общей архитектуры программно-аппаратных комплексов.

Очень важно понимать стоимость и время внедрения выбранной технологии в конкретные производственные задачи — она может отличаться на порядки. Визуализация возможной экосистемы аддитивного производства показана на рис. 1.

Особую роль в АП занимают процессы технологической подготовки производства. Эта та часть уровня «игры», где приходится решать, а для чего, собственно,

пользователь собирается использовать «волшебную таблетку»: для печати изначально спроектированного под АП изделия, адаптированного под АП или изделия, проектируя которое вообще никто про АП не думал. В интернете и мировой практике можно увидеть много различных примеров, с изделиями, которые расположены из нижнего угла камеры построения в противоположный верхний, с соответствующим количеством поддерживающих структур. Безусловно, можно применять СЛП 3D-печать и в таких вариациях, но, желательно с изначальным полным пониманием происходящего. Ниже, на рис. 2 можно увидеть один из вариантов схемы-алгоритма технологической подготовки.

Очень важное место в процессе технологической подготовки занимает программный комплекс, в котором она реализуется. Необходимо отметить, что в мировой практике лидеры рынка АП, как производители оборудования, так и конечные пользователи, уже находятся «в плену» существующих решений. Используемые комплексы, безусловно, обладают серьезным функционалом-инструментарием для решения технологических задач, отработанным на разных аппаратных платформах. Но с чем сталкиваются пользователи таких зарубежных программ? Первое и самое важное — это отсутствие или сложность в технической поддержке, адаптации и доработке этих комплексов под задачи конечного пользователя. Многие из ранее поставляемых решений сейчас недоступны в России. Некоторые комплексы реализованы в виде закрытой архитектуры и не позволяют менять параметры процесса и проводить тонкую настройку. С одной стороны, не всем она нужна, но с другой стороны, сегодня такая тонкая настройка — это серьезный инструмент получения оптимальных или близких к ним параметров АП с учётом возможных сложностей с поставкой конкретного материала и других форс-мажорных обстоятельств.

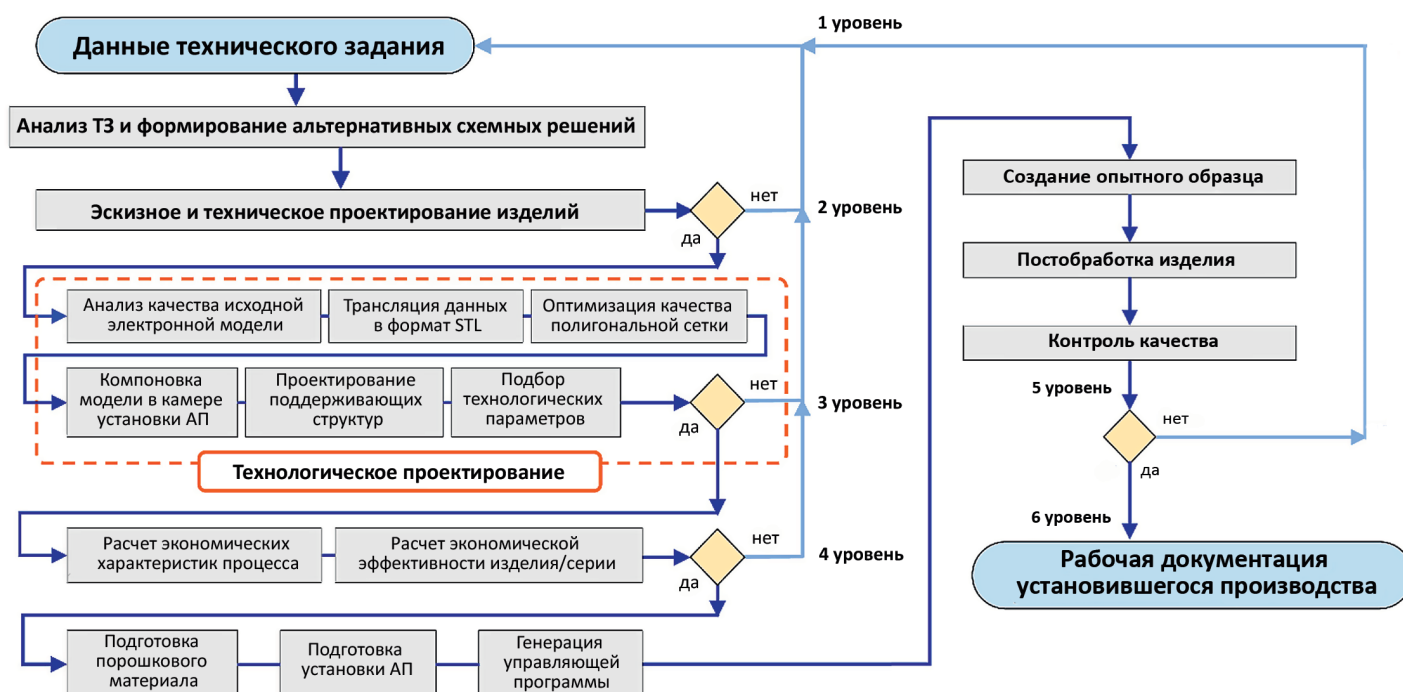


Рис. 2. Схема-алгоритм технологической подготовки процесса СЛП

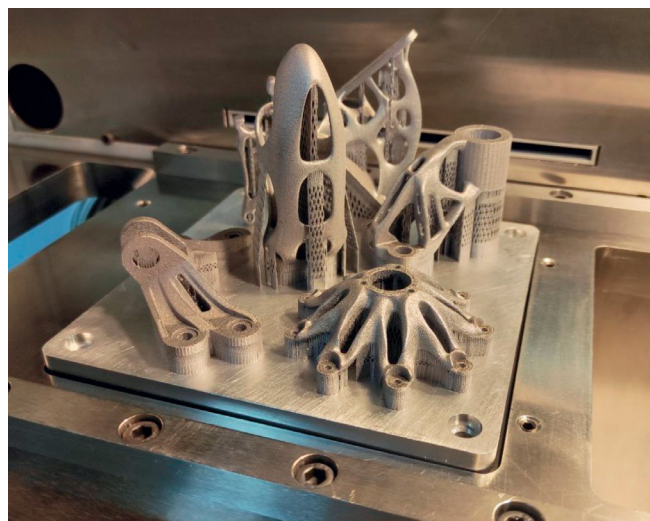
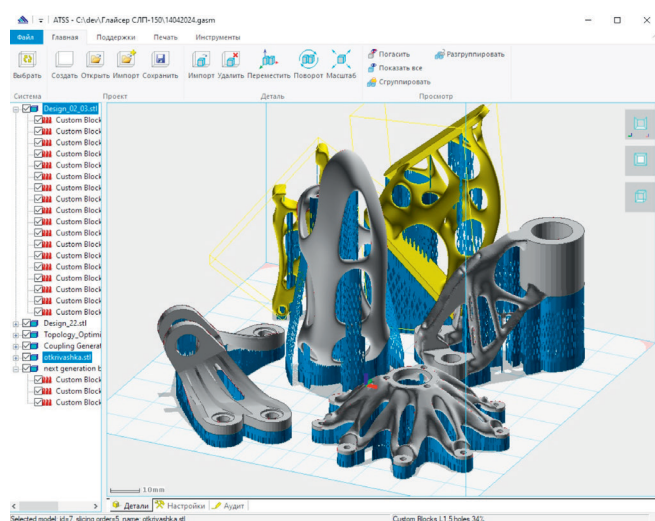


Рис. 3. Сцена печати. Слева виртуальная компоновка в среде технологической подготовки Глайсер. Справа напечатанные изделия на установке АСТРЕЙ

Даже в самых дорогих зарубежных решениях успех их использования — это компетенции и опыт людей — технологов и операторов, которые с этими решениями работают. На актуальном уровне развития пока все важные решения принимает человек, и он же контролирует процесс производства. А с учётом того, что заполненная даже на 50% камера современного принтера — это не одни сутки его работы, то стоимость ошибки бывает достаточно высока. Как можно с учётом всего вышеперечисленного найти баланс для реальных производственных задач? Одно из возможных решений — это уменьшение количества операций, как связанных с аппаратной частью, так и действий необходимых оператору принтера для подготовки сцены печати (рис. 3).

Нашей команде удалось значительно сократить время на компоновку сцены и проектирование поддерживающих структур (показаны голубым цветом на рис. 3), наличие которых пока является необходимой оснасткой для производства изделий с минимальными отклоне-

ниями геометрической формы. Постоянно ведется работа над инструментами оптимизации геометрии поддерживающих структур и связанных с ними технологических параметров, так как это в значительной степени влияет на машинное время, расход материала/инертного газа и время постобработки изделий.

Но одним из важнейших достижений является единая информационная среда Глайсер, которая позволяет не только полностью подготавливать задание на печать, но и управлять самой установкой в процессе синтеза. Схема единой информационной среды показана на рис. 4.

Почему же так важна единая среда для подготовки, управления и контроля печати? Команда наших двух компаний обладает большим опытом использования широкой номенклатуры промышленного оборудования АП. Этот опыт показал, что решение сложных технологических и производственных задач с большим количеством промежуточных этапов, необходимостью трансляции (передачи) данных в разные форматы очень часто приводит

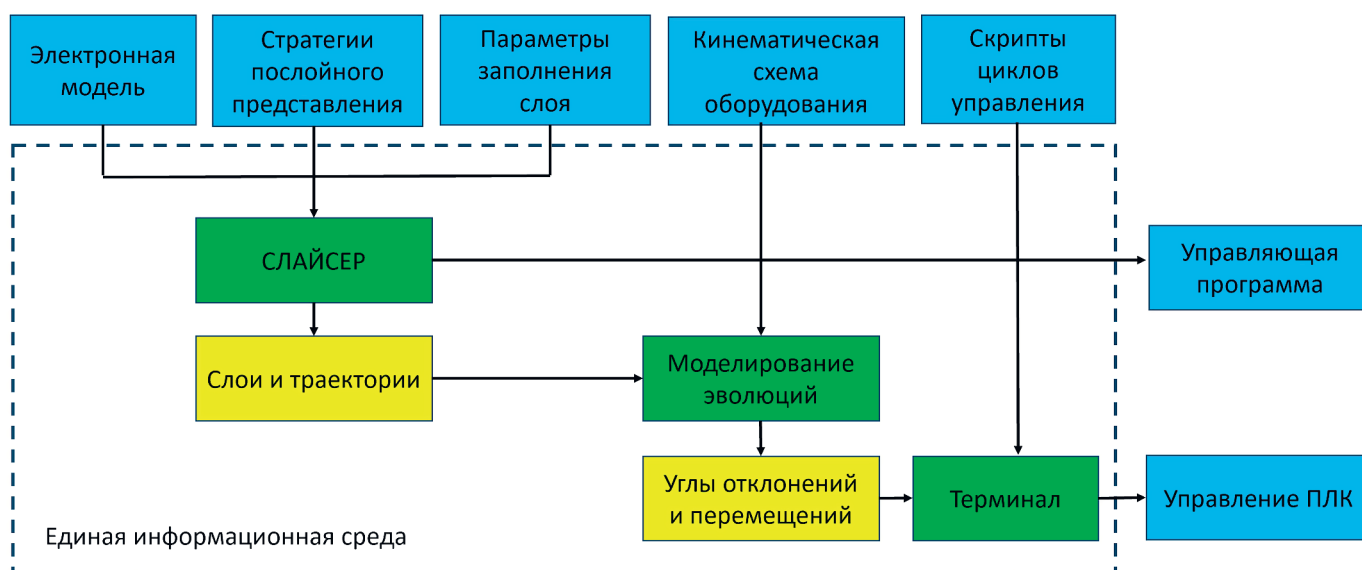


Рис. 4. Единая информационная среда экосистемы АП



ООО «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

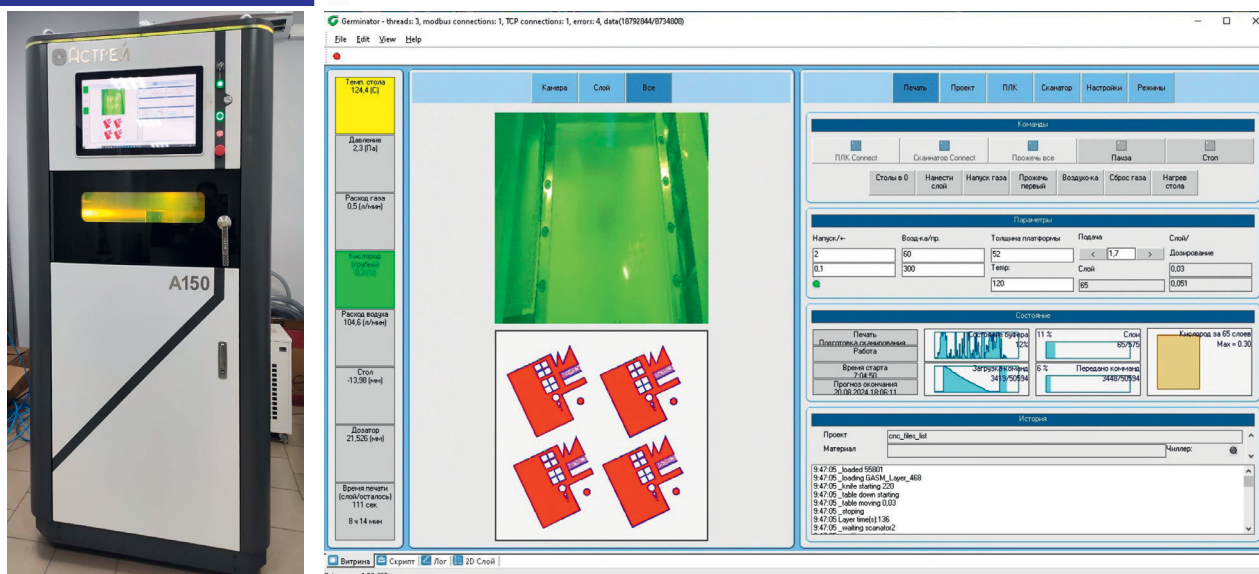


Рис. 5. Технологическая подготовка и управление печатью в продуктах линейки Глайсер (www.atssgroup.com) на 3D-принтерах Астрей (www.astreyslm.ru)

к возникновению ошибок и браку, а иногда и вообще не позволяет достигнуть цели.

Самый основной элемент экосистемы АП — аппаратная часть. Установки Астрей (рис. 5) — это промышленные 3D-принтеры, полностью разработанные и выпускаемые в России на предприятии ООО «ЮЗТС». В основе оборудования лежат многолетние научно-технические разработки выпускников ведущих технических вузов страны, 90% комплектующих производится на территории Российской Федерации. Сегодня линейка установок представлена двумя моделями: Астрей А150 и Астрей А305, которые можно использовать отдельно и в единой экосистеме. Также компания «ЮЗТС» занимается разработкой и производством необходимого инфраструктурного оборудования: установок рассева для порошков и специальных пылесосов. Конструктивные особенности

установок позволяют обеспечить стабильность и экономичность процессов синтеза.

С учётом колоссального опыта компании в области станкостроения и широкой номенклатуры выпускаемого металлообрабатывающего оборудования (<https://www.uzts-sedin.com>) ООО «ЮЗТС» может комплексно решать задачи создания экосистемы аддитивного производства. Так как любая установка АП — это инструмент создания заготовки, требующей постобработки и нередко на многоосевых ЧПУ станках.

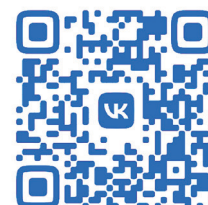
Работа над программно-аппаратными комплексами интенсифицируется. В активной фазе находятся задачи по совершенствованию много лазерных установок и масштабированию применения систем технического зрения и искусственного интеллекта для автоматизации и контроля систем принтера и процессов синтеза.

Сегодня компании, обладающие опытом использования промышленной СЛП 3D-печати, не рассматривают эту технологию как универсальную и позволяющую решить любые задачи. С помощью АП можно синтезировать изделия, которые сложно, дорого или невозможно изготовить с помощью традиционного производства. К ним относятся сверхсложные формы и легкие конструкции. В некоторых случаях с помощью АП можно получить уникальные микроструктурные характеристики, механические свойства и сочетания материалов. Но сейчас, как никогда раньше, создание эффективных ЭКОСИСТЕМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА (рис. 6) зависит от синергии всех, кто видит в этих технологиях потенциал и новые возможности.



Рис. 6. Экосистема аддитивного производства как элемент формирования рынка АП

Ссылка на страницу
ООО «АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»
в сети ВКонтакте:



От идеи до готового изделия: как унифицированная экосистема меняет подход к аддитивному производству

Современные аддитивные технологии требуют комплексных решений, охватывающих весь производственный цикл — от проектирования до постобработки. Китайский разработчик VoxelDance уже зарекомендовал себя на российском рынке как достойная **альтернатива ушедшим программным продуктам для 3D-печати**. Платформа продолжает развиваться, предлагая современные инструменты для производств, использующих аддитивные технологии. В 2025 году завершена разработка модульной экосистемы VoxelDance Additive, объединяющей все этапы подготовки к 3D-печати в едином цифровом пространстве. Теперь решение включает в себя не только флагманское ПО VoxelDance Manufacturing для технологической подготовки, но и модуль VoxelDance Engineering — CAE-система для симуляции процесса SLM-печати, а также VoxelDance Design — CAD-система для аддитивного проектирования и генеративного дизайна. Экосистема уже подтвердила свою эффективность на промышленных предприятиях, сокращая издержки и повышая точность производства.

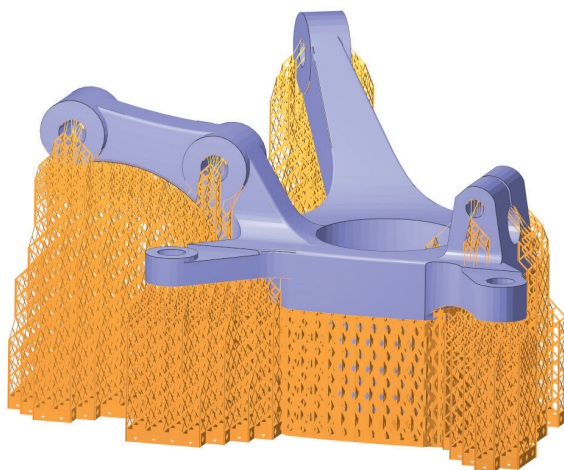
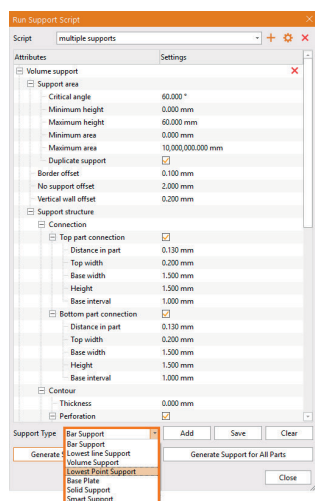
Программное обеспечение VoxelDance Manufacturing нового поколения обеспечивает комплексную технологическую подготовку 3D-печати, сочетая передовые алгоритмы анализа и коррекции геометрии моделей с интеллектуальной системой генерации поддержек. Встроенные ИИ-алгоритмы ускоряют расчет поддерживающих структур, одновременно снижая повреждения поверхности за счет минимизации контакта с моделью.

Для промышленного применения важна производительность — система обрабатывает сложные модели до 2 млн полигонов за 12 секунд, обеспечивая точность позиционирования на уровне 3 мкм.

Для решения задач прогнозирования и предотвращения дефектов предназначен специализированный продукт VoxelDance Engineering. Его математические модели позволяют с высокой точностью имитировать процесс селективного лазерного плавления (SLM), учитывая как характеристики материалов, так и особенности конкретных геометрий. Система анализирует термические деформации, выявляет потенциальные зоны возникновения дефектов и предлагает оптимальные температурные режимы. Это позволяет значительно сократить количество дорогостоящих итераций при разработке новых изделий.

Третьим элементом экосистемы стал VoxelDance Design — решение для аддитивного проектирования и генеративного дизайна. Продукт открывает новые возможности для создания оптимизированных структур, недостижимых при использовании традиционных подходов к проектированию. Встроенные алгоритмы топологической оптимизации сокращают массу и объем деталей при сохранении всех эксплуатационных характеристик. Автоматический анализ сеток, уменьшающий время на исправление ошибок, позволяет минимизировать ручную работу и на ранних этапах предотвратить возникновение брака.

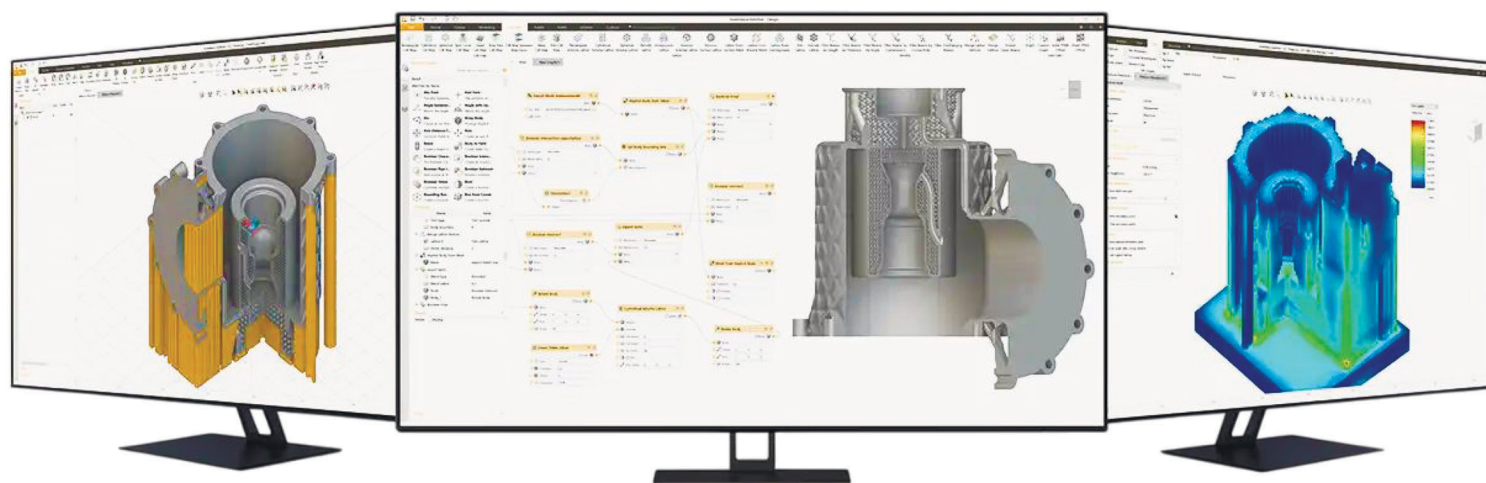
Аддитивные технологии продолжают трансформировать промышленность, и только комплексные программные решения позволяют раскрыть их полный потенциал. Экосистема VoxelDance Additive — это еще один шаг к автоматизированному и экономически эффективному производству будущего. В условиях перехода промышленности к цифровым производственным моделям такие решения становятся не просто удобным инструментом, а стратегическим активом предприятий, позволяющим сокращать издержки, повышать точность и извлекать максимум из аддитивных технологий.





VoxelDance Additive

экосистема решений для всех этапов 3D-печати



подготовка к 3D-печати

генеративный дизайн

симуляция процесса

получить тестовую лицензию



Возрождение легенды

Музейный комплекс гражданской и военной техники, расположенный в городе Верхняя Пышма, пополнил свою коллекцию уникальным экспонатом — единственным сохранившимся в России летным экземпляром космического корабля «Буран».

В рамках программы «Энергия — Буран» успели выпустить только три летных корабля такого типа. «Бураном» назывался первый из них (рис. 1), второй был «Бурей», а третий — герой этой истории — изделие 2.01 «Байкал».



Рис. 1. Космический корабль «Буран».
Фото: Александр Моклецов, РИА «Новости»



Рис. 2. Космический корабль «Байкал»
на территории музея

Космический челнок, который сейчас находится в довольно удручающем состоянии (рис. 2), планируется полностью отреставрировать и поместить в выстроенный специально для него новый павильон. Из-за того, что проект «Буран» был секретным, конструкторская документация и чертежи практически полностью отсутствуют. Единственный вариант реконструкции — создать полную цифровую копию челнока. На основе полученных данных будут спроектированы и изготовлены недостающие детали, восстановлена его конструкция, включая оригинальные узлы и агрегаты, приборы, интерьер.

Компания 3DVision приняла участие в первом этапе реконструкции — 3D-сканировании корпуса и крыльев

для создания цифровой модели «Бурана» и поделилась своими впечатлениями со СМИ.

Для сканирования применялись ручные лазерные 3D-сканеры Helix и фирменное ПО RV 3D Studio. Сканировали одновременно двумя сканерами: данные собирали на разных участках, в том числе на разных этажах лесов, а затем полученные сканы совмещали в программе, чтобы убедиться, что вся нужная геометрия собрана.

Перед сканированием на корпус корабля нанесли порядка 5000 6-миллиметровых самоклеящихся меток. Самым крупным по площади объектом сканирования стал задний торец корпуса размерами примерно 6×6 метров. Пришлось работать на трехэтажных лесах.

У корабля отсутствуют носовой обтекатель и крышка отсека переднего шасси. Их необходимо будет изготовить заново. В ходе сканирования был оцифрован люк и кронштейны крепления, чтобы можно было сконструировать эти детали заново. Помимо корпуса были отсканированы снятые с челнока и сложенные рядом крылья (рис. 3). Их размеры не менее впечатляют, чем корпус. При этом крылья — комплексные конструкции со множеством разнообразных элементов и сложной геометрией.

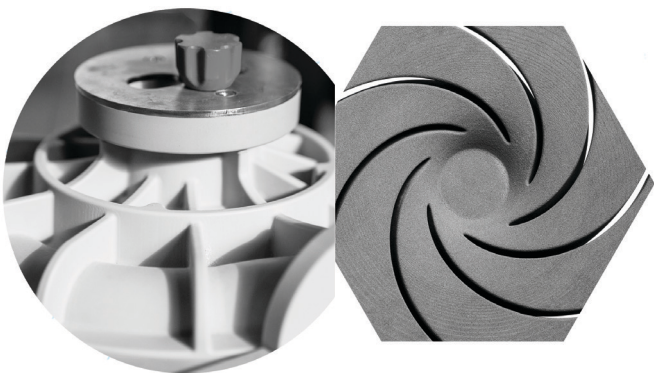
Весь запланированный объем работ был выполнен за два дня. Построенные и обработанные 3D-модели являются отличной базой для проектирования сопрягающихся деталей и узлов.



Рис. 3. 3D-сканирование крыла

В феврале 2025 года компания 3DVision запланировала работы по сканированию полноразмерного испытательного стенда «Бурана», известного как ОК-КС (изделие 0.03). Это практически полная копия настоящего челнока, на которой проводились наземные испытания перед реальным запуском. Макет, расположенный в Сочи на территории образовательного центра «Сириус», хорошо сохранился. Он станет «3D-донором» для своего брата «Байкала».

Использованы фото: 3DVision



Инженерно-производственный центр для литейных предприятий: комплексные решения для получения годного литья

Компания **AVP ZIAS Machinery** активно развивает аддитивные технологии в литейном производстве. Сегодня предприятие является единственным в России производителем аддитивных установок серии ZIAS BPrint для производства литейных форм и стержней из кварцевого литейного песка с пропиткой фурановым связующим.

В 2024 году AVP ZIAS усилила линейку услуг через объединение с компанией «Инжетех», которая проектирует и производит модельно-стержневую оснастку. Группа компаний стала полноценным инженерно-производственным центром для литейных предприятий с огромным спектром возможностей от традиционных до инновационных методов производства.

От НИОКР до серийного производства:

- разработка литейной технологии;
- компьютерное моделирование и анализ литейных процессов;
- проектирование оснастки для литейных производств;
- изготовление модельно-стержневой оснастки;
- печать песчаных литейных форм;
- текстовая заливка;
- контроль отливки.

Подберем наиболее технологичный и экономически выгодный вариант в зависимости от серии и сроков получения годной отливки.

Современная литейная промышленность уже ощутила влияние аддитивных технологий, с каждым годом они все чаще становятся неотъемлемым инструментом повышения эффективности. Мы провели исследования и расчеты, на основе которых сделали ряд выводов:

— Полная 3D-печать оправдана не только для единичного и мелкосерийного производства, но и для серийного, и массового производства, при этом одновременно влияя на критический параметр — скорость отработки технологии на годное литье.

— Комбинированные технологии формообразования обеспечивают баланс между экономичностью, качеством и скоростью выпуска при средних объемах.

— Применение печати целесообразно для наиболее сложных по конфигурации, но небольших стержней относительно веса всей формы (до 10%). Себестоимость продукции будет всегда меньше, чем при традиционной технологии, если печатные стержни занимают до 10% от веса формы. Если печатные стержни занимают от 10 до 30% веса формы, то примерно равную себестоимость, а при полностью напечатанной форме себестоимость будет меньше традиционной технологии на серии до нескольких сотен шт.

— Традиционная модельная оснастка остается выгодной при крупносерийном и массовом производстве в условиях поточных производств с высокой долей механизации и автоматизации.

Объединились традиционные методы изготовления оснастки и инновационные аддитивные технологии с одной целью — предоставлять литейщикам комплексные решения для получения годного литья.



AVP ZIAS
MACHINERY

AVP ZIAS
г. Москва, Пресненская
набережная, 8, стр. 1,
этаж 49, пом. 494м
+7 495 970-8892
www.zias-machinery.ru
bprint@zias-machinery.com

ИНЖЕТЕХ

ООО «ИНЖЕТЕХ»
620137, г. Екатеринбург,
ул. Аппаратная, 13
+7 (343) 380-19-99
www.ingetech.ru
info@ingetech.ru



3D-печать в строительстве: уверенное развитие



Вторая международная конференция по аддитивному строительному производству 3DMIX вновь соберет специалистов отрасли с 3 по 5 июня 2025 г. в Национальном исследовательском Московском государственном строительном университете (НИУ МГСУ) для подведения итогов года и обсуждения текущих и стратегических задач отрасли. О предстоящем событии и некоторых итогах прошедшего года рассказал директор НИИ СМиТ НИУ МГСУ Алексей Адамцевич.

Какие тенденции наблюдаются в сфере аддитивного строительства?

В течение нескольких последних лет строительная 3D-печать остается одним из наиболее динамично развивающихся сегментов мирового строительного рынка, и Россия здесь не является исключением. В конце прошлого года на базе НИИ СМиТ НИУ МГСУ было проведено исследование российского рынка материалов для аддитивного строительного производства (https://journal-sm.ru/images/files/2024/11_018-024new.pdf), которое показало прирост объемов в 2024 г. примерно на 70% г/г при том, что общий российский рынок модифицированных сухих строительных смесей в прошлом году, напротив, сократился примерно на 2%.

Конечно, доля рынка строительной 3D-печати все еще незначительна в общих масштабах отечественной строительной отрасли, и эффект низкой базы оказывает большое влияние на наблюдаемые темпы роста, но все же можно констатировать, что технология развивается в России весьма уверенно.

Какие важнейшие вопросы стоят перед отраслью?

Я бы сказал, что важнейшим вопросом, или глобальной целью отрасли является полноценное раскрытие потенциала применения аддитивных технологий в строительстве, обеспечивающее возможность строить по-другому: быстрее, дешевле и сложнее, чем при

использовании традиционных методов, за счет широкого применения нестандартных архитектурных форм, оптимизированных сечений конструкций, автоматизации строительства и т.д.

Но на пути к достижению этой цели нужно еще решить множество задач попроще:

1. Доказать, что технология способна решать традиционные задачи не хуже классических подходов: показать, что напечатанные здания не уступают по прочности, долговечности и стоимости; обеспечить сопоставимую скорость строительства при серийном производстве; убедить рынок в надежности технологии.

2. Преодолеть «долину смерти» инноваций: обеспечить привлечение инвестиций в условиях высоких ставок и экономической неопределенности; доказать рентабельность технологии, несмотря на высокие стартовые затраты на НИОКР, оборудование и специалистов; найти баланс между инновационностью и коммерческой целесообразностью.

3. Решить краткосрочные задачи: разработать эффективные материалы и оборудование; обучить профильных специалистов и интегрировать технологию в общеобразовательные программы; сформировать эффективную систему нормативно-технического обеспечения для применения технологии.

В результате: сначала подтверждение базовой эффективности, затем — преодоление рыночных барьеров, а уже потом — масштабная революция на строительном рынке.

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



Москва
НИУ МГСУ
3-5 июня
2025 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:



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

КВИНТЕТ
EVENT АГЕНТСТВО

При поддержке:



Одна из задач прошлогодней конференции — консолидация профессионального сообщества. Есть ли понимание необходимости совместных действий?

Сегодня многие понимают, что строительная 3D-печать — это не просто маленький винтик в пуле технологий строительного производства, а, скорее, катализатор глубокой трансформации отрасли, требующий полного переосмысления производственного цикла — от проектирования и возведения объектов — до их эксплуатации и последующего рециклинга строительных конструкций. В перспективе такая технология способна кардинально изменить парадигму строительства, однако трансформация подобного рода в столь ресурсоемкой и консервативной отрасли, как строительство, — задача, которая не под силу отдельным игрокам или даже отраслевым объединениям. Она требует консолидированных усилий всего профессионального сообщества, и сегодня мы наблюдаем, как этот процесс набирает обороты в России.

Всего год назад мы обсуждали своевременность создания первой в России Ассоциации профессионалов аддитивного строительства (АПАС), объединяющей различных специалистов в этой области, а сегодня профильных ассоциаций на рынке строительной 3D-печати уже две, так как совсем недавно была создана Ассоциация производителей строительных принтеров (АПСП), активно включившаяся в работу по консолидации российских разработчиков и производителей оборудования для 3D-печати в строительстве.

Помимо профильных компаний строительного рынка интерес к аддитивному строительному производству все активнее проявляют крупные игроки из смежных отраслей. Например, компания «Сибур», один из лидеров газохимической промышленности, работает над формированием широкой линейки строительных материалов, адаптированных для аддитивных технологий. Эти разработки касаются не только самих процессов печати, но и последующей отделки зданий, что критически важно для комплексного внедрения технологии. Другой яркий пример — компания «Татнефть», одна из крупнейших нефтяных компаний России, которая все активнее выступает заказчиком наиболее знаковых проектов, реализуемых с применением 3D-печати в России.

Говоря о планах совместной деятельности, важно отметить, что НИУ МГСУ выделяет создание продуктовых решений для массового внедрения аддитивного строительства в число приоритетных задач собственного развития в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030». Внедрение таких решений способствует инфраструктурному развитию и соответствует целям национальных проектов России, поэтому сегодня университет занят разработкой комплексной дорожной карты до 2036 года, предусматривающей в том числе формирование профильного консорциума для решения конкретных научно-практических и инженерных задач на основе объединения компетен-

ций разных участников рынка — от производителей оборудования и производителей строительных смесей до научных организаций, проектных бюро и производителей работ.

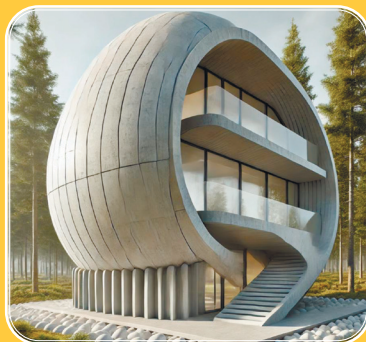
НИУ МГСУ участвует в организации конференции. Можете проанонсировать главные темы предстоящего мероприятия?

Мы рассчитываем, что в этом году, как и ранее, конференция 3DMIX станет главной площадкой в России для обсуждения актуальных вопросов развития рынка аддитивного строительного производства.

Главные темы предстоящего мероприятия:

- **Тенденции рынка** — анализ мирового и российского опыта, перспективы внедрения технологии.
- **Оборудование** — новейшие разработки строительных 3D-принтеров и их возможности.
- **Цеховое производство** — аддитивные методы заводского изготовления строительных изделий и конструкций.
- **3D-печать на стройплощадке** — особенности и примеры реализации проектов в полевых условиях.
- **Нормативное обеспечение** — болевые точки нормативно-технического обеспечения и актуальные направления развития системы стандартизации.
- **Материалы** — инновационные строительные смеси и их адаптация под 3D-печать.
- **Проектирование и расчет** — новые подходы к созданию архитектурных и конструктивных решений.
- **Перспективные исследования** — научные разработки в области аддитивного строительного производства и их практическое применение.

Как и годом ранее, большое внимание будет уделено посещению строящихся и уже построенных объектов во круг Москвы, чтобы наглядно оценить потенциал технологии и качество напечатанной инфраструктуры. Помимо выездных экскурсий, в этом году НИУ МГСУ совместно с Ассоциацией производителей строительных принтеров планирует провести выставку строительной 3D-печати, в рамках которой прямо на территории кампуса университета различным производителям оборудования для строительной 3D-печати будет предложено продемонстрировать свои возможности в действии, что позволит всем участникам лучше понять технические аспекты и особенности технологии, а также наметить совместные проекты для дальнейшей проработки и реализации.



Строительные 3D-принтеры Smart Build Service



Преимущества технологии:

- Создание уникальных архитектурных форм.
- Снижение человеческого фактора при производстве строительных работ.
- Компенсация дефицита трудовых ресурсов.
- Сокращение сроков строительства.
- Безопасность, экологичность, экономичность.

Области применения:

- Объекты некапитального строительства.
- Объекты гражданского строительства.
- Малые архитектурные формы.
- Заградительные, укрепительные, оборонительные сооружения.

Варианты сотрудничества:

- Производство, поставка роботизированных строительных комплексов, обучение персонала.
- Организация и производство смесей на территории заказчика.
- Организация учебного центра строительных 3D-технологий.



САЙТ



WHATSAPP

Российский рынок 3D-печати: значимые изменения

Стремительное развитие строительной 3D-печати отмечается и в России, и во всем мире. В соответствии с информацией The Business Research Company, мировой рынок вырастет с \$0,33 млрд в 2024 году до \$0,99 млрд в 2025 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 201,5%. Такие преимущества технологии, как автоматизация процесса, широкие возможности для создания сложных геометрических форм и реализации самых смелых архитектурных замыслов, персонализация проектов, экономия времени, трудозатрат, материалов и другие, демонстрируют ее перспективность и высокий потенциал к развитию. На наших глазах происходит переход от уникальных сооружений к серийной застройке, предлагаются прорывные решения на основе новых материалов, которые меняют отрасль, делая ее более эффективной и устойчивой. Редакция журнала «Аддитивные технологии» с интересом наблюдает эту чудесную трансформацию и старается отражать наиболее яркие события и тенденции. В данном опросе представлены ответы ведущих экспертов, которые отметили значимые изменения на российском рынке 3D-печати за прошедший год и их влияние на индустрию.

Российские компании точно в числе лидеров



Александр Маслов,
генеральный директор
ООО «АМТ»

Первые компании, занимающиеся производством строительных 3D-принтеров, стартовали в 2014 году. Это две российских компании: AMT, Apis Cor — китайская компания WinSun. К концу 2024 года только в России таких производств появилось более десятка. Как и в любой отрасли, активно формируется пул производителей оборудования этого типа, принтеры отличаются по назначению, компоновке, используемым материалам для печати, способам подачи и экструдирования смеси. Есть предприятия, вышедшие на мелкосерийное и серийное производство.

Чего ждет сейчас потребитель от машиностроителей? Очевидно: разнообразия конструктива, модельного ряда, включая ассортимент рабочего поля производимых принтеров, широкой палитры материалов для печати, качества выпускаемой продукции. В приоритете компании, получившие сертификаты соответствия на свою продукцию в ЕАЭС, ЕС, Индии, США, ОАЭ и других странах. Соответствие оборудования техническим регламентам тех стран, куда оно поставляется, обоснование промышленной безопасности — важная составляющая цивилизованного рынка. Кто-то прошел этот путь, кто-то — в процессе процедуры сертификации.

По моему мнению, российские компании совершенно точно находятся в числе лидеров среди мировых производителей строительных 3D-принтеров. Несмотря на сложности экспорта, по результатам 2024 года видно, что оборудование машиностроителей России пользуется заслуженным спросом не только у нас в стране, но и за рубежом.

Рынок строительной 3D-печати стал взрослее



Максим Безруков,
генеральный директор
компании
«Аркон Констракшн»

В последний год рынок 3D-печати стал сильно взрослее. Появилась тенденция строить не отдельные здания или МАФ, а полноценные проекты из комплекса строений или масштабные проекты по благоустройству. Еще одной общей тенденцией стал рост количества внедрений технологии и коммерческих проектов. Сейчас технология начала привлекать внимание стратегических заказчиков из числа круп-

нейших девелоперов, которые рассматривают возможности ее широкого применения уже в ближайшие годы.

Одним из ключевых драйверов роста отрасли станет развитие ее инфраструктуры, а именно разработка смесительных станций для материала, рост количества производителей смеси и номенклатуры материалов. На данный момент качественные смеси и оптимизация их производства для снижения стоимости являются важным «бутылочным горлышком», которое нужно преодолеть отрасли для масштабирования и кратного роста.

Последней тенденцией, которую хотелось бы выделить стало формирование первой когорты компаний — пользователей строительных 3D-принтеров, занимающихся оказанием услуг строительной 3D-печати, а также реализацией проектов в качестве подрядчика (в том числе собственных проектов). Это новое и важнейшее звено игроков рынка, которое позволяет ускорить процесс внедрения на уровне «последней мили», практически отрабатывающее оптимизацию производственных процессов и помогающее активной разработке потребительских продуктов для отрасли (домов, изделий, элементов инфраструктуры).

Изменения, которые повлияют на будущее отрасли



Алексей Гагулаев,
генеральный директор
Ассоциации
профессионалов
аддитивного
строительства

На российском рынке строительной 3D-печати за прошедший год произошло несколько значительных изменений, которые могут существенно повлиять на будущее этой отрасли.

На рынке появились более совершенные 3D-принтеры, способные печатать домокомплекты больших размеров с ярко выраженной архитектурной эстетикой. Эти устройства не только сокращают время на строительство, но и позволяют значительно снизить затраты на возведение

объектов. Технология 3D-печати открывает новые горизонты для архитекторов и дизайнеров, предоставляя возможность создавать сложные и уникальные формы, которые ранее было трудно или невозможно реализовать с помощью традиционных методов строительства. Например, такие компании, как «3Д-Строй», «Три оси», Wonderdom, успешно применяют 3D-печать для создания жилых домов, что подтверждает их способность к реализации сложных архитектурных решений. Кроме того, 3D-печать обеспечивает контроль качества на каждом этапе производственного процесса, что может привести к улучшению общей надежности и долговечности построенных объектов.

Наблюдается активное внедрение новых строительных смесей. Растет популярность строительных смесей с улучшенными характеристиками прочности и устойчивости к внешним воздействиям. Например, использование специальных добавок для снижения усадки бетона и повышения его прочности и долговечности становится все более распространенным. Облегченные бетоны

плотностью 1000 кг/м³ становятся более доступными для использования в строительстве. Компании-партнеры ведут работы по применению вторичного сырья (золы, шлаки, сера и т.д.) в составах для печати. В сочетании с технологиями 3D-печати такие новые материалы способствуют более рациональному использованию ресурсов, снижению отходов и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

За последний год было реализовано несколько крупных проектов, связанных с 3D-печатью зданий, включая жилые комплексы и социальные объекты. Некоторые из этих инициатив направлены на решение жилищных проблем в таких регионах, как Курская, Орловская и Белгородская области. Технологии 3D-печати позволяют значительно ускорить процесс возведения зданий, что особенно актуально в условиях дефицита жилья и необходимости быстрого реагирования на потребности населения. Использование 3D-печати снижает затраты на материалы и рабочую силу, делая строительство более доступным и экономически выгодным. Это привлекает внимание как государственных, так и частных заказчиков, которые видят в технологиях 3D-печати эффективный способ быстрого и экономичного строительства.

Важным аспектом для развития строительной 3D-печати является работа НИИ МГСУ над созданием новых стандартов и нормативов. Разработка таких документов ускорит легитимацию технологии в строительной отрасли и повысит доверие к ней со стороны регуляторов и потребителей.

Таким образом, изменения на российском рынке строительной 3D-печати создают новые возможности для всей строительной индустрии, способствуя ее модернизации и повышению эффективности. Эти тенденции открывают перспективы для дальнейшего роста и развития, что подтверждается успешными примерами реализации проектов и внедрением новых технологий.

**СУХАЯ СМЕСЬ
для СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ**

СТРОИТЕЛЬНАЯ СМЕСЬ 3D print "МОНОЛИТ"

- На цементном вяжущем.
- Прочность на сжатие 30 МПа.
- Подвижность ПК2.
- Время начала гидратации регулируемое от 5 минут и выше.

Серийное производство с 2021 года.

www.ccc-monolit.ru
veft@yandex.ru

Рынок движется от экспериментов к системной трансформации



Дмитрий Цымбал,
операционный директор
и сооснователь проекта
M-Shape

За последний год строительная 3D-печать в России сделала важный шаг вперед — от единичных демонстрационных проектов к попыткам интеграции в реальные строительные процессы. Мы видим растущее внимание к вопросам себестоимости, скорости возведения, автоматизации строительных процессов и адаптации технологий к суровым климатическим условиям. Эти изменения подталкивают рынок к поиску нестандартных, технологичных решений.

Как бывший участник команды Mighty Buildings я вижу, что на российском рынке есть уникальное окно возможностей: совмещать зарубежный опыт с локальной инженерной изобретательностью. Одним из перспективных направлений становится сочетание строительной печати с мобильными производственными решениями.

Так, в «М-Шейп» мы развиваем технологию 3D-печати металлических изделий из MIM-гранул и создали первый в России металлонаполненный филамент, совместимый

с большинством FDM-принтеров. Эти разработки позволяют производить элементы крепежа, закладные детали, нестандартные соединения прямо на месте строительства — без необходимости централизованной логистики. Такая синергия между строительной печатью и локальным производством комплектующих может существенно ускорить внедрение цифрового строительства в России.

На наш взгляд, рынок движется от экспериментов к системной трансформации. И сейчас как никогда важно создавать экосистему, где строительная 3D-печать будет дополняться новыми материалами, цифровыми производственными решениями и инженерными компетенциями.

В перспективе мы ожидаем дальнейшую интеграцию строительной 3D-печати с технологиями цифрового проектирования, автоматизации и аддитивного производства металлических компонентов. Появляются проекты по разработке стандартизированных строительных решений на основе 3D-печати, что будет способствовать не только технологическому, но и нормативному оформлению отрасли. Важно, чтобы вместе с развитием технологий росли компетенции в области инженерного проектирования, материаловедения и управления процессами на стройплощадке. Именно комплексный подход позволит строительной 3D-печати выйти на новый уровень — от единичных объектов к массовому применению в жилищном и инфраструктурном строительстве.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ МЕТАЛЛОМ ПО ТЕХНОЛОГИИ МЕМ



Партнеры **M-shape**



ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
ИННОВАЦИЯМ



3D-печать: формируется полноценная экосистема



Роман Павленко,
генеральный директор
3D4Art

Прошедший год ознаменовался существенным ростом активности в сфере строительной 3D-печати. Наблюдается увеличение количества объектов, созданных с помощью 3D-принтеров, причем не единичных проектов, а серийного производства. На улицах городов все чаще появляются малые архитектурные формы, изготовленные методом 3D-печати бетоном.

Рынок строительных смесей для 3D-печати демонстрирует заметную конкуренцию — если раньше были доступны единицы марок, то сейчас их количество достигло десяти. Важным шагом стало создание двух профессиональных ассоциаций в области строительной 3D-печати.

Произошло знаковое событие — первое здание, проект которого прошел государственную экспертизу как объект, возводимый методом 3D-печати. Также состоялся первый выпуск сертифицированных операторов строительных 3D-принтеров, получивших свидетельства государственного образца.

Если взять пример нашей компании, то планируется: запуск собственного строительного принтера с ИИ-тех-

нологиями; разработка бизнес-модели продвижения по технологии HaaS (Hardware as a Service — оборудование как услуга); создание специализированного слайсера (программа для подготовки 3D-моделей к печати); выпуск новой линейки строительных смесей; участие в разработке нового ГОСТа по строительной 3D-печати; строительство первого промышленного объекта методом 3D-печати. Особо стоит отметить завершение строительства крупнейшего в мире 3D-печатного здания, которое проходит процедуру приемки в России.

Наблюдаемые тенденции свидетельствуют о переходе российского рынка строительной 3D-печати к новому этапу развития. Растущий спрос на малоэтажное строительство создает благоприятные условия для активного внедрения аддитивных технологий в строительной отрасли. С учетом увеличивающейся потребности в малоэтажном жилье технологии 3D-печати демонстрируют значительный потенциал для масштабирования и могут стать одним из ведущих методов строительства в сегменте.

Формируется полноценная экосистема: от производства материалов до подготовки квалифицированных специалистов. Появление нормативных документов и стандартов создает необходимую правовую базу для дальнейшего развития отрасли. Все эти факторы указывают на то, что строительная 3D-печать в России находится на пороге масштабного внедрения в промышленное производство и массовое строительство.

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ: как технологии преодолевают вызовы стройплощадок

Проблема. Современные строительные 3D-принтеры сталкиваются с рядом ограничений: расхождение виртуальных моделей с реальными координатами, длительная подготовка оборудования, зависимость от ручных операций и высокая вероятность ошибок. Эти факторы увеличивают сроки реализации проектов и снижают точность печати, особенно при работе с крупными или сложными объектами.

Технологические решения. Для устранения этих проблем разработаны новые инженерные подходы:

1. Система мультимодального позиционирования с погрешностью до 2 мм, синхронизирующая цифровые модели с реальными условиями площадки. Это решает проблему расхождения координат даже при внешних воздействиях, таких как ветер или вибрации.
2. Модульная конструкция принтера, позволяющая наращивать рабочую зону по трем осям под конфигурацию строительной площадки. Высота печати достигает 15 метров, а площадь не ограничена — ключевое преимущество для масштабных проектов.
3. Искусственный интеллект для контроля экструзии и качества стен. Алгоритмы анализируют видеопоток в реальном времени, корректируя параметры печати, параметры окружающей среды и свойств материала.
4. Экспертная система сборки, которая минимизирует человеческий фактор. Лазерные дальномеры и датчики наклона автоматически проверяют геометрию конструкции, сокращая время монтажа оборудования до 80%.

Перспективы. Подобные технологии открывают путь к массовому внедрению 3D-печати в строительстве. Автоматизация процессов, точность и адаптивность оборудования позволяют сократить зависимость от ручного труда и расширить границы архитектурного дизайна. Следующий шаг — интеграция подобных систем в стандартные строительные нормативы.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ 3D ПРИНТЕРЫ



3D4Art

3d4art.ru



Для формирования спроса нужны совместные усилия



Оксана Гольцева,
архитектор,
генеральный директор
компании SLOI

SLOI — это молодая компания, недавно вышедшая на рынок 3D-печати бетоном, и нам пока сложно делать обобщения о происходящих в стране изменениях. Тем не менее наши внутренние процессы отражают ситуацию в отрасли как в капле воды.

Мы отличаемся от многих компаний на рынке тем, что не специализируемся на проектировании и производстве 3D-принтеров или строительстве домов. Наша

команда сосредоточена на производстве малых архитектурных форм (МАФ) для городского благоустройства. Прошедший год стал для нас временем вызовов и достижений. Он продемонстрировал важность доверительных партнерств и совместной работы с производителями принтеров, что позволяет адаптировать оборудование под конкретные производственные задачи. Мы видим прогресс в этом направлении и сами способствовали совершенствованию принтеров, на которых работаем.

Наша компания в полной мере ощутила дефицит смесей, специально разработанных для 3D-печати бетоном. При производстве МАФ важны не только традиционные характеристики бетона, такие как прочность и морозостойкость, но и его пластичность, скорость затвердевания, что влияет на качество печати слоев, а также использование современных пигментов. Мы активно сотрудничали с нашими партнерами в этой области и достигли хороших совместных результатов.

Конечно, важна нормативная база, и здесь нам предстоит долгий путь.

Однако самой важной задачей, на наш взгляд, является формирование спроса и доверия к технологиям, ведь рынок еще не сформирован. Например, хотя 3D-печать бетоном позволяет решать задачи городского благоустройства быстрее, снижая отходы и удовлетворяя потребность в индивидуальном дизайне, типовые решения все еще доминируют. Мы стремимся сделать уникальность доступной. Параметрическое моделирование позволяет создавать элементы, соответствующие запросам на индивидуальность даже в типовых застройках, быстро адаптировать дизайн под нужды проекта и легко вносить изменения с учетом пожеланий архитекторов и жителей.

В индустрии по-прежнему не хватает успешных кейсов использования 3D-печати бетоном в городском благоустройстве и строительстве. Но мы рады существующим успехам коллег по отрасли и надеемся, что они будут способствовать формированию рынка. Нам необходима консолидация усилий всех участников отрасли и представителей власти для достижения успеха.

Аддитивные технологии приняты строительным рынком



Мария Суслова,
директор по развитию
компании «Квинтет»

С точки зрения организаторов конференции по аддитивному 3D-строительству 3DMIX мы видим изменение отношения к мероприятию. Когда в прошлом году мы начали заниматься организацией первой конференции 3DMIX, это было объединение усилий загоревшихся идеей людей. Часто приходилось объяснять, что такое аддитивные технологии в строительстве, зачем и кому они нужны.

В этом году многие застройщики заявляют об участии по своей инициативе. Это говорит о многом. Строительные компании с точки зрения нас, организаторов, — самый сложный сегмент целевой аудитории. Зачастую они консервативны, привыкли к своей высокой востребованности среди поставщиков материалов и услуг, на подобные мероприятия смотрят свысока. Так что можно сказать, что аддитивные технологии приняты строительным рынком. 3D-печать стала полноправной технологией, а не экспериментом. Споры вокруг темы по-прежнему много, но если еще год назад они были скорее отвлеченные, то сейчас сместились в конкретные области — применения технологии, материалов, оборудования и т.д.

Еще один интересный момент. Год назад была только Ассоциация профессионалов аддитивного строительства, сейчас создана еще и Ассоциация производителей строительных принтеров. Объединение конкурирующих фирм в рамках одной отрасли промышленности в целях совместного решения различных общих проблем меняет ситуацию на рынке, ведь объединившиеся компании становятся коллегами. Объединившись, проще создать и развить цивилизованный рынок.

Печать бетоном — новая технология, на которую только формируется спрос



Михаил Грушин,
директор по развитию
ООО «РВС 3Д»

Сфера 3D-печати бетоном в 2024 и начале 2025 года находится под давлением макроэкономических факторов, тесно связанных с проблемами строительства из-за высокой ключевой ставки. В отличие от печати пластиком или металлом, печать бетоном — пока еще новая технология, на которую только формируется спрос. В трудных

финансовых условиях крупные игроки с неохотой тратят инвестиционные бюджеты на применение аддитивных технологий в проектах, что ограничивает потенциал роста. Государственные заказчики, которые могли бы поддержать инновационный бизнес, пока тоже предпочитают закупать стандартные элементы для благоустройства.

Если говорить про печать малых архитектурных форм, то рынок МАФов из 3D-бетона технологически упирается в возможности смесей. В 2025 году мы видим, что все больше компаний стали проявлять интересы к производству составов для 3D-печати, поэтому мы ожидаем качественного прорыва в этом направлении в ближайшее время.

В 2025 году потенциал рынка 3D-печати бетоном в стройке мы видим в нише рекреационного девелопмента, в которой начали появляться качественные проекты, опережающие мировой уровень.

В сфере благоустройства продолжим держать фокус на нестандартных решениях, недоступных для других технологий, а также делать знаковые проекты. Среди проектов прошлого года хотелось бы выделить: продажу принтеров для печати зданий и МАФ в экопарк «Ясно Поле», завершение поставок скамеек в парк «Краснодар» (парк Галицкого), экспозицию с 3D-печатными МАФами в Царицыно.

Объединение компетенций открывает новые перспективы развития строительной 3D-печати



Екатерина Паршкова,
эксперт по строительной
3D-печати, ОСНОВАНИЕ

За прошедший год отмечу ключевой момент — введение в эксплуатацию нового завода по производству сухих строительных смесей для аддитивных строительных производств. Теперь объемы производства готовых сухих смесей для аддитивных строительных производств позволяют реализовывать масштабные проекты.

Практикуя строительную 3D-печать с 2019 года, мы хорошо понимаем важность и значимость качества поставок и требования к материалам для аддитивных строительных производств. Качественные материалы снижают производственные расходы и издержки. Цветные готовые сухие смеси для строительной 3D-печати дают новые возможности в сфере дизайна, архитектуры и 3D-печати декорированных фасадных поверхностей, а также различных малых архитектурных форм и уникальных арт-объектов.

Мы объединили нашу компетенцию в области строительной 3D-печати и опыт в сфере производства готовых

сухих смесей, создали и внедрили линейку сухих смесей для аддитивных строительных производств.

Готовые сухие смеси и надежный поставщик имеют существенное значение для строительной 3D-печати. Это дает участникам отрасли возможность уверенно входить в проекты и рассчитывать бюджеты.

В целом качественные материалы для аддитивных строительных производств продвигают и развивают аддитивные строительные технологии и позволяют продемонстрировать возможности 3D-печати бетоном, активнее внедрять новые продукты аддитивных строительных производств.

Отрасль аддитивных строительных технологий развивается, постепенно выстраиваются партнерства, участники консолидируют усилия для разработки технологий, обмена опытом и реализации совместных проектов. Сейчас компании ОСНОВАНИЕ, ООО «ФорУс» и ООО «Смартбилдсервис» объединяют компетенции с целью развития и продвижения аддитивных строительных технологий, разработки новых продуктов и внедрения новых решений. Подобные объединения открывают новые перспективы развития отечественной инновационной технологии строительной 3D-печати, ее внедрения, применения и масштабирования.

Стратегия развития аддитивных технологий в Российской Федерации до 2030 года определяет технологию строительной 3D-печати как одну из ключевых отраслей. Межотраслевой характер стратегии подразумевает включение в контур стратегического планирования также потребителей аддитивных технологий из различных отраслей промышленности. Это раскрывает возможности для внедрения строительной 3D-печати в пилотных проектах.

Сейчас уровень развития технологии достаточен, чтобы быстро возводить любые современные энергоэффективные сооружения, особенно сложных форм, применять строительную 3D-печать как в сфере индивидуального жилищного строительства, так и на промышленных объектах. Реализация инновационных решений требует практических знаний в сфере аддитивных строительных технологий, опыта организации аддитивного строительного производства, качественных материалов для аддитивных строительных производств.

Объединяя компетенции, мы создаем новые продукты и решения.




forus-td.ru

**МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ
АДДИТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ**

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
3D-ПРИНТЕРОВ СЕРИИ МЕГАЛИТ

Самая широкая линейка строительных сухих смесей для аддитивных технологий

3D-печать в строительстве: технология будущего уже сегодня

История, перспективы
и путь компании
Smart Build Service



От идеи к индустрии

История компании началась с амбициозной идеи: преодолеть ограничения традиционного строительства. Обычные методы оказались слишком затратными и медленными при реализации сложных архитектурных проектов. Решением стала 3D-печать, позволяющая автоматизировать процессы, сократить количество задействованных рабочих и значительно повысить гибкость в проектировании.

2019 год стал точкой отсчета — именно тогда началась разработка первого строительного 3D-принтера Smart Build. Уже к 2024 году компания вышла на рынок с готовыми продуктами и сервисами: наладила продажи принтеров, организовала сеть сервисных и обучающих центров в России, а также начала экспансию на международные рынки.

Инфраструктура и технологии

На сегодня в компании сформирован собственный парк из десяти единиц 3D-принтеров Smart Build, разработана смесь для печати, а также запущена архитектурно-строительная компания, специализирующаяся исключительно на строительстве с применением 3D-печати.

Основное направление компании — это развитие отрасли 3D-печати на территории Российской Федерации. Для полноценного и успешного развития в компании Smart Build Service было принято решение обеспечить все регионы быстрым доступом к технологии 3D-печати в строительстве. Для этого осуществляется поддержка всех участников рынка: обучение новых сотрудников в кратчайшие сроки, поставка запасных частей для бес-

перебойной работы принтеров, аккумулирование практических знаний и оперативное их применение во всей партнерской сети.

На данный момент в активной фазе находятся сервисные центры:

- «СБС Центр» — Московская область (Клинский район),
- «СБС Юг» — г. Ставрополь,
- «СБС Сибирь» — г. Томск и Алтайский край,
- «СБС Грозный» — г. Грозный.

Цифры, говорящие сами за себя

Один принтер способен за 75 часов напечатать дом площадью 100 м², с высотой стен 4 метра, используя для этого 30 тонн печатной смеси и 39 м³ пенобетона. На площадке требуется всего три человека для возведения стен по такой технологии. Эти показатели демонстрируют исключительную эффективность технологии, подчеркивая ее преимущество в скорости, качестве и ресурсосбережении.



3D-печать бетоном позволяет:

- Значительно сократить время строительства за счет автоматизации процессов и исключения ручных трудоемких работ, таких как кладка кирпича.

- Минимизировать отходы материалов и трудозатраты, поскольку на стройплощадке требуется всего три человека, что решает вопрос по миграционной проблематике рабочей силы.

Также 3D-печать развивает новую прогрессивную профессию и позволяет:

- Создавать сложные и замысловатые конструкции, которые при использовании традиционных методов были бы сложными или дорогостоящими.

- Создавать меньше отходов и использовать экологичные или переработанные материалы для смеси.

- Создавать конструкции, отличающиеся повышенной долговечностью за счет последовательного наслоения и возможности смешивания различных материалов, что снижает необходимость в частом ремонте.

В компании делается упор на аддитивные технологии, поскольку они сильно упрощают процесс проектирования и возведения домов, коммерческих зданий и малых архитектурных форм. 3D-принтеры SmartBuildService предназначены для возведения конструкций зданий, их элементов, а также печати любых малых форм ландшафтного дизайна.

Стратегическое развитие до 2030 года

Smart Build Service ставит перед собой амбициозную задачу — построить 10 миллионов квадратных метров малоэтажного жилья с применением 3D-печати за ближайшие пять лет. Этот план предполагает не только активное строительство, но и интеграцию аддитивных технологий во всю отрасль — от проектирования до финальных этапов возведения. Внедрение новых технологий всегда непростой и тернистый путь, требующий больших усилий. В компании придерживаются политики, что для быстрого и динамичного прохождения по пути к успеху нужно создавать партнёрскую сеть и объединять усилия, знания, проекты. В Smart Build Service вы всегда можете получить ответы на все вопросы в формате консультаций на любом этапе сотрудничества или выбрать путь стратегического развития вместе с компанией — по партнерскому соглашению. Такой тип сотрудничества подразумевает под собой формат партнерства на любом уровне — от печати малых архитектурных форм до эксклюзивного представительства 3D-печати в федеральном округе.

Международное сотрудничество

Компания активно развивает международное направление: партнерские отношения установлены в Азербайджане, ОАЭ и Саудовской Аравии. Благодаря этому Smart Build Service обменивается опытом, внедряет лучшие практики и продолжает совершенствовать свои технологии.



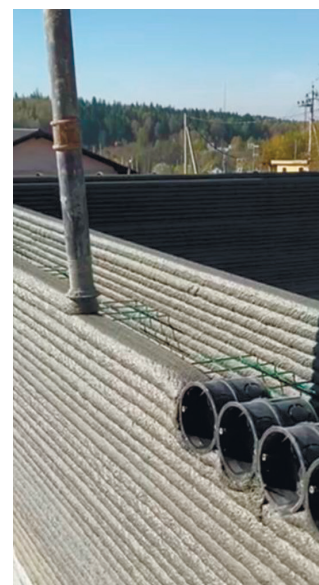
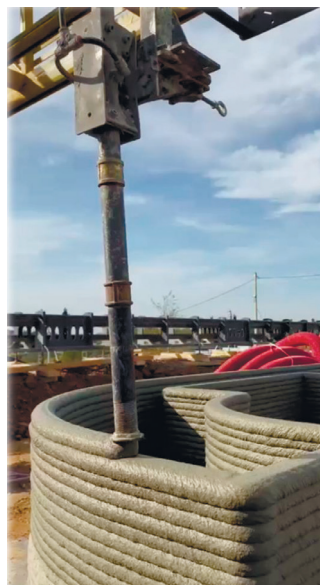
Особое внимание в компании уделяется научной базе: налажено сотрудничество с вузами, что обеспечивает приток молодых специалистов и свежих инженерных решений.

Новый этап архитектурной свободы

Флагманская модель компании — строительный 3D-принтер «Ракурс V2400» предназначен для возведения жилых домов, коммерческих зданий, малых архитектурных форм и сборных элементов. Он способен воплотить любые задумки архитекторов, сохраняя при этом экономическую эффективность.

3D-печать стирает границы между инженерной целесообразностью и художественной выразительностью. Это не просто технология — это культурный и профессиональный сдвиг, открывающий новые горизонты как в жилищном строительстве, так и в сфере дизайна и развлечений.

Smart Build Service уверенно прокладывает путь к устойчивому, высокотехнологичному и доступному строительству. И, возможно, уже завтра дома, созданные на 3D-принтере, станут привычной частью нашего ландшафта.



MEX/FGF — современная стадия развития аддитивных технологий для металлообработки

Дмитрий Цымбал,

операционный директор и сооснователь M-Shape, https://t.me/dmitry_tsybal

Революция в металлообработке через аддитивные технологии

Мировая индустрия производства изделий из металлов переживает коренные изменения. Согласно отчёту Wohlers Report 2024: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry (Wohlers Associates, 2024, www.wohlersassociates.com), рынок аддитивных технологий превысил \$22,8 млрд в 2023 году, демонстрируя ежегодный рост более 20%. При этом металлургические применения занимают около 24% рынка.

Исторически наиболее широко применялись лазерные технологии (SLM, DMLS) и методы струйной печати (Binder Jetting). Однако рост цен на специализированные металлические порошки, энергозатратность оборудования и высокая стоимость серийного производства стимулируют интерес к альтернативным подходам — прежде всего к Material Extrusion (MEX) и его подвиду Fused Granulate Fabrication (FGF).

Что такое MEX/FGF?

MEX — это послойная печать изделий за счёт выдавливания материала через экструдер. В рамках FGF применяются не филаменты, а гранулированное сырьё, что позволяет использовать более дешёвые и доступные материалы, аналогичные тем, что применяются в технологиях MIM (Metal Injection Molding).

Факторы, стимулирующие рост интереса к MEX/FGF:

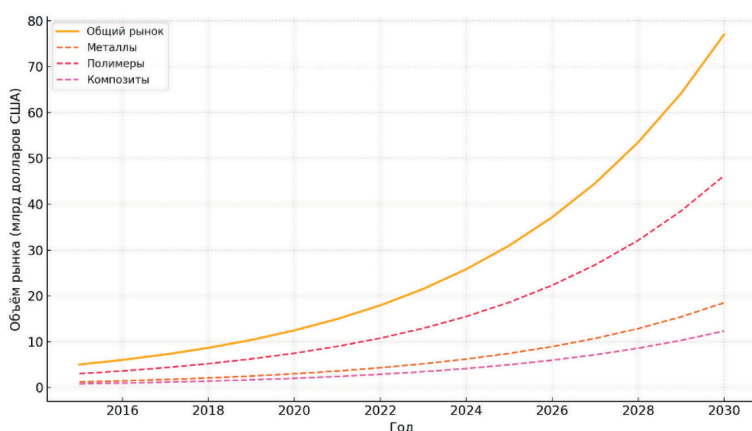
- Удешевление сырья (гранулы дешевле специализированных порошков в 3–5 раз).
- Более низкие требования к энергетике оборудования.
- Возможность печати крупногабаритных изделий.
- Простота масштабирования производственных мощностей.

Актуальность для глобальной и российской промышленности

На фоне глобальных цепочек поставок, потрясённых пандемией и геополитическими изменениями, локализованное, адаптивное и недорогое производство становится стратегическим преимуществом. MEX/FGF позволяет компаниям:

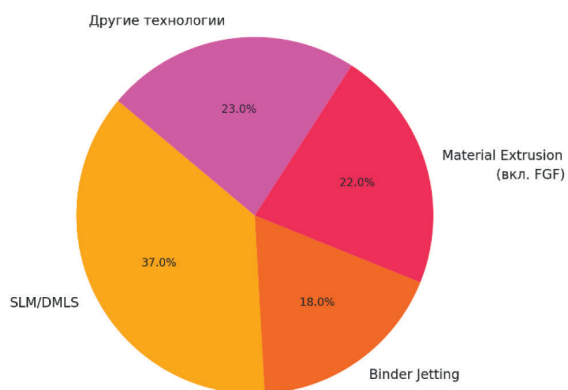
- Быстро разрабатывать и выводить на рынок новые изделия.
- Снижать зависимость от зарубежных поставок высокотехнологичных материалов.
- Реализовывать прототипирование и мелкосерийное производство в кратчайшие сроки.

Динамика роста рынка 3D-печати (2015–2030)



Источник данных: Wohlers Report 2024, www.wohlersassociates.com

Распределение технологий на рынке 3D-печати в 2024 году



Источник данных: Wohlers Report 2024, www.wohlersassociates.com



Этапы и технология MEX/FGF — от гранулы до металлической детали

Технология MEX/FGF (Fused Granulate Fabrication) позволяет производить металлические изделия за счёт шнековой экструзии гранулированного материала с последующим удалением связующего и спеканием. Эта цепочка включает четыре ключевых этапа, каждый из которых требует точной настройки и контроля качества.

1. Подготовка материала

Используемый материал состоит из металлического порошка (обычно 75–90%) и термопластичного связующего (полиолефины, полиамиды и др.). Гранулы разрабатываются с учётом текучести, равномерности наполнения и стабильности при нагреве.

Параметры:

- Размер частиц: 0–20 мкм (металл).
- Температура плавления связующего: 120–180°C.
- Объёмное наполнение порошком: до 90% в MIM-подходе.

2. 3D-печать (экструзия)

Сырьё подаётся в шнековый экструдер, где пластифицируется и выдавливается через сопло. Послойное нанесение происходит в соответствии с цифровой моделью.

Контролируемые параметры:

- Температура печатающей головки: 180–230°C.
- Диаметр сопла: 0,4–1,2 мм.
- Высота слоя: 0,1–0,3 мм.
- Скорость печати: 10–60 мм/с.

3. Вымывание (дебайндинг).

Удаление связующего

После печати заготовки проходят стадию удаления полимерного связующего. Существует три основных способа дебайндинга:

- *Каталитический дебайндинг* (Catalytic debinding)

✓ Применяется для быстрого удаления связующего в атмосфере азота с использованием катализатора (например, азотной кислоты).

✓ Температура: 120–150 °C.

✓ Преимущества: высокая скорость процесса.

✓ Недостатки: высокая стоимость оборудования, сложность контроля, опасность при работе с катализаторами.

- *Термический дебайндинг* (Thermal debinding)

✓ Удаление связующего за счёт медленного нагрева в печи.

✓ Температура: 200–450°C.

✓ Преимущества: простота процесса.

✓ Недостатки: риск деформации изделий, длительное время цикла, необходимость точного контроля температуры и атмосферы.

- *Сольвентный дебайндинг* (Solvent debinding)

✓ Использование органических растворителей для удаления растворимой части связующего.

✓ Температура: 20–80°C (в зависимости от растворителя).

✓ Преимущества: мягкость процесса, снижение рисков деформации.

✓ Недостатки: необходимость работы с химическими жидкостями и утилизации растворителей.

Этап вымывания критичен для сохранения геометрической точности изделия и предотвращения дефектов структуры.

4. Спекание

Заключительный этап — спекание металлического каркаса в печи. Металлические частицы спекаются, образуя плотную монолитную структуру.

Параметры спекания:

• Температура: 1100–1500°C (для наиболее распространённых металлов).

• Время выдержки: до 16 часов.

• Атмосфера: вакуум, аргон, водород или восстановительная среда.

Финальная плотность: до 96–99% от теоретической плотности исходного металла. При правильной термической обработке физико-механические свойства и характеристики таких изделий (прочность, твёрдость, плотность, коррозионная стойкость) сопоставимы с изделиями, полученными методом традиционного литья под давлением или MIM (Metal Injection Molding). Это открывает возможность применения продукции, полученной методом MEX/FGF, в ответственных конструкциях, требующих высоких эксплуатационных характеристик. Примеры конкретных материалов:

• 316L (нержавеющая сталь): после MEX/FGF-спекания достигает прочности на растяжение до 480–550 МПа, пластичности более 40%, высокой коррозионной стойкости, аналогичной литейным аналогам.

• Ti6Al4V (титан — алюминий — ванадий): достигает прочности до 900–950 МПа и отличной удельной прочности, что позволяет использовать детали в авиации и медицинской технике.

• 17-4PH (прецизионная коррозионностойкая сталь): после обработки демонстрирует высокую твёрдость (до 38-42 HRC) и стойкость к агрессивным средам.

Эти результаты показывают, что изделия, напечатанные по технологии MEX/FGF, подходят для применения в медицине, энергетике, нефтегазовой промышленности и высокоточной инженерии.

Преимущества технологии MEX/FGF — технологические, экономические и стратегические аспекты

1. Технологические преимущества

- **Гибкость в выборе материалов:** возможность использования широкого спектра металлических порошков, включая нержавеющие стали, титановые сплавы, медные и никелевые материалы.

- **Печать изделий разных габаритов:** благодаря шнековой подаче гранул возможна реализация изделий до нескольких метров в длину.

- **Упрощение требований к оборудованию:** отсутствие необходимости в прецизионных лазерах или струйных головках снижает требования к точности компонентов принтера.

- **Высокое качество итоговых изделий:** при правильной постобработке изделия достигают характеристик, сопоставимых с литьём под давлением.

2. Экономические преимущества

- **Снижение стоимости сырья:** гранулированные материалы в 3–5 раз дешевле порошков, используемых в SLM и Binder Jetting.

- **Уменьшение эксплуатационных расходов:** отсутствие высокоэнергетических лазеров снижает энергопотребление.

- **Удешевление оборудования:** конструкции с шнековым экструдером проще и дешевле в производстве и обслуживании.

- **Снижение себестоимости изделий:** за счёт сырья, оборудования и энергопотребления итоговая себестоимость изделия ниже на 30–50% по сравнению с другими методами аддитивного производства.

3. Стратегические преимущества

- **Простота масштабирования:** возможность плавного перехода от единичного производства к серийному выпуску без необходимости полной замены оборудования или перенастройки процессов.

- **Локализация производства:** возможность развёртывания малых и средних производственных мощностей вблизи конечного потребителя.

- **Гибкость серий:** быстрая адаптация к мелкосерийному производству и прототипированию.

- **Независимость от внешних поставок:** использование доступных гранул вместо импортируемых порошков снижает риски в условиях ограничений и санкций.

Применение технологии MEX/FGF — кейсы, отрасли, потенциал

1. Международные кейсы применения

• AIM3D (Германия)

Немецкая компания AIM3D разработала экструдер SEM-E1, способный печатать металлическими гранулами с использованием технологии FGF. Он поддерживает работу со стандартными MIM-порошками, используется в машиностроении, медицине и авиации.

Подробнее: aim3d.de/en/

• JuggerBot 3D (США)

JuggerBot 3D предлагает промышленную платформу Tradesman Series™ для FGF-печати металлическими композитами. Применяется для быстрого производства деталей в аэрокосмической и автомобилестроительной сферах.

Подробнее: juggerbot3d.com

• Piocreat (Китай)

Компания Piocreat разработала FGF-принтеры, работающие с металлическими порошками и гранулами. Решения применяются для изготовления крупных металлических деталей с минимальными затратами.

Подробнее: piocreat3d.com

2. Перспективные отрасли применения

- **Авиация и космос:** изготовление неотъемлемых и полуструктурных деталей, быстрое прототипирование, ремонт и замена элементов, а также снижение веса конструкций благодаря оптимизированной геометрии.

- **Энергетика и машиностроение:** компоненты турбин, крепёж, корпуса насосов.

- **Медицина:** индивидуальные хирургические инструменты и импланты.

- **Нефтегазовая и химическая промышленность:** износостойкие и антикоррозионные детали, сопла, адаптеры.

- **Оборонная промышленность:** мелкосерийное и опытное производство корпусов, кожухов, деталей, требующих прочности и устойчивости.

- **Железнодорожный транспорт и судостроение:** изготовление и ремонт нестандартных металлических компонентов.

- **Лёгкая промышленность и архитектура:** дизайнерские металлические элементы, каркасы, фасадные панели.

Сравнительная таблица затрат на производство изделий

Показатель	MEX/FGF	SLM/DMLS	Binder Jetting
Стоимость сырья	Низкая	Очень высокая	Высокая
Стоимость оборудования	Низкая	Очень высокая	Высокая
Энергопотребление	Низкое	Высокое	Среднее
Размер доступных изделий	Большой	Ограниченный	Средний
Плотность и механические свойства	Высокие	Очень высокое	Высокое

3. Потенциал для применения в России

- В условиях санкционного давления и необходимости импортозамещения технология MEX/FGF может стать основой для локализованного производства запчастей.
- Возможность быстрого реагирования на производственные задачи, включая опытно-конструкторские и ремонтные.
- Перспектива развития на базе университетов, технопарков и малых производств.

MEX/FGF — это не просто альтернатива другим методам 3D-печати. Это технология, обладающая способностью встраиваться в существующие производственные цепочки и гибко адаптироваться под задачи отраслей с разным уровнем требований и доступными ресурсами.

M-Shape — российская разработка в области MEX/FGF-печати металлом

В условиях растущей потребности в технологической независимости, локализации производств и сокращении издержек компания M-Shape предлагает комплексное решение на базе технологии MEX/FGF, которое сочетает в себе отечественные инженерные разработки, материалы и поддержку внедрения. Компания не копирует западные аналоги, а развивает собственную технологическую платформу, адаптированную под задачи российского рынка.

Что входит в экосистему M-Shape:

- **Настольный 3D-принтер со шнековым экструдером**, спроектированный для стабильной работы с металлическими гранулами. Оборудование разработано для НИОКР, прототипирования и мелко-серийного выпуска деталей.



- **Собственные MIM-гранулы и металлонаполненные филаменты**, оптимизированные по вязкости, усадке и совместимости с типовым промышленным оборудованием.



- **Полный цикл: печать — вымывание — спекание**, реализуемый через модульную архитектуру, что позволяет масштабировать технологию по мере роста задач предприятия.

- **Полная локализация: от материалов до инструкций** — всё создано и поддерживается в России, без зависимости от зарубежных поставок.



В чём практическое преимущество перед зарубежными аналогами

- **Стоимость:** решение M-Shape в 2–3 раза доступнее, чем импортные MEX/FGF-системы, при сопоставимом уровне точности и плотности изделий.
- **Гибкость:** компания работает под задачи клиента, адаптируя конфигурацию оборудования, параметры материалов и процессы постобработки.
- **Поддержка:** инженерное сопровождение, обучение и адаптация методик выполняются на русском языке, в рамках одной часовой зоны и нормативной базы.

Потенциал внедрения и актуальность для российских компаний

Технология MEX/FGF развивается как на глобальном, так и на локальном уровне, и M-Shape предлагает решения, позволяющие российским компаниям подключиться к этому тренду на приемлемых условиях.

Компактные принтеры, совместимые с отечественными материалами и инфраструктурой, позволяют:

- ускорить цикл разработки изделий в НИОКР и инженеринговых бюро;
- использовать MIM-гранулы для прототипирования и испытаний без необходимости в дорогостоящих порошках;
- локализовать мелкосерийное производство, особенно актуальное в условиях нестабильных логистических цепочек и ограниченного импорта.

MEX/FGF-подход также снижает барьер входа в металлопечать для организаций, не готовых инвестировать в оборудование лазерной печати. Благодаря M-Shape предприятия и университеты получают возможность экспериментировать, обучать и производить на базе единого отечественного решения.

Сравнение с альтернативными технологиями

Технология MEX/FGF, реализованная в решении M-Shape, выгодно отличается от других распространённых методов производства металлических изделий.

Это делает MEX/FGF-подход особенно привлекательным для тех, кто ищет оптимальное соотношение стоимости, гибкости и технологической независимости.

M-Shape предлагает инженерно обоснованный подход к внедрению технологии MEX/FGF: от оборудо-

	M-Shape	SLM	Binder Jet	Станок ЧПУ
Возможность размещения в офисах, транспортных средствах	Да	Нет	Нет	Нет
Срок изготовления сопоставимого изделия	5–7 дней	1–2 недели	5–7 дней	>3 недель
Наличие специальных навыков для обслуживания	Не требуется	Требуется	Требуется	Требуется
Себестоимость одной детали	Низкая	Высокая	Средняя	Средняя
Геометрическая сложность	Максимальная	Ограничена	Средняя	Ограничена
Взрывоопасность сырья	Нет	Да	Да	Нет

дования и материалов до сопровождения внедрения. Это инструмент для системного повышения производственной гибкости и технологической независимости в условиях ограниченных ресурсов и высокой неопределённости.

M-Shape — это не просто принтер или материал. Это инженерная платформа, с которой можно выстраивать собственный независимый производственный процесс: от идеи до готового металлического изделия.

Заключение

Технология MEX/FGF (Fused Granulate Fabrication) представляет собой перспективное направление в области аддитивного производства, позволяющее использовать металлические гранулы и компаунды для создания изделий с высокой точностью и механическими свойствами, сопоставимыми с традиционными методами. В отличие от других технологий, таких как SLM или Binder Jetting, MEX/FGF обеспечивает более низкие затраты на оборудование и материалы, а также упрощённые процессы постобработки.

Решение M-Shape, разработанное в России, предлагает полностью локализованную экосистему для внедрения MEX/FGF-технологии. Она включает в себя собственные разработки оборудования, материалов и методик, адаптированных к требованиям отечественной промышленности и образования. M-Shape предоставляет доступное и эффективное решение для предприятий, стремящихся к технологической независимости и оптимизации производственных процессов.

В условиях ограниченного доступа к зарубежным технологиям и необходимости импортозамещения внедрение MEX/FGF с использованием решений M-Shape становится стратегически важным шагом для российских компаний. Это позволит не только сократить издержки, но и повысить гибкость и скорость разработки новых продуктов.

Таким образом, MEX/FGF-технология и решение M-Shape открывают новые возможности для развития отечественного производства, обеспечивая конкурентоспособность и устойчивость в современных условиях.

Если вы ищете решение, которое действительно работает, учитывает ваш контекст и может быть внедрено в течение нескольких недель, — **свяжитесь с компанией mshape.ru.**

Производство металлических изделий



Мобильная микро-фабрика для производства металлических изделий в любой локации

Титан | Сталь | Алюминий | Вольфрам | Медь



Металлонаполненный филамент

Самый простой в работе металлический филамент в мире



ММ-гранулы для 3D-печати и литья под давлением





25-я юбилейная
международная
специализированная
выставка

25

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



Минпромторг
России



ТПП РФ



«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

26–29 | 05 | 2025



metobr-expo.ru

12+ РЕКЛАМА



ЭКСПОЦЕНТР

Аддитивное мышление, ракеты и цветы для Марса: как в Казани на «Спутнике знаний» выращивали инженеров нового поколения

Дмитрий Иванов
Центр высоких технологий «АЛГА»

В День космонавтики в Казани прошёл первый семейный фестиваль «Спутник знаний», который собрал около 7,5 тысяч участников. Организованный «Домом занимательной науки и техники» при поддержке Министерства цифрового развития Татарстана, фестиваль стал не просто праздником для всей семьи, но и настоящей лабораторией будущего. В центре внимания — космонавтика и развитие у детей аддитивного мышления — ключевого навыка инженеров XXI века.

Символично, что фестиваль прошёл в новом IT-парке, названном в честь Башира Рамеева — инженера, стоявшего у истоков советской вычислительной техники. Именно его разработки ЭВМ «Стрела» легли в основу систем управления, использовавшихся при полёте Юрия Гагарина.

На восемь часов второй этаж современного IT-парка превратился в галактику открытий: запуски ракет, мастер-классы, научные шоу, лекции и даже настоящая экипировка космонавтов.

Герой России, космонавт Андрей Борисенко поприветствовал участников фестиваля и посоветовал всем, кто мечтает о звёздах, не забывать о математике и естественных науках.

«Спутник знаний» стал ареной для будущих инженеров и конструкторов. На одной из самых популярных

площадок дети (и не только!) запустили почти тысячу пневматических ракет — моделей легендарной Р-1. Их создавали прямо на месте — своими руками.

Особое внимание и детей, и взрослых привлекали настоящая космическая экипировка, пища космонавтов и перчатка скафандра космонавта Александра Мисуркина, которую он использовал в полете на Международную космическую станцию, из музея памяти Виктора Суворова — инструктора Центра подготовки космонавтов, который подготовил 43 космических экипажа.

О создании первого настоящего спутника из Татарстана «КАИ-1», который успешно был выведен на космическую орбиту, рассказал его главный конструктор Шамиль Валиуллин, который начинал с создания аналогов спутников CanSat («Спутник в консервной банке»), которые делают старшеклассники. При создании прототипа конструкции своего первого спутника Шамиль активно использовал детали, напечатанные на FDM-принтере.

Особое внимание детей и взрослых привлекал стенд с работающим 3D-принтером и выездной выставкой «Удивительный мир 3D-печати», на котором демонстрировались образцы изделий, напечатанных из разных материалов, включая титан, алюминий, сталь и различные виды пластика. Многие посетители фестиваля впервые в жизни увидели, как работает настоящий 3D-принтер,





как «из ничего» рождается настоящая инженерная деталь, слой за слоем, как будто выращенная — отсюда и название подхода: аддитивный (от лат. addere — добавлять), подержали в руках изделия, которые используются при производстве космической техники, например, детали антенных устройств спутника «Марафон», кронштейны и силовые элементы конструкции космической техники.

Научные лекции сопровождались зрелищными опытами и живыми историями. Ученые из КАИ и КФУ рассказывали об астрономии, радиоэлектронике, истории космонавтики и новых технологиях.

Особое, трепетное участие вызвало написание настоящих писем космонавтам. Их передадут на орбиту — на борт МКС, где сейчас работает наш земляк из Бугульмы, Герой России, космонавт Сергей Рыжиков, который улетел на космическую вахту 8 апреля этого года. Дети рисовали ракеты и звёзды, писали пожелания удачи и свои мечты о полётах.

Фантазия не заканчивалась на ракетах. Юные «марсиане» сажали овёс, пшеницу и подсолнухи в гидрогель, имитируя выращивание растений в условиях других планет. Детали для этого мастер-класса были изготовлены с использованием напечатанных и вырезанных лазером компонентов. Каждый участник забрал своё растение домой, чтобы через пару недель увидеть: росток взойдёт. Пусть пока на Земле, но с намёком на будущее.



Следует отметить, что аддитивные технологии были интересны не только детям, но и многим взрослым, они работают на современных промышленных предприятиях и уже задумались о том, как и какие технологии можно внедрить в производство для решения конкретных технических задач.

Фестиваль показал, что интерес к технике начинается с простого: запуска ракеты, сборки модели, прикосновения к настоящей детали спутника. И это уже не просто увлечение — это формирование будущих специалистов, способных решать сложные задачи в промышленности, энергетике, здравоохранении и, конечно, в космосе.

«Я уверен, что в этом зале есть люди, которые станут космонавтами, будут изобретать новые космические аппараты или, став медиками и биологами, научатся лечить болезни в невесомости, выращивать там еду и растения», — говорили на открытии фестиваля. И это звучало не как красивая фраза, а как план: показать детям путь к инженерии через интерес, действие и творчество.

Фестиваль «Спутник знаний» стал отличной иллюстрацией того, как наука может быть живой, наглядной и по-настоящему увлекательной. А главное — как через знакомство с передовыми технологиями можно вовремя зажечь в ребёнке желание **не просто наблюдать, а создавать**.





Чемпионат «3D Профи»

Мир стремительно меняется, 3D-печать проникает в самые разные отрасли, открывая новые горизонты. Современное 3D-оборудование — это мощный инструмент в руках специалиста. Но за этим захватывающим ростом скрывается одна очень важная проблема. Что делать, если специалистов не хватает? Технологические компании, промышленные предприятия и сами участники аддитивной отрасли задаются вопросом, где найти и как подготовить сотрудников. Традиционные методы поиска персонала становятся менее эффективными, особенно в узких областях, таких как аддитивные технологии. Необходим инструмент, объединяющий лидеров рынка и потенциальные кадры. И решение есть — это крупное и полезное как для компаний, так и для специалистов аддитивное мероприятие — чемпионат «3D Профи».

В 2023 году Департамент предпринимательства и инновационного развития города Москвы дал старт уникальной образовательной программе, охватывающей два трека — школьный и студенческий. Это стало началом «3D Профи 2023» — мероприятия, собравшего более 30 команд из Москвы с амбициозными идеями в сфере аддитивных технологий. Такой формат — работа на профессиональном оборудовании под руководством экспертов и создание своего аддитивного проекта — стал настоящим прорывом. Успех первого мероприятия был настолько вдохновляющим, что уже через год масштаб чемпионата вырос в разы.

Программа «3D Профи» включает в себя образовательные мероприятия и два дня соревнований, на которых участники демонстрируют свои навыки работы

с аддитивным оборудованием, включающие практические задания по ремонту 3D-принтера, сканированию объектов, разработке и печати 3D-моделей, и представляют свои проекты, выбранные из нескольких направлений проектной деятельности: дизайн, робототехника, беспилотники, креативные технологии, медицина, тюнинг, архитектура, импортозамещение, детали для конечного пользования, аддитивные материалы и оборудование для 3D-печати и др. Презентация проектов команд включает экспозицию и выступление с презентацией перед экспертным жюри.

За два года более 80 команд чемпионата «3D Профи» создали собственные MVP (минимально жизнеспособный продукт) и прошли обучение работе с современным оборудованием 3D-печати.





Несмотря на то, что для многих участников это был дебют, их проекты поражают тем, что с легкостью могли бы конкурировать с проектами зрелых акселерационных программ. По результатам чемпионата более 50 участников получили престижные квалификационные сертификаты «Специалист по аддитивным технологиям», открывающие им двери в профессиональное будущее. Солидный призовой фонд в 5 000 000 рублей стал дополнительным стимулом для участников, а 15 наиболее одаренных молодых специалистов вошли в государственный реестр «Таланты России». Более 50 человек получили ценный опыт, пройдя стажировки и практики в ведущих аддитивных компаниях. Так, участие в проекте «3D Профи 2024» стало для команды Follo из университета МАИ настоящим прорывом. Полученный на проекте опыт, а также прохождение стажировок позволило членам команды настолько ярко проявить себя, что ведущие компании не остались в стороне. Их пригласили на работу сразу несколько работодателей, что подчеркивает огромный спрос на квалифицированных специалистов в сфере аддитивных технологий и признание таланта участников.

Проект привлекает участников не только из Москвы, но и из разных уголков России и стран-партнеров. В 2024 году в битве за первенство приняли участие команды из Ярославля и Мариуполя, а также из Белоруссии. «3D Профи 2024» продемонстрировал свою популярность, собрав заявки на участие из более чем 10 регионов России.



К проекту были привлечены ключевые компании России по производству аддитивного оборудования. Партнеры Imprinta, RangeVision и REC обеспечили участникам свободный доступ к 3D-принтерам, пластикам и 3D-сканерам, предоставив бесценный практический опыт. В 2024 году к партнерам чемпионата присоединились представители Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ), Центра аддитивных технологий «Ростеха» и Министерства промышленности и торговли РФ.

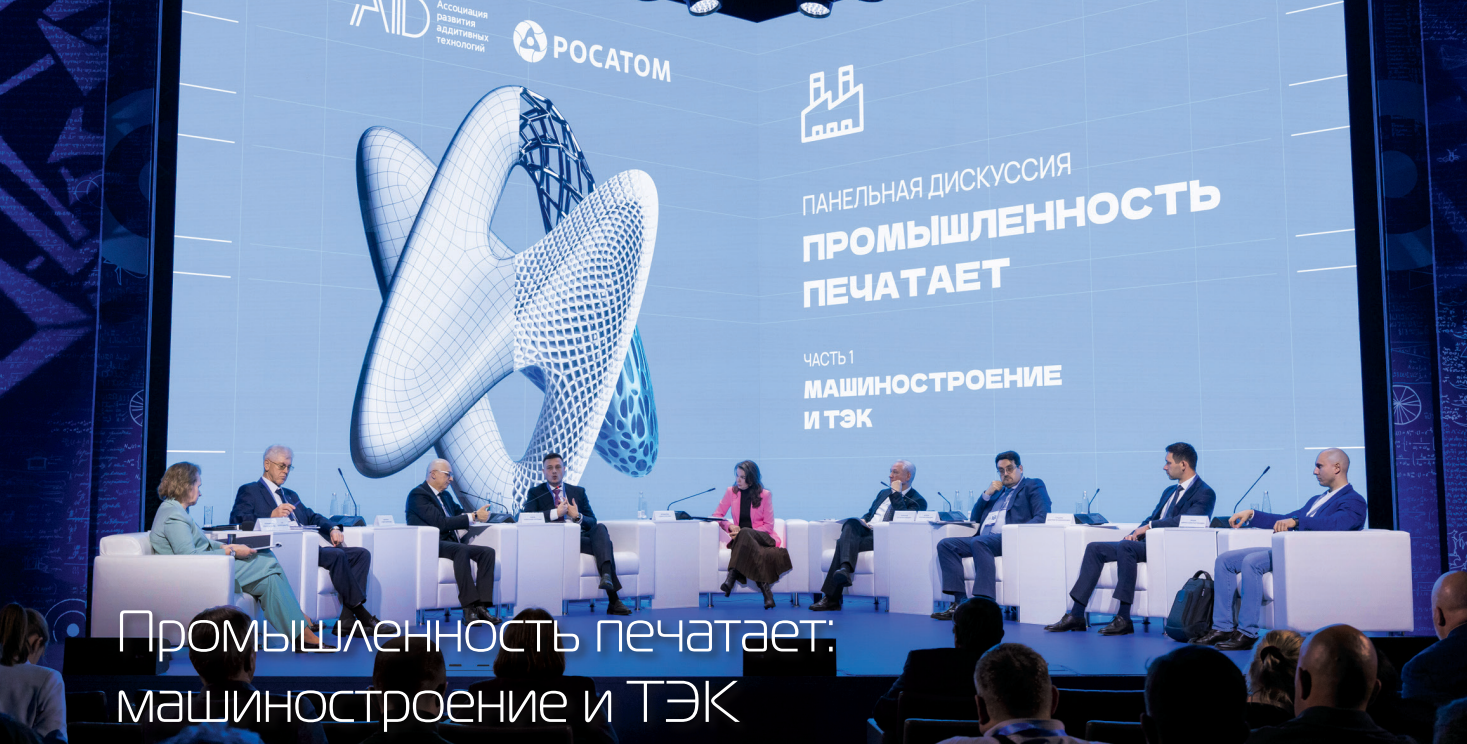
Организаторы видят «3D Профи» как ежегодный чемпионат, объединяющий талантливых молодых специалистов со всех уголков не только России, но и других дружественных стран. Миссия чемпионата — создать уникальную площадку, где перспективные ребята смогут не только демонстрировать свои таланты, но и получить мощный импульс для развития карьеры в перспективной сфере 3D-печати.

Если Вы заинтересовались проектом и готовы принять в нем участие или выступить спонсором, свяжитесь с командой организаторов уже сейчас!

Итоговые соревнования пройдут осенью. Следите за обновлением информации на сайте Чемпионата!

Артём Соломников
Контакты организаторов:
Телефон: +7(999) 503 37 87,
E-mail: partners@sologroup.pro
Telegram: https://t.me/soloproject_team
Сайт: <https://soloproject.ru/>





Промышленность печатает: машиностроение и ТЭК

Российские предприятия расширяют объемы аддитивного производства. Прошедшие 2–3 года стали периодом адаптации и роста в области отечественных аддитивных технологий. Процессы импортозамещения идут в нескольких направлениях, охватывающих станки, материалы, производство запчастей и комплектующих. В современных реалиях 3D-печать стала неотъемлемой частью практически для всех отраслей промышленности. Возможности прототипирования позволяют компаниям оперативно реагировать в ситуациях поломки деталей в современной непростой ситуации, связанной с уходом ведущих западных поставщиков.

Вопросы, связанные с диалогом бизнеса и власти, продвижением аддитивных технологий и достижением технологического суверенитета, обсуждались на площадке VI лидер-форума «Аддитивные технологии — реальность технологического лидерства», проходившего 12–13 ноября 2024 года в павильоне «Атом» на ВДНХ. Участники сессии «Промышленность печатает: машиностроение и ТЭК» обсудили регуляторные барьеры, пути их преодоления, поделились опытом реализации конкретных проектов, обозначили свои планы, изложили собственное видение перспектив развития аддитивных технологий в России.



Открывая сессию «Промышленность печатает: машиностроение и ТЭК», **Ольга Оспенникова, исполнительный директор Ассоциации развития аддитивных технологий**, с радостью отметила, что в зале поровну собрались заказчики и исполнители, поэтому можно смело утвер-

ждать, что аддитивные технологии начинают применяться на различных предприятиях в различных отраслях промышленности. Другим немаловажным наблюдением

является то, что в сессии принимают участие представители малого и среднего бизнеса (МСБ). История Ассоциации развития аддитивных технологий начиналась с крупных государственных корпораций, но со временем ее членство пополнили МСБ и опорные ключевые вузы. В нашей стране значительный сектор производства сосредоточен на масштабных индустриальных площадках, но большим предприятиям не всегда интересно реализовывать незначительные задачи, а МСБ более стратегически инициативен и готов идти на предпринимательский риск. Поэтому разноплановый состав участников сессии демонстрирует вектор развития аддитивных технологий: внедрение в различные промышленные отрасли, становление на уровне предприятий различных форм собственности и размера.



Александр Львов, заместитель Департамента станкостроения и тяжелого машиностроения Министерства промышленности и торговли РФ, проинформировал собравшихся о существующих на сегодня мерах государственной поддержки и проводимых правительством меро-

приятиях по снятию барьеров для внедрения аддитивных технологий в российской промышленности.

Так, в настоящий момент формируется новый национальный проект по технологическому лидерству, в рамках которого будет действовать несколько федеральных проектов: станкостроение, роботизация производства, кадры. В рамках федерального проекта по станкостроению будет продолжаться реализация уже действующих мер господдержки предприятиям аддитивной промышленности.

В части разработки оборудования, которое применяется в аддитивных технологиях, хорошо себя зарекомен-

довали постановление правительства РФ от 12 декабря 2019 г. № 1649 «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на финансовое обеспечение затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по современным технологиям в рамках реализации такими организациями инновационных проектов» и постановление правительства РФ от 16 декабря 2020 г. № 2136 «Об утверждении Правил предоставления в 2023 году из федерального бюджета субсидий российским организациям на финансовое обеспечение мероприятий по проведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области средств производства электроники».

Планируется запуск проекта «НИОКР через заказчика», например, госкорпорацию «Росатом» или «Роскосмос», когда при запросе от крупного игрока необходимо разработать какую-то уникальную установку в единичном экземпляре, — проект не является коммерческим.

Минпромторг также готов оказать поддержку в части наращивания технической базы, запущена программа в рамках Фонда развития промышленности, где можно получить льготные займы на расширение производственных мощностей.

В целях дополнительного стимулирования спроса на российское оборудование Минпромторг продолжит в рамках нового национального проекта программу субсидирования затрат производителей, которые предоставляют конечному покупателю скидку. Скидка может составить до 25% от стоимости оборудования, данная мера позволит конкурировать с иностранными игроками, которые выходят на российский рынок без локализации. В этой ситуации ключевым моментом должно быть соответствие продукции постановлению правительства РФ от 17 июля 2015 г. № 719 «О подтверждении производства российской промышленной продукции».

Помимо мер поддержки «прямым рублем» существуют налоговые субсидии. При покупке аддитивного оборудования, соответствующего требованиям постановления № 719, первоначальная стоимость ОС (основных средств) для расчета амортизации формируется с применением коэффициента 1,5. С 01.01.2025 г. данный коэффициент равен 2. То есть если компания приобрела установку за 10 млн руб., то в расходы в налоговом учете через амортизацию она может списать 20 млн руб., что снижает налогооблагаемую базу и уменьшает налог на прибыль.

Также Александр Львов считает, что для большей скорости внедрения на рынок аддитивного оборудования необходимо совершенствование регуляторных мер, снижение зарегулированности рынка. Однако полностью отменить регуляторику сложно и опасно. Одним из этапов решения проблемы является создание единого банка данных по испытаниям, по применимости материалов, например, такого, который есть в определенной части у госкорпораций «Росатом», «Роскосмос», «Ростех». К сожалению, информация, содержащаяся в корпоративных банках данных, не всегда общедоступна. Минпромторг готов просубсидировать создание данной

базы и ее наполнение. Министерство также планирует предоставлять субсидии для компенсации затрат на сертификацию материалов и технологий.



Андрей Шевченко, директор по технологическому развитию госкорпорации «Росатом», пояснил, как именно планируется системно преодолевать барьеры в рамках крупной госкорпорации, учитывая, что ядерная энергетика — одна из сложнейших инновационных отраслей.

В госкорпорации «Росатом» на текущий момент работа развивается в рамках соглашения с правительством РФ по дорожной карте «Технологии новых материалов и веществ». Увеличивается количество приобретаемого оборудования, расширяется привлечение предприятий, которые активно осваивают аддитивные технологии, проводится обучение персонала.

Опыт показывает, что задача внедрения любой технологии состоит из разных этапов восприятия. Первый этап — «не знаю», второй этап — «не хочу», третий этап — «не могу». Приходится последовательно двигаться к цели, расшивая каждое «не». На этапе «не знаю» — организовать обучение. За последнее время благодаря внутренним ресурсам технической академии по специализации «аддитивные технологии» было подготовлено больше 1000 человек. Люди, прошедшие подготовку, могут как применять аддитивные технологии, так и участвовать в их разработке. На этапе «не хочу» хорошо себя зарекомендовал давно придуманный метод кнута и пряника. Кадровые служащие и должностные лица, активно применяющие аддитивные технологии, скорее продвигаются по службе, у них значительно увеличиваются ключевые показатели эффективности (KPI — Key Performance Indicators). Это является мощной мотивацией. Преодоление этапа «не могу» наиболее трудно реализуемо. Сотрудники «Росатома», активно внедряя аддитивные технологии, непрерывно натываются на регуляторные барьеры, а в атомной отрасли регуляторные барьеры серьезные и весомо обоснованные. Нельзя сказать, что они непреодолимы, но на жизненном цикле атомной станции, которой составляет от пятидесяти до шестидесяти и более лет, требования к надежности агрегатов, составных частей, сборочных единиц предъявляются очень высокие.

«Росатом» ведет постоянную работу по снятию излишней зарегулированности. Значимой вехой стало проведение заседания Научно-технического совета (НТС) по проблематике аддитивных технологий в Ростехнадзоре. Были сделаны доклады, заслушаны вопросы и предложения, на основе которых был подготовлен план внедрения аддитивных технологий в атомную отрасль. В настоящее время идет последовательная работа по совершенствованию процессов с учетом замечаний регулирующего органа.

Конструктивный подход заключается в том, чтобы не заниматься противостоянием с надзорными органами, а выработать с ними план сотрудничества.

Докладчик подтвердил ранее высказанное мнение о том, что востребована общая база данных. Но обозначил вопрос: если наполнять базу за бюджетные деньги, то что делать с данными, которые получены не за бюджетные деньги? Имеется масса таких данных во ФГУПах, в акционерных обществах, госкорпорациях. Необходимо сделать так, чтобы они тоже стали доступными для всех.

Тезис о том, что будет создано какое-то бюджетное учреждение и оно будет заниматься продвижением данных в сообщество, требует серьезной доработки. В качестве альтернативы, по мнению Андрея Шевченко, может быть рассмотрено другое предложение. Например, есть база данных, которая совместно заполняется, и доступ к этим материалам является бесплатным. Они могут стать отправной точкой в движении страны к индустриальному лидерству, к технологическому суверенитету. Для получения доступа к данной базе, например, будет достаточно пройти определенные процедуры подтверждения личности, добросовестности намерений, а требуемым гарантом сохранения данных и защиты от внесения недостоверной информации будут выступать меры информационной безопасности, в том числе против хакерских атак.

По мнению «Росатома», работа базы может существовать «в коммерческой парадигме»: представленные к использованию номенклатура материалов и данные о их свойствах бесплатные, а компания, задействованная в развитии, будет иметь определенный бонус, например, в виде лицензии на развитие базы данных, подтверждение ее достоверности.

В ответном слове Александр Львов поддержал выступившего представителя «Росатома», напомнив, что не настаивал на государственной форме собственности базы данных. Напротив, было акцентировано внимание на готовности Минпромторга профинансировать часть разработки этой базы, которая должна быть открытой, общедоступной в использовании.



Как считает **Алексей Дуб, первый заместитель генерального директора АО «Наука и инновации»**, входящего в структуру «Росатома», работа по наполнению базы данных аддитивных решений должна быть такой, чтобы она полностью соответствовала тем нормативным документам,

которые существуют и в атомной отрасли, и в судостроении, и в авиации — в тех отраслях, которые требуют своей регуляtorики.

Во-первых, важно, что уже преодолен «рубикон недоверия», подразумевавший отсутствие в стране необходимых материалов, оборудования и технологий, которые позволяют получать требуемые нормативные характеристики. Необходимые материалы есть, они используются

в производстве. Во-вторых, нужно увязать нормативные документы с достаточностью базы данных, добиться верифицированности результатов, включаемых в базу данных, так как участники рынка должны проходить все необходимые регуляторные процедуры.

Дискуссия в Научно-техническом совете по аддитивным технологиям еще не закончена, вся программа по созданию центров аддитивных технологий была направлена на то, чтобы такие центры стали опорной точкой получения сведений для внесения их в информационную базу данных. Поэтому те организации, которые включены в число центров аддитивных технологий, являются верифицированными точками ее наполнения.

За пять лет число запросов на установку аддитивного оборудования увеличилось примерно в сто раз. Этот является хорошим знаком и основой доверия к научным разработкам.



Дмитрий Гладких, заместитель начальника департамента ПАО «Газпром», представил участникам сессии перспективы развития аддитивных технологий в своей отрасли.

Ни для кого не секрет, что на объектах ПАО «Газпром» применяется довольно большое количество импортного оборудования, требующего постоянного технического обслуживания и ремонта. Наряду с классическими методами ремонта и обслуживания «Газпром» внимательно наблюдает за развитием аддитивных методов производства запасных частей. В рамках генерального соглашения между компаниями «Газпром» и «Росатом» заключена частная дорожная карта, которая подразумевает под собой выработку методов и правил внедрения деталей, произведенных аддитивным методом, на объектах топливно-энергетического комплекса. В настоящий момент «Росатом» разрабатывает и печатает детали для Оренбургского газоперекачивающего завода. По завершении их изготовления и установки на производстве будет проведено опытно-промышленное испытание, и есть обоснованные надежды получения бесценного опыта внедрения аддитивного оборудования на опасных производственных объектах.

У ПАО «Газпром» также существует дорожная карта с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого, которая предполагает разработку различных деталей, в частности для оборудования добычи и газотурбинных агрегатов. Также она нацелена на создание нормативно-технической базы под это производство.

При обсуждении регуляторной проблематики, по мнению Дмитрия Гладких, необходимо учитывать, что наряду с внешней существует внутрикорпоративная регуляторика, требующая определенных документов, описывающих процесс изготовления, приемки изделия, контроля качества и внедрения продукции, разработанной аддитивным методом на газпромовских объектах.

В настоящее время регуляторика является, пожалуй, чуть ли не единственной препоной для массового внедрения.

Наравне с формированием банка данных по испытаниям, по мнению докладчика, важно создать информационную базу потребностей. Вопрос потребностей всегда волнует всех производителей. Наличие ясности с объемами корпоративных заказов упростит компаниям-производителям процесс развития.

Актуальна также задача расширения номенклатуры порошков; те из них, которые широко представлены на рынке, позволяют изготавливать простые неотчетливые детали. Однако если говорить о производстве запасных частей к газотурбинному агрегату, к двигателю, которые работают при больших температурах с разными режимами, необходимы различные специфические сплавы. Проведенный анализ рынка показал, что номенклатура производимых порошков недостаточно широка для покрытия всех производственных нужд.



Сергей Васильевич Майоров, председатель правления Машиностроительного кластера Республики Татарстан, поделился опытом системного решения проблемных вопросов на республиканском уровне.

В рамках Промышленного кластера Татарстана сформировалась индустриальная экосистема, в которую вошли предприятия из 9 стран и 37 субъектов РФ, где власть, бизнес и наука оперативно обозначают проблемы и приступают к их решению, создавая и реализуя совместные проекты.

Создание экосистемы началось не так давно: в 2022 году по решению стратегической сессии было создано 23 отраслевых комитета, куда входят руководители заводов, сотрудники министерств, Торгово-промышленной палаты Республики Татарстан и другие. Каждый из комитетов действует в режиме ежемесячной отчетности. На проведенной в августе 2024 года второй стратегической сессии собрались 517 участников из 18 регионов России и Республики Беларусь, которые обсуждали программу развития промышленности Республики Татарстан до 2035 года. Сегодня в республике запущено 178 проектов на 350 млрд рублей инвестиций, реализация которых позволит увеличить валовый региональный продукт.

Развитию аддитивных технологий в Республике Татарстан уделяют особое внимание. Действует Комитет аддитивных технологий, созданный ректором Казанского национального исследовательского технического университета имени А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ) Альбертом Гильмутдиновым. На базе Уральского завода гражданской авиации (УЗГА) создается центр аддитивных технологий. Существует уверенность, что он не только интегрируется в производство завода, но и станет точкой притяжения тех предприятий, которые в перспективе хотели бы осваивать новые аддитивные технологии. На пятом «Лидер-форуме» в Казани была представлена

продукция компании ZIAS Machinery — 3D-принтеры для печати литейных форм. За прошедший год она заключила контракты на поставку шести 3D-принтеров: пять принтеров для послойной печати песчаных литейных форм из песка и один принтер для печати полиметилметакрилатом (Polymethylmethacrylate — PMMA). За счет объединения усилий и хорошего знания рынка Республики Татарстан (где и какие 3D-принтеры установлены, какова специфика производства) для ядерного центра «Росатома» была выполнена уникальная отливка из алюминия весом полторы тонны. Таких отливок ранее не производилось. Реализуются проекты по импортозамещению для компании «Сибур». Освоены четыре новые отливки для уральских локомотивов под новый высокоскоростной подвижной состав. В Набережных Челнах работает компания «Воплощение», которая подписала с РЖД дорожную карту на внедрение 3D-принтеров собственного производства в железнодорожное депо для изготовления запасных частей для подвижного состава.

В завершение своего выступления Сергей Майоров обратился к собравшимся с предложением присоединиться к работе Комитета аддитивных технологий Республики Татарстан, потому что в этой экосистеме собираются лучшие компетенции, которые есть в России и других странах, для того чтобы создавать экспертное сообщество, развивать реальную кооперацию и реализовывать реальные проекты.



Василий Бойцов, заместитель генерального директора по инновационному и техническому развитию АО «Объединенная судостроительная корпорация» (ОСК), изложил видение руководства корпорации на развитие аддитивных технологий и согласился с предыдущими

докладчиками, что во многом проблематика, которая есть у ОСК в части внедрения аддитивных технологий, может быть решена путем создания базы данных.

ОСК тесно работает и с «Росатомом» по созданию кораблей, и с «Газпромом» по разработке различной морской техники. В ОСК выполняется газотурбинное производство и газотурбинный ремонт и имеются все технологии, обсуждаемые предыдущими ораторами. Но когда необходимо было исследовать новые материалы для кораблестроения, «Росатом» не мог передать данные аналогичного исследования ввиду отсутствия согласования с заказчиком. Работу, уже ранее выполненную в определенной степени, ОСК пришлось делать еще раз самостоятельно. Поэтому идея создания общей базы данных «категорически» поддерживается. Стоит вопрос соединения результатов для того, чтобы руководители и конструкторы понимали возможность и целесообразность применения соответствующих технологий.

Существует также понимание, что обсуждать внедрение аддитивных технологий без переобучения конструкторов невозможно. Поэтому ОСК запустила

образовательную программу на базе опорного вуза — Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. В Институте лазерных и сварочных технологий (ИЛИСТ), действующем в рамках университета, можно все пощупать руками, ознакомиться с образцами, эффективными решениями для различных отраслей.

Также докладчик отметил, что необходимо решение задачи под названием «регуляторный вакуум», связанной с органами технического надзора. Требуются непрерывные доказательства того, что проведены исследования, испытаны образцы, подтверждены физико-механические свойства полученных аддитивным образом деталей. ОСК завершила такую работу примерно два года назад, результаты позволяют провести достаточный предварительный анализ каждой детали для того, чтобы ответить на вопрос, имеет ли смысл изготавливать ее аддитивными методами. После завершения данной работы был отобран целый ряд узкоспециализированных деталей, производство которых аддитивными методами дало ошеломляющий экономический эффект. Речь идет о биметаллах, триметаллах, которые до этого соединялись методом взрыва, и результаты были малопредсказуемые, в брак уходило 80% изделий. А аддитивные технологии позволили увидеть очень хорошие результаты.

Василий Бойцов подчеркнул, что для руководителей предприятий важны финансы, скорость получения прибыли при гарантированном качественном результате, поэтому быстрые истории успеха от внедрения аддитивных технологий воодушевляют инженеров и конструкторов, дают почву для развития внутри компании.



Алина Болдырева, директор департамента маркетинга группы компании «Финвал», выделила три основные группы оборудования по сегменту машиностроения: токарная, фрезерная и шлифовальная. Активного спроса по аддитивному оборудованию компания не на-

блюдает, поскольку в приоритете для страны массовое производство. Предприятия привыкли к традиционным методам обработки, нет подготовленных специалистов в достаточном количестве, аддитивные установки все еще дороги и требовательны к материалам.

ГК «Финвал» имеет отдельный опыт создания направления по развитию аддитивных технологий в рамках холдинга с отдельной штатной структурой. Компания открыта для сотрудничества с российскими производителями аддитивного оборудования премиум-сегмента, есть готовность при проектировании новых производств закладывать российские бренды аддитивного оборудования.

Если обсуждать продвижение именно российских производителей, то требуется отметить, что им предпочтительнее работать с лидерами рынка, в этом случае происходит вхождение в ассортиментную матрицу компаний, которая уже имеет выход на целевых заказчиков. Разумно участвовать в выставках с партнерами,

что дает хороший результат с точки зрения получения целевых заказов на оборудование. Результативными являются публикации кейсов, на которые могут откликнуться предприятия с подобной задачей. Очень хорошо зарекомендовали себя семинары с демонстрацией оборудования, сотрудничество с лидерами отрасли не только в машиностроении, но и в других отраслях — со всеми, кто может быть целевым заказчиком.



Кирилл Ярцев, руководитель направления «Аддитивные технологии и сплавы» департамента технологических инноваций ПАО «ГМК «Норильский никель», был солидарен с ранее выступавшими, подтвердив, что в отрасли аддитивных технологий существуют две основные про-

блемы — это кадры и регуляторика.

«Норильский никель», как и «Газпром», является «эксплуатантом», не производит сам детали и машины. Соответственно, большинство агрегатов и узлов до недавнего времени обслуживали поставщики оборудования. Первое, что было сделано в компании, когда прекратилось обслуживание оборудования извне, — это создание центров реверс-инжиниринга на площадках, расположенных в Норильске, Мончегорске и Чите, где начался процесс 3D-сканирования необходимых для замены деталей, а также осуществлялось создания банка данных их цифровых моделей. После успешного запуска процесса 3D-сканирования необходимо было понять, что можно печатать, что — нет. Через выработанную матрицу критериев проанализировали закупки, выделив целый ряд деталей со значительным снижением себестоимости — от двух до пяти раз. С этого момента начался очень долгий процесс взаимодействия с регуляторными органами. Вероятно, если представители «Норникеля» будут действовать сообща с коллегами, движение пойдет быстрее.

Очевидно то, что в основных агрегатах — огромное количество деталей, которые можно не только заменить, но и изменить их конструктив за счет применения аддитивной технологии так, как это не может сделать машиностроение. После анализа ситуации руководство «Норильского никеля» созрело для создания своего центра аддитивных технологий в периметре компании.

Анализируя выступления, можно отметить, что практически каждый участник панельной дискуссии в своем выступлении касался сферы регуляторных требований, методов преодоления барьеров развития, считая создание базы данных действенной мерой по минимизации времени на согласование соответствия нормативным правилам. Ускоренные темпы продвижения аддитивных технологий, как и всех инновационных направлений развития, позволяют формировать необходимый стране промышленный спрос и дают импульс для роста рынка передовых технологий.

Владимир Сорокин



Промышленность печатает: аэрокосмическая отрасль

Одна из панельных сессий «Промышленность печатает: аэрокосмическая отрасль», проходившая в рамках масштабного мероприятия «Лидер-форум-2024», показала роль и направления развития аддитивных технологий в аэрокосмической отрасли, эффективные решения, которые способствовали появлению новых возможностей при создании сложной техники, а также барьеры для внедрения этих инновационных технологий в России.



Модератор сессии, заместитель генерального директора «НПО Энергомаш» Денис Пудков, начиная сессию, отметил, что рынок аддитивных технологий динамичен. То, что вчера было хайтеком и «последним словом», сегодня устаревает, и регулярные встречи специалистов отрасли

необходимы для того, чтобы «обсудить насущные вопросы, поделиться стратегическим видением, уравнивать планку понимания вопросов по тем или иным направлениям».

Он также констатировал, что по основным наработкам прошедшего года в различных отраслях все основные игроки находятся примерно на одном уровне внедрения технологий, активно работают над опытно-конструкторскими разработками (ОКР) и начинают выходить в серийное производство.



Михаил Бакрадзе, заместитель генерального директора АО «ОДК», подтвердил, что сегодня практически ни одна ОКР в двигателестроении не обходится без применения аддитивных технологий, которые обеспечивают новые возможности в любом направлении: от производства

малоразмерных двигателей, вертолетных двигателей до двигателей большой тяги. Также он отметил, что для успешного масштабирования и перехода к серийному производству необходимо не только разработать специальную нормативную базу, но и определить с отечественной технологической платформой для серийного производства.



Развил этот тезис в своем выступлении **Алексей Мазлов, генеральный директор АО «Центр аддитивных технологий» (АО «ЦАТ»)**. Он подчеркнул обновленную миссию компании — быть ведущим системным интегратором комплексных наукоемких решений в области исследова-

ний, разработок и серийного аддитивного производства для форсирования внедрения передовых 3D-технологий в авиационном двигателестроении и российской промышленности в целом.

Центр плотно работает с контуром ОДК в связке с ее десятью производственными площадками. ЦАТ является одной из крупнейших компаний по количеству промышленного аддитивного оборудования и применяемых материалов. Парк оборудования состоит из более чем 40 3D-принтеров и 55 единиц лабораторных установок. В центре представлены такие технологии 3D-печати, как SLM, SLS, DMD, FDM, SLA. В настоящий момент внедрены

Аэрокосмическая отрасль

Проект: жаровая труба малоразмерного ГТД

**Материал:** ВЖ-159.**Габариты изделия:** 400x400x300.**Количество одновременно синтезируемых деталей:** 1.**Время аддитивного производства:** 4,5 суток

Рис. 1. Из презентации АО «ЦАТ»

две системы менеджмента качества в соответствии с ГОСТ ISO 9001-2015, ГОСТ РВ-0015-002-2022, имеются лицензия Минпромторга на производство авиационной техники и аккредитация лаборатории. ЦАТ осуществляет свою деятельность в следующих направлениях: производство высокотехнологичной продукции, проведение научно-исследовательских работ, инжиниринговые услуги, лабораторные услуги, разработка нормативно-технической документации, обучение конструкторов, технологов и материаловедов.

Аэрокосмическая отрасль

Проект: элемент корпуса космического аппарата

**Материал:** RS-320 (AlSi10Mg).**Габариты изделия:** 170x100x100.**Количество одновременно синтезируемых деталей:** 6.**Время аддитивного производства:** 3,5 суток.

Рис. 2. Из презентации АО «ЦАТ»

Также Алексей Мазалов привел примеры внедрения аддитивных технологий при производстве деталей аэрокосмической отрасли: детали и сборочные единицы для турбовентиляторного двигателя ПД-8, а также жаровая труба малоразмерного газотурбинного двигателя (рис. 1), элемент корпуса космического аппарата (рис. 2) и другие.

Далее модератор поинтересовался стратегией развития АО «ЦАТ». Алексей Мазалов пояснил, что основное внимание уделяется созданию единой технологической платформы через сотрудничество как с отечественными

Таблица 1. Концепция работы АО «ЦАТ»

Конструкция

- Разработка методики оценки возможности, а также экономической и технологической целесообразности применения аддитивных технологий.
- Унификация программного обеспечения для моделирования и подготовки производства.
- Формирование единых подходов к организации испытаний опытных образцов и анализу получаемых в результате свойств.

Технология

- Унификация технологических режимов аддитивного производства на предприятиях ОДК с привязкой к конкретному оборудованию. Разработка единых цифровых технологических платформ, включая системы уведомления об изменениях.
- Разработка отраслевых технических условий на детали и сборочные единицы (ДСЕ) из группы материалов, полученных по одной технологии с учетом особенностей оборудования.
- Разработка единой базы данных ОДК, включающей реестр режимов синтеза, горячего изостатического прессования и термической обработки, минимальный уровень свойств, режимы постобработки.
- Разработка единых методик нормирования аддитивного производства.

- Унификация требований к методикам разрушающего и неразрушающего контроля ДСЕ.

Производство

- Выбор единой технологической платформы для каждой аддитивной технологии.
- Разработка единого подхода и методики к оценке аддитивного оборудования.

Материалы

- Унификация требований к металлпорошковым композициям (МПК) и методик контроля, включая нормализацию требований системы менеджмента качества.
- Унификация требований к новым производителям МПК, регламентация производства МПК, включая требования к шихтовым материалам.
- Регламентирование работы с оборотными МПК.
- Разработка серийных технологий переработки порошковых отходов аддитивного производства.
- Разработка PLM-модуля отслеживания жизненного цикла МПК.
- Разработка атласов типичных микроструктур с критериями годности синтезированных материалов.
- Разработка отраслевых классификаторов дефектов и норм.

разработчиками оборудования, так и с производителями из дружественных стран. Одним из ключевых барьеров развития отрасли является отсутствие полноценной нормативной документации, ЦАТ работает над этим вопросом. Стратегия включает активную работу по импортозамещению и импортоопережению в области материалов, программного обеспечения и оборудования. Важным направлением становится снижение себестоимости производства через оптимизацию накладных расходов и усиление кооперации с отечественными производителями и поставщиками материалов. Особое внимание уделяется популяризации аддитивных технологий. Уже проведена первая всероссийская конференция «ЦАТ Ростех: Барьеры и преодоление» и выпущен корпоративный журнал «Альманах аддитивщика». Развивается образовательная деятельность через собственный учебный центр, который работает как для внутренних потребностей (обучение специалистов ОДК и «Ростех»), так и для внешних партнеров.



Генеральный директор «Росатом Аддитивные технологии» («РосАТ») Илья Кавелашвили рассказал о развитии аддитивных технологий в госкорпорации «Росатом». Уже семь лет более 30 предприятий госкорпорации в этом направлении вовлечены в разработку оборудования, материалов и технологий.

В центре «РосАТ» в Москве установлено семь 3D-принтеров по металлу, к концу года планируется добавить еще два. В 2024 году изготовлено десять SLM-3D-принтеров RusMelt 300M, в 2025 году планируется серийное производство большого принтера RusMelt 600M. В области материаловедения достигнут значительный прогресс: НПО «Центротех» производит 20 тонн нержавеющей порошка в год, запущено производство титанового порошка на Чепецком механическом заводе

(ЧМЗ), на ЧМЗ планируется запуск двух новых установок для получения и титанового порошка, и порошка из жаропрочных сплавов.

Кавелашвили подчеркнул, что помимо основных преимуществ технологии: сокращения экономической цепочки, лучшей экономической эффективности, экономии материалов и роста производительности — особо важна привлекательность АТ для молодых специалистов, которые уже знакомы с 3D-принтерами со школьной и студенческой скамьи. Основным вызовом остается необходимость доказать безопасность деталей, изготовленных аддитивными методами, для их внедрения в атомную промышленность. В связи с этим в госкорпорации «Росатом» большое внимание уделяется вопросам стандартизации. «РосАТ» — активный участник работы 182-го комитета (рис. 3). Стандарты — это та основа, которая показывает, что аддитивка — не пустые слова, а нормативные технологии.

Для продвижения аддитивных технологий в атомной отрасли создана специальная группа из 60 специалистов под контролем генерального директора госкорпорации «Росатом» Алексея Лихачева. Уже отобрано 124 детали для перевода на аддитивные технологии. Особое внимание уделяется кадровому вопросу. «Росатом» развивает на базе ведущих учебных заведений сеть центров аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД), где специалисты могут на практике познакомиться с технологией и оценить преимущества 3D-печати до приобретения оборудования и организации аддитивного производства на своих площадках. Центры работают в связке с вузами, организуя проведение НИОКР, обучение студентов и дополнительное профессиональное образование.

Кавелашвили отметил, что внедрение аддитивных технологий в атомную отрасль — долгосрочный процесс. Если для деталей четвертого класса безопасности решение ожидается к 2027 году, то для полного внедрения потребуется 7–8 лет с учетом реакторных испытаний.

В ходе дискуссии о будущем аддитивных технологий Илья Кавелашвили и Денис Пудков обсудили перспективы массового внедрения 3D-печати. Эксперты сошлись во

Ведущие разработчики национальных стандартов



Рис. 3. Из презентации «РосАТ»

Вертолет Ми-171А3



Рис. 4. Из презентации АО «НЦВ Миль и Камов»

мнении, что массовое внедрение аддитивных технологий в гражданской промышленности станет ключом к их более широкому применению. Это позволит снизить стоимость технологий и упростить регуляторные вопросы.



Александра Семенцова, заместитель главного конструктора по аддитивным технологиям АО «НЦВ Миль и Камов», в свою очередь, рассказала о внедрении 3D-печати в вертолетостроении.

Холдинг «Вертолеты России», разрабатывающий вертолеты марки «Ми» и «Ка», начал применять аддитивные технологии в 2019 году. За пять лет было разработано 180 наименований деталей для четырех вертолетов, из которых 48 уже переведены в серийное производство. На один вертолет сейчас приходится около 112 аддитивных деталей.

Для внедрения использовали две технологии: селективное лазерное сплавление (близкое к литью) и селективное лазерное спекание для пластиков. Для пилотного внедрения был выбран новый вертолет Ми-171А3, разработчики которого были заинтересованы в переводе части литейного производства на аддитивное и применении современных материалов. В 2019 году научно-технический задел по внедрению АТ уже существовал, поэтому опыт коллег из ВИАМ и ОДК, которые взяли на себя процесс изготовления деталей, позволил разработчикам сфокусироваться на проектировании. В рамках НИР была разработана конструкторская нормативная документация, проведены испытания стендовых изолированных деталей, в рамках ОКР в составе фюзеляжей проведены летные испы-

тания. Таким образом, кроме такого технического эффекта на определенных деталях, как снижение массы от 15 до 30% (в некоторых случаях 60%), был получен опыт применения данной технологии в серийном производстве.

Среди отработанных в холдинге деталей, которые в ближайшее время будут введены в серийное производство, кронштейны крепления капотов, кронштейн носового обтекателя, кронштейны крепления качалок (рис. 4). Это не основные детали, поскольку еще не пройден цикл ресурсных испытаний, но работа идет. Есть также заинтересованность в применении печати пластиковых изделий для систем кондиционирования воздуха для холодной и горячей зон (рабочая температура горячей зоны до 230°C).

Также Александра Семенцова рассказала о планах внедрения электронно-лучевой сварки (EBM) для ремонта вертолетов. В частности, с помощью 3D-печати рассматривается возможность быстрой замены поврежденных сегментов шпангоутов.

Александра Семенцова поддержала коллег, отметивших важность единой отечественной технологической платформы, на которой создается научно-технический задел. Это позволит продолжать уверенное развитие направления без учета текущей политической ситуации.



Ректор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) Глеб Туричин отметил как основной барьер для развития АТ — размер российского рынка. И в таких встречах, как «Лидер-форум», по мнению докладчика, как раз и кро-

ется возможность его преодоления — межотраслевой трансфер технологий. Как бы научно это ни звучало, но по факту, когда разные отрасли работают вместе, это позволяет увеличивать рынок. Решение, которое подходит для авиационного мотора, уже может применяться в космической технике. Чуть-чуть меняется габарит и материал, но основная база переходит. И здесь очень важно, чтобы открытый, связанный между отраслями режим работы сохранялся. Ведь традиционно промышленность в СССР, в России была построена вокруг вертикальных интегрированных продуктовых цепочек, и в прежние времена производители танков и самолетов имели свои материаловедческие центры, которые делали примерно одно и то же, но независимо друг от друга. На примере своего университета Глеб Туричин сообщил, что им приходится выполнять проекты для аэрокосмической, атомной, железнодорожной, автомобилестроительной и других отраслей. И аддитивные технологии востребованы везде.

Из новых достижений СПбГМТУ докладчик отметил качественное выращивание по технологии DMD (прямое лазерное выращивание) изделий из алюминиевых сплавов, причем не только специальных под АТ, но и традиционных, которые использовались еще в космической технике времен С.П. Королёва. Второй спектр материалов для АТ — бронзы. Изначально предполагалось, что решением является DMD-машина с излучением видимого диапазона, но дальнейшие эксперименты показали, что возможно применять машины с источником, где в одном волокне совмещено излучение видимого и инфракрасного диапазона, и даже стандартные машины с инфракрасным лазером позволяют достичь приличных результатов с немного худшей точностью.

Также достижением является постоянный рост габаритов изделий. Уже был представлен успешный опыт применения установок с возможностью печати изделий размером 3–3,5 метра, новое решение позволит печатать крупногабаритное изделие в форме алюминиевой конструкции с ребрами размером

4,5 метра. Решение для создания конструкций размером более 4 метров возможно с применением роботизированной оснастки и цанги сложной формы. Это позволяет поддерживать форму изделия при выращивании и предотвращать деформацию под собственным весом после снятия с рабочего стола.

Следующая новость — рост производительности. Уже достигнута производительность 4 килограмма материала с одной головки, планируется увеличение до 5 килограмм, что вдвое сократит время выращивания самого большого кольца выгородки реактора ВВЭР. При этом выполняются высокие требования к качеству — изделия получаются беспористыми, с хорошей механической структурой. Помимо усовершенствования головок рост производительности достигается за счет количества лазерных источников. Уже совместно с госкорпорацией «Росатом» создана машина с двумя лазерами, следующий шаг — создание DMD-машины с 12 лазерами.

Интересная возможность для аэрокосмоса — освоено выращивание с помощью DMD-технологии металлических композитов, включая слоистый титановый композит, который одновременно получается и вязким, и твердым.

Красивая демонстрация возможностей представлена на рис. 5. На испытаниях находится выращенный корпус турбины высокого давления для газотурбинного авиадвигателя сверхбольшой тяги ПД-35.

Также Глеб Туричин обозначил острые проблемы подготовки специалистов в области аддитивных технологий. По его мнению, в России всего порядка пяти вузов способны качественно готовить специалистов по аддитивным технологиям, имея практический опыт в данной сфере, в то время как многие другие образовательные учреждения ограничиваются базовым оборудованием и поверхностной подготовкой.

Ключевой проблемой является несоответствие зарплат в госкорпорациях рыночным условиям. Специалисты-аддитивщики, владеющие программированием и опытом работы со сложным оборудованием, часто могут получать больше в других сферах, и даже на курьерских достав-

ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРПУСА ТУРБИНЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВИАДВИГАТЕЛЯ СВЕРХБОЛЬШОЙ ТЯГИ ПД-35

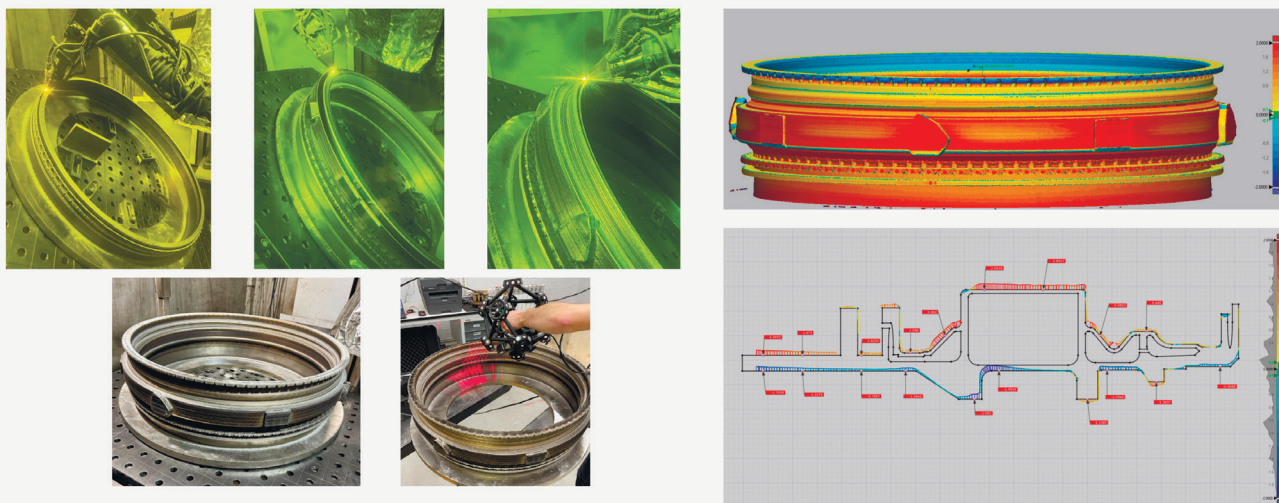


Рис. 5. Презентация СПбГМТУ

ках. Ситуацию усугубляют региональные коэффициенты зарплат, делающие работу в высокотехнологичном секторе неконкурентоспособной. Туричин подчеркнул, что для решения этой системной проблемы требуется вмешательство на государственном уровне. Необходимо создать условия, при которых молодые специалисты будут оставаться в высокотехнологичных отраслях, несмотря на существующие экономические ограничения.



Профессор Пермского Политеха (ПНИПУ) Дмитрий Трушников представил достижения ПНИПУ и компании xWeld в области выращивания крупногабаритных заготовок методом плазменной наплавки проволоочных материалов под последующую механообработку. Метод, реализованный на оборудовании собственной разработки,

позволяет значительно снизить временные и материальные затраты. Одним из наиболее успешных проектов стало создание титанового обтекателя габаритом 1 метр. Пока под изделие производились штампы, материалоемкость которых, кстати, составляет 160 тонн, методом наплавки было изготовлено 12 заготовок для наземных испытаний и три — для летной лаборатории, которые позволили испытать двигатель в рамках летной сертификации. Среди других востребованных применений — производство технологической оснастки, реверс-инжиниринг и др.

Кроме того, в университете разрабатываются совместно с «Росатомом» компактные 3D-принтеры с рабочей областью более 700 миллиметров, портальное оборудование с функциями наплавки и механообработки, а также роботизированные комплексы.

Одна из задач, которая стоит перед компанией, — повышение технологичности. Недостаток проволоочной технологии — большие припуски заготовки, недоступ-

ность материалов (некоторые материалы тяжело изготавливать в виде проволоки). В связи с этим одно из новых направлений для развития — наплавка проволокой и прутками больших диаметров (более 3 мм), которые доступны на рынке. Ученые работают с магниевыми, алюминиевыми и титановыми сплавами, используя прутки диаметром до 4–5 миллиметров, что существенно удешевляет производство.

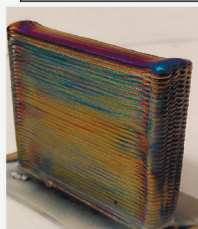
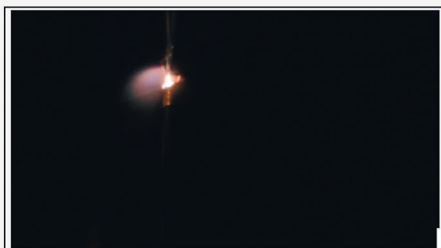
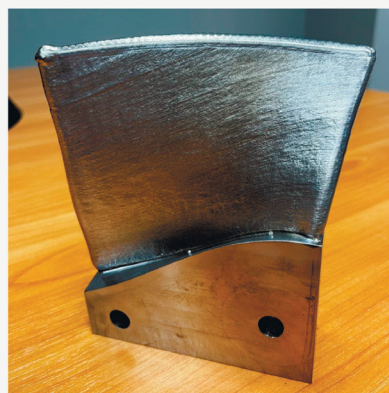
Особое внимание в ПНИПУ уделяется лазерной проволоочной наплавке с управляемым переносом металла. Технология позволяет использовать 100% материала при формировании сварочной ванны и отличается автономностью работы благодаря адаптивной системе управления. То, что процесс осуществляется в неглубоком вакууме, является преимуществом. Вакуум — самый дешевый способ химической защиты, в котором обеспечивают дополнительные эффекты, связанные с дегазацией материала, пониженным тепловым влиянием. И в этом процессе получается обеспечить хорошее качество изделий, сравнимое с качеством поковок в вертикальном направлении. Неглубокая же термическая обработка в виде отпуска позволяет довести и циклические характеристики до уровня поковок в горизонтальном и вертикальном направлении (рис. 6) и использовать эту технологию, например, для ремонта блисков испорченных лопаток.

В обсуждении взаимодействия вузов и промышленности Дмитрий Трушников поднял вопрос о ключевой проблеме в подготовке специалистов: вузы получают запросы на подготовку специалистов в области аддитивных технологий, однако предприятия часто не готовы принимать выпускников в необходимом количестве. В качестве примера он привел ситуацию в техникуме, где специальность «оператор аддитивного производства» была закрыта из-за отсутствия спроса от предприятий.

Альберт Гильмутдинов, помощник президента Республики Татарстан, выступил с докладом о революционном влиянии аддитивных технологий на промышленность. Он подчеркнул, что сочетание цифровых и ад-

Механические характеристики выращенных изделий

BT6



№	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
Материал в состоянии наплавки				
Л-1.1-1	984	884	12,9	29,0
Л-1.1-2	971	880	12	15,7
Л-1.1-3	953	850	13,3	26,5
Материал после ТО				
Л-1.2-1	912	824	22,0	28,4
Л-1.2-2	923	830	17,0	23,9
Л-1.2-3	924	838	14,1	18,9

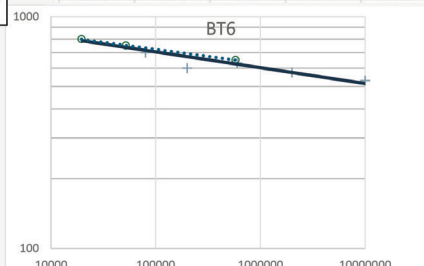


Рис. 6. Презентация ПНИПУ



дитивных технологий создает основу нового промышленного уклада, позволяя материализовать цифровые копии изделий.

Для иллюстрации потенциала технологий Гильмутдинов привел два ярких примера из космической отрасли. Первый — двигатель «Раптор

3» компании SpaceX, созданный с использованием аддитивных технологий и уже серийно применяемый в многоразовых космических полетах. По сравнению с предыдущей версией («Раптор 1») он стал в два раза легче (1,6 тонны вместо 3,6) и в полтора раза мощнее (более 185 тонн тяги).

Второй пример — запуск компанией Relativity Space ракеты Terran 1, на 85% созданной с помощью 3D-печати. Ракета при общей неудаче полета тем не менее достигла космической высоты в 175 километров. По сравнению с классической технологией, где требуется более ста тысяч узлов, аддитивная технология позволила сократить количество узлов до менее тысячи. При этом время создания ракеты сократилось с двух лет до двух месяцев. По словам Гильмутдинова, эти технологии позволяют существенно улучшить характеристики изделий при значительно меньших временных и финансовых затратах.

Особое внимание докладчиком было уделено масштабному внедрению аддитивных технологий в Китае. В частной компании Wepnext функционирует цех с 508 машинами, работающими круглосуточно, плюс два дополнительных цеха по 100 машин. Это тот уровень, к которому следует стремиться. Гильмутдинов подчеркнул, что создание центров с 2–3 машинами недостаточно для достижения технологического лидерства в XXI веке. Развитие аддитивных технологий является жизненно необходимым направлением для развития промышленности.

Денис Пудков, комментируя выступление, отметил готовность предприятий как к собственным разработкам, так и к выполнению заказов других компаний. В работе предприятий «Роскосмоса» и ОДК начал меняться подход: вместо изучения конструкции теперь акцент делается на функции изделий. Важным изменением стало включение цены в техническое задание — раньше внимание уделялось только техническим показателям, теперь учитывается экономическая эффективность.



Юрий Будкин, советник генерального директора Института стандартизации, подчеркнул необходимость новых подходов к стандартизации в области аддитивных и цифровых технологий. Институт стандартизации, которому в 2024 году исполнилось 100 лет, занимается ведением

федерального информационного фонда стандартов, включающего около 50 тысяч документов, причем все они переведены в цифровой формат. Изменения, поправки, дополнения вносятся в ежедневном режиме в тот первоисточник, который находится в институте. И сегодня имеется возможность на запросы показывать не стандарт, а требования, содержащиеся в этом стандарте (рис. 7).

Также докладчиком была представлена добровольная система сертификации — экспериментальная цифровая платформа сертификации материалов и изделий, основанная на передовых производственных технологиях.

Платформа имеет полный цикл сервисов: от приема заявок до создания протоколов испытаний, включая идентификацию свойств материалов и настройку виртуальных испытательных стендов. И есть понимание, что благодаря им при создании новых материалов для ответственных конструкций возможно осуществлять



Рис. 7. Презентация Института стандартизации

виртуальные испытания, закладывая в численное моделирование свойства материалов и собирая псевдослучайные свойства поведения этих материалов в условиях эксплуатации. Вся система стандартов на цифровые модели и виртуальные испытания цифровых моделей разработана впервые в мире. Платформа интегрирована с федеральной информационной системой стандартов, что обеспечивает мгновенное обновление нормативных требований.

В 2023 году были введены в действие 10 новых стандартов в области цифровизации, включая 9 по цифровым моделям и один по виртуальным испытаниям, что подтверждает масштаб внедрения.

Данные прорывные решения стали возможны при тесном сотрудничестве с партнерами, среди которых «Техномаш», «ЦНИИТМАШ», «Санкт-Петербургский политехнический университет».



Виктор Орлов, генеральный директор ЦНИИТМАШ, представил ключевые направления развития аддитивных технологий в корпорации «Росатом». Он подчеркнул, что сегодня организация фокусируется на трех основных

задачах: подготовке кадров, развитии нормотворчества и системы оценки соответствия.

ЦНИИТМАШ как головная организация «Росатома» по аддитивным технологиям разрабатывает пилотные образцы 3D-принтеров и занимается материаловедением. Предприятие успешно работает с широким спектром материалов, включая нержавеющую сталь, титан, высоколегированные стали и неметаллические порошки, в частности карбид кремния, который теперь можно печатать методом SLM, причем без добавления связующих веществ.

По мнению докладчика, в стране необходимо развивать собственную аппаратную базу, несмотря на наличие дружественных партнеров; создавать и использовать оборудование с системами контроля, чтобы обеспечивать качество при серийном производстве; осуществлять межотраслевой подход к развитию АТ. В «Росатоме» для этого созданы все условия: есть виртуальный принтер, необходимое программное обеспечение, опыт для того, чтобы оборудование не просто печатало, а имело полноценную обратную связь с возможностью корректировки процесса. Например, созданная в ЦНИИТМАШ двухлазерная машина имеет контролируемый подогрев рабочей зоны до 800 градусов, базируется на отечественной компонентной базе и отечественном ПО, может быть интегрирована в любую локальную защищенную сеть (нет необходимости подключения к интернету).

Денис Пудков поддержал тот тезис, что внедрение систем искусственного интеллекта в аддитивное производство становится необходимостью. Это обусловлено невозможностью постоянного мониторинга оборудования операторами 24/7. Требуются системы машинного зре-

ния, оптические и другие виды датчиков для контроля и корректировки процесса печати. Важно, чтобы разрабатываемые решения могли масштабироваться и адаптироваться для оборудования различных производителей.



Заключительный доклад представила **Алла Логачева, начальник отделения металлических материалов и металлургических технологий, представитель АО «Композит»** — головной научно-исследовательской организации «Роскосмоса» и официального Центра компетенций по аддитивным технологиям.

По ее словам, ЦКАТ предприятия, которому исполнилось три года, активно взаимодействует с различными отраслями, в т.ч. участвует в разработке виртуального принтера, занимается сложными материалами, включая сплав PC 320. Особое внимание в центре уделяется ускорению паспортизации материалов и снижению стоимости испытаний через кооперацию организаций. Важным направлением стала совместная работа с «Росатомом» и ЦНИИТМАШ по нормативной базе. Такая совместная работа предприятий различных отраслей, по мнению докладчика, позволяет решать проблемы и задачи эффективнее и быстрее.

Завершая дискуссию, Денис Пудков отметил продуктивность сессии, где были обсуждены ключевые вопросы развития отрасли. Участники обменялись опытом и наработками в области аддитивных технологий, обсудили вопросы стандартизации и внедрения новых материалов. В ходе дискуссии были подняты важнейшие аспекты развития отрасли: роль кооперации между организациями и оптимизации затрат на испытания, значимость межотраслевого взаимодействия для ускорения технологического прогресса, вопросы стандартизации и паспортизации материалов, а также необходимость внедрения искусственного интеллекта в аддитивное производство.

Одним из предметов обсуждения по-прежнему остается проблема подготовки кадров в сфере аддитивных технологий, которая заключается в системном разрыве между качеством профессиональной подготовки и экономической привлекательностью данной сферы.

Насущной проблемой развития аддитивных технологий в аэрокосмической отрасли на сегодняшний день также является отсутствие единой отечественной технологической платформы для серийного производства. Эта проблема носит комплексный характер и требует не только разработки специальной нормативной базы, но и налаживания эффективного сотрудничества с отечественными производителями оборудования.

Дискуссия подчеркнула, что только через объединение усилий различных отраслей возможно достичь значительного прогресса в развитии аддитивных технологий и найти эффективные решения существующих задач.

Иван Жоглов

Технология MBJ для получения ступеней погружных электроцентробежных насосов

П.А. Киселев, учредитель ООО «Научно-производственное объединение «Керамет» (ООО «НПО «Керамет»)

С.Ю. Нагавкин, управляющий директор ООО «Керамет порошковая металлургия — Насосное производство» (ООО «КПМ-НП»)

Т.Ю. Поздеева, к.т.н, инженер-исследователь ООО «Научно-производственное объединение «Керамет» (ООО «НПО «Керамет»)

А.Л. Андреев, технический директор ООО «Научно-производственное объединение «Керамет» (ООО «НПО «Керамет»)

Современные технологии аддитивного производства открывают новые горизонты в различных отраслях, включая машиностроение и разработку насосного оборудования. Одним из перспективных направлений является технология струйного нанесения связующего Metal Binder Jetting (MBJ), позволяющая производить металлические детали с высокой точностью и сложной геометрией. В данной статье будет рассмотрено применение MBJ для изготовления ступеней погружных электроцентробежных насосов (ЭЦН), а также особенности данной технологии.

Стоит отметить, что сравнение MBJ с другими технологиями производства по технико-экономическим критериям позволяет сделать вывод о том, что MBJ обладает самыми оптимальными параметрами при внедрении в серийное производство ступеней погружных электроцентробежных насосов (ЭЦН) — табл. 1.

Принцип технологии Metal Binder Jetting

Технология MBJ основана на послойном нанесении металлического порошка, который связывается с помощью специального жидкого связующего агента. В начале печати на платформу наносят тонкий слой порошка, на который распыляется связующее

вещество, которое склеивает его частицы. После этого происходит повторное нанесение слоя порошка, и процесс повторяется, пока не будет сформирована деталь. После завершения печати следует удаление связующего и спекание, в результате чего получается прочное металлическое изделие с высокими физико-механическими свойствами [1–2].

Преимущества применения MBJ в производстве ступеней ЭЦН

Сложная геометрия и оптимизация гидравлических характеристик. Одним из главных преимуществ MBJ является возможность создания деталей высокой сложности. Оптимизация гидравлических

Таблица 1. Сравнение технологии MBJ с другими серийными технологиями производства ступеней ЭЦН

Параметры	Струйное нанесение связующего (MBJ)	Селективное лазерное спекание (SLS)	Порошковая металлургия (ПМ)	Литье по выплавляемым моделям (ЛВМ)	MIM
Себестоимость	Низкая	Высокая	Низкая	Средняя	Средняя
Производительность	Высокая	Низкая	Высокая	Средняя	Высокая
Качество (шероховатость, механические свойства)	Высокое	Среднее	Высокое	Среднее	Высокое
Автоматизация	Высокая	Средняя	Высокая	Низкая	Высокая
Возможность получения лопаток двойной кривизны	Да, + не требует поддержек	Требуются поддержки и доп. обработка	Нет	Да, необходимо в 3 раза больше операций	Нет

характеристик может повысить эффективность работы насоса. Например, возможна печать высокоэффективных рабочих ступеней с направляющими аппаратами радиального типа, состоящих из одной детали, а не из трех, как в стандартной технологии. Можно создать сложные внутренние каналы, которые увеличат эффективность потока и снизят потери энергии. Это может привести к повышению КПД насосов и снижению эксплуатационных расходов.

Снижение массы. Оптимизация конструкции ступеней снижает их вес, что актуально для погружных насосов, которые работают на больших глубинах, где каждая единица массы может влиять на эффективность работы и устойчивость оборудования.

Экономия материалов. Порошковый материал используется более эффективно по сравнению с традиционными методами обработки такими — как литье по выплавляемым моделям или порошковая металлургия.

Снижение производственных затрат. Совмещение процессов проектирования и производства в одной технологии сокращает время и затраты на разработку новых моделей насосов. Быстрое прототипирование позволяет тестировать и оценивать различные конструкции ступеней, что способствует более гибкому подходу в разработке.

Кастомизация. Быстрая адаптация конфигурации под требования клиентов и высокая степень детализации делает MBJ идеальным решением для специализированных насосных систем, где стандартные решения могут быть неэффективными.

Устойчивость к коррозии. Некоторые производители уже начали экспериментировать с новыми сплавами, которые могут быть использованы в MBJ для повышения коррозионной стойкости ступеней. Это особенно важно для насосов, работающих в агрессивных средах [3–4].

Практическое внедрение MBJ в производство

На базе ООО «Керамет порошковая металлургия — Насосное производство» (ООО «КПМ-НП», г. Пермь), запущено опытное производство ступеней ЭЦН с использованием MBJ с целью замены технологии ЛВМ из легированного чугуна (нирезиста). При замене технологии происходит сокращение операций в два раза.

Благодаря проведению НИОКР и многостадийному процессу отработки технологии были получены ступени погружных электроцентробежных насосов (ТУ 28.13.14-006-38914042-2017) на 3D-принтере Easy MFG 500 Max (Китай, рис. 1).

Вместимость бункера 3D-принтера за один режим позволяет напечатать рабочих колес —



Рис. 1. 3D-печать ступеней насосов

560 шт. или направляющих аппаратов — 180 изделий. Настраиваемые режимы печати: толщина слоя — 0,04 мм, скорость печати слоя — 17 сек, мощность установки — 2500 комплектов в месяц.

Спекание проводили в электропечи толкательного типа в восстановительной атмосфере при 1400°C из нержавеющей сталей 304L и 316L. На рис. 2 приведено фото спеченных рабочих колес и направляющих аппаратов, полученных по MBJ-технологии.

По результатам исследований физико-механических и структурных характеристик серии полученных изделий и стандартных образцов установлен следующий уровень свойств: плотность (ρ) 7,5–7,7 г/см³, относительная плотность ($\rho_{\text{отн}}$) 95–97%, твердость (HRB): 70–92, предел прочности на разрыв (σ) до 470 МПа, линейная усадка до 15%.

Стоит отметить, что усадку изделий требуется учитывать еще на этапе построения CAD-модели конечного изделия до его печати и загрузки в ПО принтера. В проводимой работе использовали программы Materialise Magics и САПР «Компас 3D».

Получаемая микроструктура спеченных деталей представляет собой структуру, характерную для аустенитных сталей (рис. 3).



Рис. 2. Рабочее колесо и направляющий аппарат для ступеней ЭЦН, выполненные по MBJ-технологии

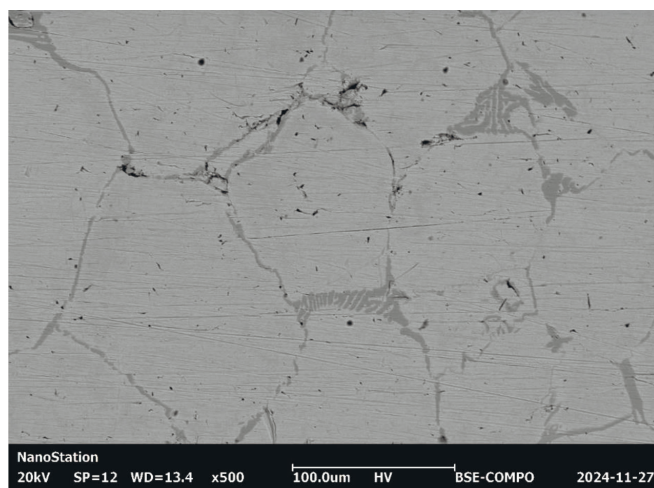


Рис. 3. Микроструктура спеченных MBJ-изделий из нержавеющей стали 316L

Заключение

MBJ позволяет создавать детали с высокой сложностью, оптимизировать их конструкцию и снижать затраты на производство. Однако для широкого внедрения необходимо преодолеть ряд вызовов, связанных с выбором материалов, качеством поверхности и требованиями к сертификации.

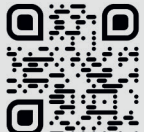
Проблемы с сертификацией связаны с тем, что требуется соответствие строгим стандартам качества и безопасности, что может быть сложным на этапе внедрения новой технологии.

Несмотря на сложности, MBJ представляет собой многообещающий перспективный инструмент для производства ступеней погружных ЭЦН. С развитием технологий аддитивного производства можно ожидать, что технология струйного нанесения связующего станет стандартом в производстве насосного оборудования, способствуя созданию более эффективных, надежных и адаптированных к специфическим требованиям решений.

В конечном итоге это может привести к значительному улучшению общей производительности насосных систем и снижению их эксплуатационных расходов, что будет выгодно как производителям, так и конечным пользователям. ■

Литература

1. Jayawardane H., Davies I.J., Gamage J.R. et al. Investigating the 'techno-eco-efficiency' performance of pump impellers: metal 3D printing vs CNC machining. *Int J Adv Manuf Technol.* 2022. 121 P. 6811–6836.
2. Kandukuri S.Y., Ponfoort O. Additive Manufacturing for oil, gas and maritime: An evaluation of capabilities and potential / *Metal Additive Manufacturing.* 2022. V. 8. № 2. P. 137–143.
3. Priyanka G., Varaprasada Rao Dr. M. Design and Additive Manufacturing of Pump Impeller using 3D Printing Technology // *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology* // 2018. V. 4. Iss. 1. P. 687–692.
4. Powder Metallurgy and Additive Manufacturing for Compressors and Pumps: A New Manufacturing Paradigm for Corrosion and Heat Resistant Alloys / P. Stella, F. Ceccanti, F. Cappuccini, M. Bellacci, S. Kemble, D. Vincenzo Biccari, G. Masi // *ADIPEC. Abu Dhabi.* 2022. SPE-211141-MS.

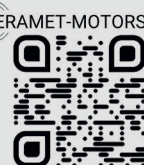


keramet-perm@mail.ru

КЕРАМЕТ

**Композиционные порошковые материалы
– насосное производство**

+7 (499) 271-71-23
Пн.-пт.: с 7:00 до 16:00 (мск)



ВЫПУСКАЕМАЯ ПРОДУКЦИЯ

- Рабочие ступени электроцентробежных насосов (ЭЦН)
- Детали и зап. части для бензо- и электроинструмента
- Опорные подшипники с полимерными покрытиями
- Рабочие части торцевых уплотнений
- Фильтры металлокерамические
- Электроцентробежные насосы
- Концевые детали насосов

УСЛУГИ

- Проектирование насосной техники
- Порошковая металлургия
- Термическая обработка
- Программные продукты
- Литейное производство
- Научные исследования
- 3D-печать металлом
- Металлообработка

НАШИ ПАРТНЕРЫ
















- Высокогерметичные насосы для химической промышленности
- Притирочные станки для финишной обработки поверхностей
- Погружные, полупогружные, горизонтальные, магистральные насосы промышленного применения
- Полнокомплектные установки УЭЦН
- Насосы подачи СОЖ станков с ЧПУ
- Доводочные бабки

Фрезерная обработка деталей, изготовленных методом FDM-печати

А.М. Зайцев, к.т.н., заместитель технического директора завода по подготовке производства ПАО РКК «Энергия»; alexey.zaitsev@rsce.ru

С.Ю. Шачнев, к.т.н., заместитель генерального директора по производству и техническому развитию, директор завода ПАО РКК «Энергия»

А.Н. Гудков, инженер-конструктор II категории ПАО РКК «Энергия»; andrey.gudkov3@rsce.ru

В статье исследуется влияние режимов резания на качество поверхности, полученной деталей, заготовки для которых получены методом FDM-печати. Приведены данные экспериментального исследования с использованием различных параметров резания. Установлены оптимальные режимы обработки, обеспечивающие наилучшее качество поверхности. Результаты работы актуальны при проектировании технологических процессов гибридного производства.

Введение

Современные аддитивные технологии, в частности 3D-печать полимерных материалов, открывают новые возможности для авиационной, ракетно-космической и других отраслей, где критически важен быстрый цикл разработки прототипов и технологической оснастки. Однако заготовки, полученные методом FDM-печати, часто требуют последующей механической обработки для достижения необходимых заданных допусков размеров и шероховатости поверхности. Неоптимальные параметры обработки могут привести к различным дефектам (расслоения, термические деформации). Также необходимо учитывать особенности механической обработки термопластов: направление армирования материала, образование заусенцев и оплавление материала, упругость пластика.

Цель работы заключается в экспериментальной проверке выбора режимов механической обработки для 3D-печатных пластиковых деталей, установлении зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности от режимов фрезерования.

План эксперимента и исходные данные

В качестве опытных образцов для последующей механической обработки были выбраны пластины из материала PETG габаритом 200×80×5 мм (рис. 1)

Полиэтилентерефталат-гликоль (PETG) за счет своих механических и технологических свойств является одним из распространенных термопластов [1], широко используется для исследуемой ниже FDM-печати [2]. Для проведения эксперимента был выбран вертикально-фрезерный обрабатывающий центр

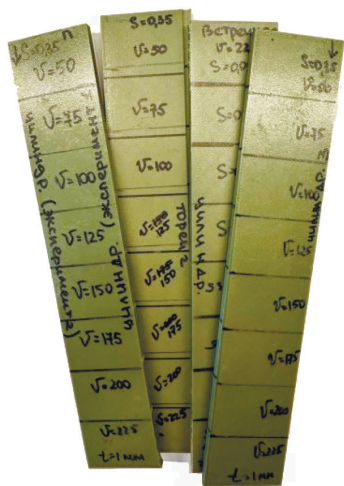
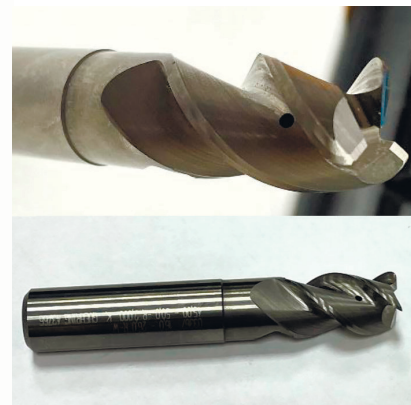


Рис. 1. Пластины для эксперимента из PETG-пластика



Рис. 2. Обрабатывающий центр и режущий инструмент



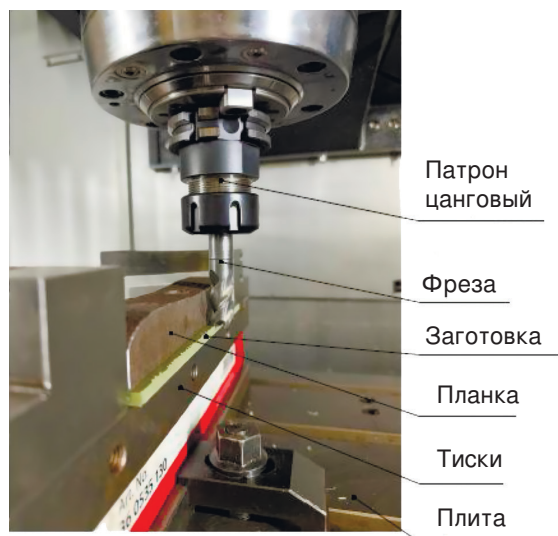


Рис. 3. Схема фрезерования торцом фрезы



Рис. 4. Схема фрезерования периферией фрезы

LK Machinery VM-2 (макс. частота вращения шпинделя 12000 об/мин), а в качестве режущего инструмента использовалась концевая фреза Guhring для обработки алюминиевых сплавов (рис. 2), так как рекомендуется использовать твердые износостойкие инструменты с большими задними углами, а скорости резания должны быть такими, чтобы деталь не плавилась от тепла, выделяющегося при трении [3].

Для проведения эксперимента были выбраны две схемы фрезерования плоскости образцов: торцом фрезы (рис. 3) и периферией фрезы (рис. 4).

Проведение эксперимента и фиксирование результата

Фрезерование периферией фрезы

Для экспериментальной проверки режимов резания были приняты следующие шаги варьирования режимов:

- скорость резания: 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 м/мин;
- подача на зуб: 0.05, 0.15, 0.25, 0.35 мм/зуб;
- глубина резания: 5.0 мм.

При данных значениях режимов удалось рассмотреть их влияние на шероховатость и возникновение дефектов

для заданного диапазона с минимизацией количества опытов.

Для проведения исследования пластина была расчерчена на 8 равных частей по 25 мм (рис. 5). При помощи программы за один проход периферией фрезы (рис. 6) происходит фрезерование при восьми режимах. Ширина снимаемого слоя составила 4 мм.

Длина обрабатываемой поверхности составляет 25 мм. Исследования проводились для попутного и встречного фрезерования. В первой части работы была принята максимальная скорость резания с изменением подачи. Результаты обработки приведены в таблице 1.

По результатам таблицы 1 был составлен график (рис. 7) зависимости шероховатости от подачи при фрезеровании периферией фрезы.

По результатам эксперимента видно, что режим с попутным направлением и подачей 0.35 мм/зуб обеспечивает наилучшую шероховатость поверхности. В ходе дальнейшей работы была определена зависимость шероховатости от скорости резания при постоянной подаче. Результаты работ приведены в таблице 2.

По результатам таблицы 2 был составлен график зависимости шероховатости поверхности от скорости резания при фрезеровании периферией фрезы (рис. 8).

Таблица 1. Результаты влияния подачи и направления фрезерования на шероховатость поверхности

№	t, мм	V, м/мин	Sz, мм/зуб	Ra, мкм	Заусенцы	Оплавление	Расслоение	Направление
1.1	5.0	225	0.05	4.842	+	+	–	Попутное
1.2	5.0	225	0.15	2.201	–	–	–	Попутное
1.3	5.0	225	0.25	0.686	–	–	–	Попутное
1.4	5.0	225	0.35	0.574	–	–	–	Попутное
2.1	5.0	225	0.05	2.994	+	+	–	Встречное
2.2	5.0	225	0.15	2.116	–	–	–	Встречное
2.3	5.0	225	0.25	1.199	–	–	–	Встречное
2.4	5.0	225	0.35	0.734	–	–	–	Встречное

Таблица 2. Результаты влияния скорости резания на шероховатость поверхности

№	t, мм	V, м/мин	Sz, мм/зуб	Ra, мкм	Заусенцы	Оплавление	Расслоение	Направление
1.1	5.0	50	0.35	1.010	—	—	—	Попутное
1.2	5.0	75	0.35	1.045	—	—	—	Попутное
1.3	5.0	100	0.35	0.878	—	—	—	Попутное
1.4	5.0	125	0.35	0.666	—	—	—	Попутное
1.5	5.0	150	0.35	0.601	—	—	—	Попутное
1.6	5.0	175	0.35	0.576	—	—	—	Попутное
1.7	5.0	200	0.35	0.575	—	—	—	Попутное
1.8	5.0	225	0.35	0.574	—	—	—	Попутное

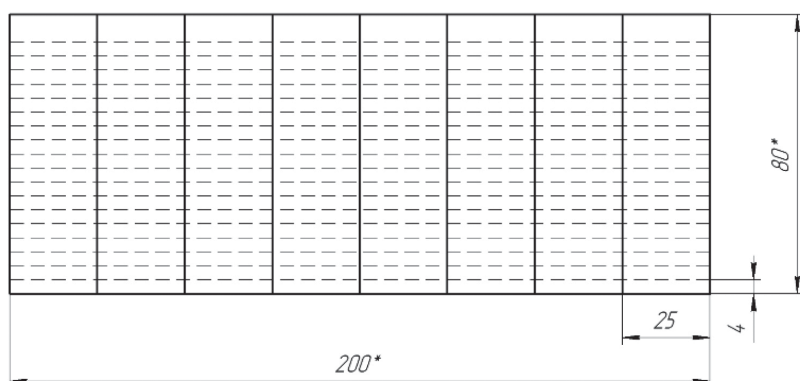


Рис. 5. Разметка пластины для механической обработки

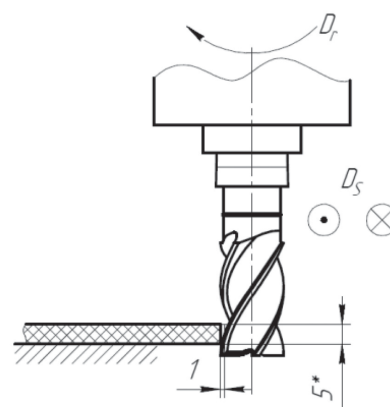


Рис. 6. Эскиз фрезерования периферией фрезы

По результатам эксперимента и сравнения качества обработанных поверхностей определено, что скорость резания 225 м/мин и подача 0.35 мм/зуб обеспечивают получение наилучшей шероховатости для данной схемы фрезерной обработки.

Фрезерование торцом фрезы

Для экспериментальной проверки режимов резания были приняты следующие шаги варьирования режимов:

- скорость резания: 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225 м/мин;

- подача на зуб: 0.05, 0.15, 0.25, 0.35 мм/зуб;
- глубина резания: 1.0 мм

Для проведения исследования пластина была расчерчена на 8 равных частей по 25 мм (рис. 9). При помощи программы за один проход периферией фрезы (рис. 10) происходит фрезерование при восьми режимах резания. Ширина снимаемого слоя составила 4 мм.

Длина обрабатываемой поверхности составляет 25 мм. Исследования проводились для попутного и встречного фрезерования. В первой части работы была принята максимальная скорость резания с изменением

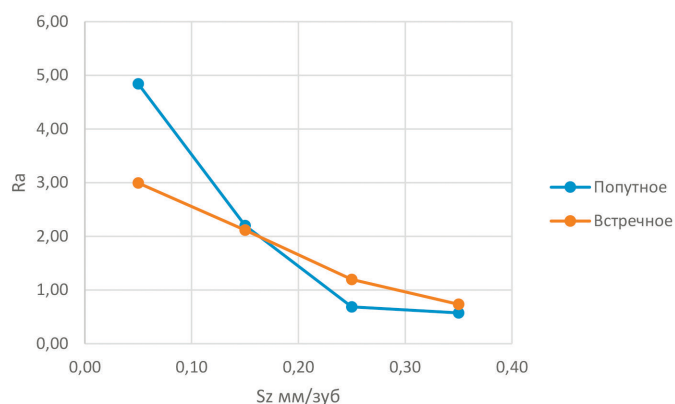


Рис. 7. График зависимости шероховатости поверхности от подачи при фрезеровании периферией фрезы

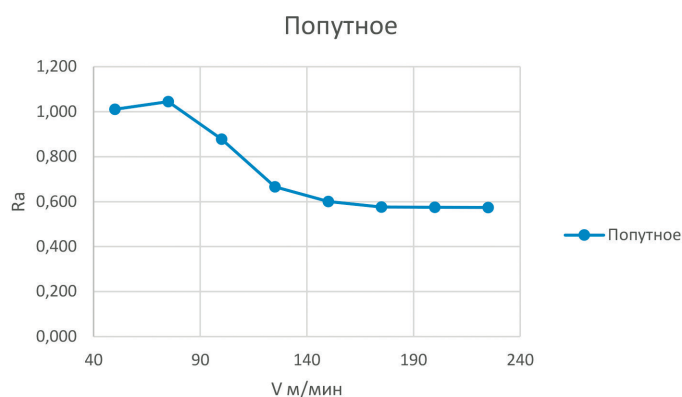


Рис. 8. График зависимости шероховатости поверхности от скорости резания при фрезеровании периферией фрезы

Таблица 3. Режимы фрезерования торцом при установлении влияния подачи на зуб на дефекты и шероховатость поверхности при постоянной толщине резания

№	t, мм	V, м/мин	Sz, мм/зуб	Ra, мкм	Заусенцы	Оплавление	Расслоение	Направление
1.1	1.0	225	0.05	1.540	–	–	–	Попутное
1.2	1.0	225	0.15	2.007	–	–	–	Попутное
1.3	1.0	225	0.25	2.142	–	–	–	Попутное
1.4	1.0	225	0.35	2.245	–	–	–	Попутное
2.1	1.0	225	0.05	1.536	–	–	–	Встречное
2.2	1.0	225	0.15	2.151	–	–	–	Встречное
2.3	1.0	225	0.25	2.281	–	–	–	Встречное
2.4	1.0	225	0.35	1.510	–	–	–	Встречное

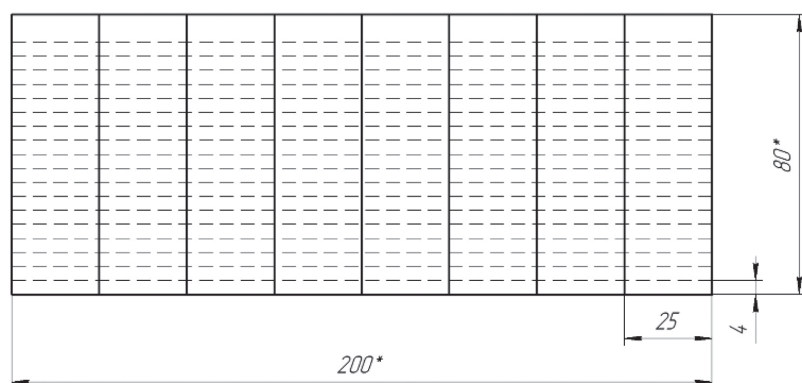


Рис. 9. Разметка пластины

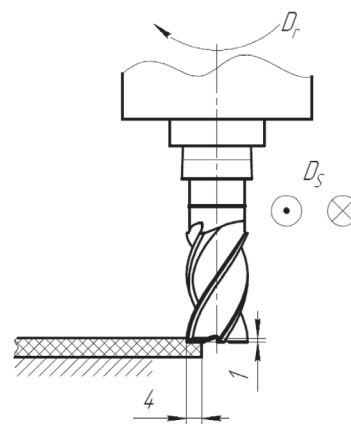


Рис. 10. Эскиз фрезерования периферией фрезы

подачи. Результаты обработки приведены в таблице 3.

По результатам таблицы 3 был составлен график зависимости шероховатости поверхности от подачи на зуб при фрезеровании торцом фрезы (рис. 11).

Из результатов эксперимента следует, что режим с встречным направлением и подачей 0.35 мм/зуб обеспечивают получение наилучшей шероховатости. В ходе дальнейшей работы была определена зависимость шероховатости от скорости резания при постоянной подаче. Результаты работ приведены в таблице 4.

По результатам таблицы 4 был составлен график зависимости шероховатости поверхности от скорости резания при фрезеровании торцом фрезы (рис. 12).

Анализ результатов

По результатам проведенных работ определены режимы резания, обеспечивающие получение наилучшей шероховатости для каждого вида механической обработки. **Для фрезерования периферией фрезы:**

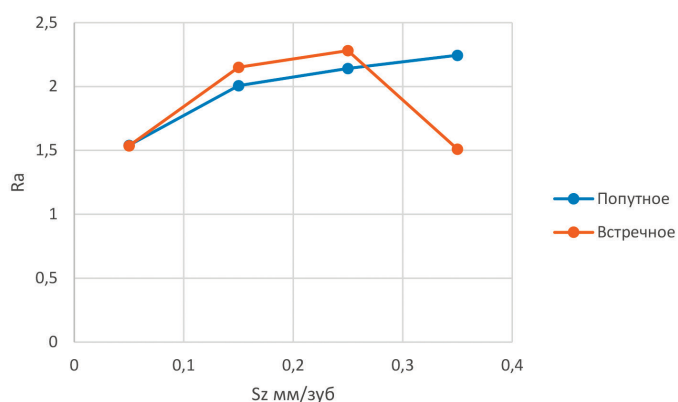


Рис. 11. График зависимости шероховатости поверхности от подачи на зуб при фрезеровании торцом фрезы

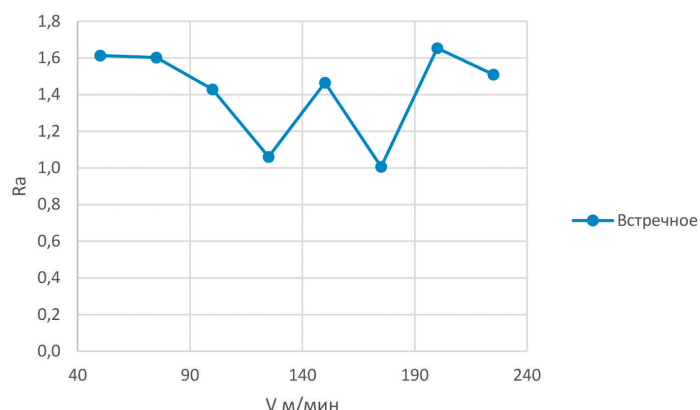


Рис. 12. График зависимости шероховатости поверхности от скорости резания при фрезеровании торцом фрезы

Таблица 4. Влияние скорости резания на шероховатость поверхности

№	t, мм	V, м/мин	Sz, мм/зуб	Ra, мкм	Заусенцы	Оплавление	Расслоение	Направление
1.1	1.0	50	0.35	1.613	—	—	—	Встречное
1.2	1.0	75	0.35	1.603	—	—	—	Встречное
1.3	1.0	100	0.35	1.429	—	—	—	Встречное
1.4	1.0	125	0.35	1.061	—	—	—	Встречное
1.5	1.0	150	0.35	1.465	—	—	—	Встречное
1.6	1.0	175	0.35	1.006	—	—	—	Встречное
1.7	1.0	200	0.35	1.654	—	—	—	Встречное
1.8	1.0	225	0.35	1.510	—	—	—	Встречное

скорость — 225 м/мин; подача — 0.35 мм/зуб; направление — попутное. **Для фрезерования торцом фрезы:** скорость — 125...175 м/мин; подача — 0.35 мм/зуб; направление — встречное.

При фрезеровании периферией фрезы на минимальных режимах резания возникали дефекты в виде оплавлений и образование заусенцев (рис. 13). При увеличении скорости резания количество дефектов уменьшалось.

При фрезеровании торцом фрезы при увеличении скорости резания более 200 м/мин наблюдалось снижение качества поверхности, что можно объяснить неоптимальным значением переменной скорости резания на режущей кромке и работой стружечной канавки по удалению стружки, выбранной фрезой.

Сравнение качества поверхностей представлено на рис. 14 и 15.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования показали, что явно прослеживается тенденция, при которой увеличение скорости резания и подачи на зуб в целом приводит к снижению величины шероховатости поверхности при фрезеровании заготовок из материала PETG.

Результаты по экспериментальной проверке режимов обработки, полученные в ходе проведенной работы, могут быть использованы при фрезерной обработке деталей из материала PETG и направлены на разработку универсальных рекомендаций по выбору режимов резания для различных типов аддитивных материалов и методов их постобработки, что позволит расширить область применения гибридных технологий в промышленности.

Литература

1. Уланов А.О., Иньшина Я.Г. PETG- и PLA-филаменты и испытания физико-механических характеристик изделий из них // Молодой ученый. 2020. № 52. С. 98–101. URL: <https://moluch.ru/archive/342/77092/>
2. Современные наукоемкие технологии. 2015. № 6. С. 26–30. URL: <https://top=technologies.ru/ru/article/view?id=35053>
3. <https://www.hims.ru/processing/> Обработка материала QUINN PETG.

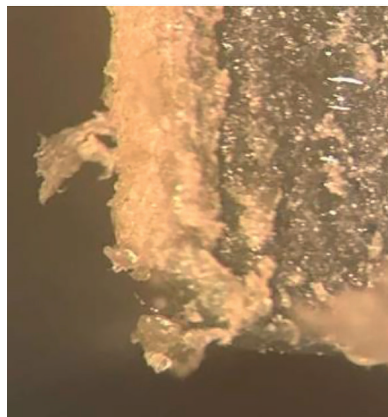


Рис.13. Дефект в виде заусенца

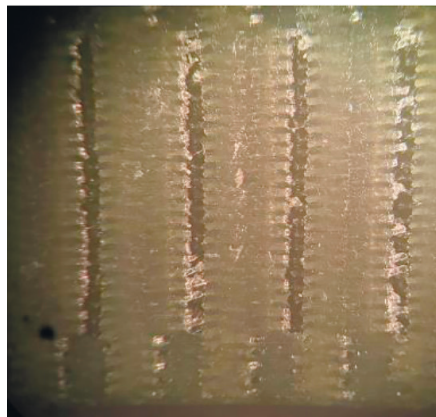


Рис. 14. Наихудшая шероховатость при фрезеровании периферией фрезы

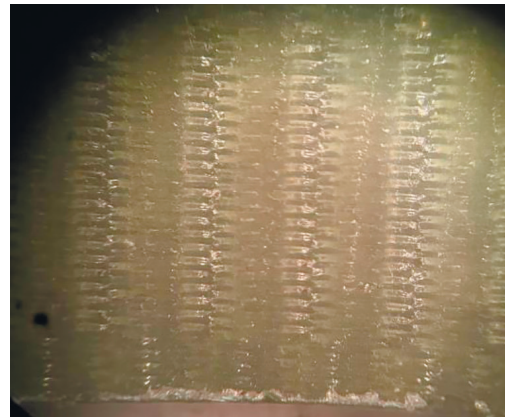


Рис. 15. Наилучшая шероховатость при фрезеровании периферией фрезы

Вычислительная инженерия и суррогатное моделирование в аддитивном производстве

П.А. Петров*, Г.Р. Аглетдинова
 Московский политехнический университет
 *e-mail: petrov_p@mail.ru

Тема вычислительной инженерии и суррогатного моделирования становится популярной в аддитивном производстве. Ее потенциал и перспективность связаны с сокращением сроков на подготовку производства за счет вытеснения человека, например инженера-конструктора или технолога, из активного участия в процессе проектирования с применением традиционных CAD/CAE-программ. В данной статье приведен краткий анализ алгоритмов, применяемых при разработке моделей вычислительной инженерии.

LEAP71 [1] (рис. 1) — пример проекта, реализованного с применением модели вычислительной инженерии Noyron RP. Модель Noyron RP, разработанная Лиом Кайзером, является специализированной и предназначена для проектирования жидкостных реактивных двигателей (ЖРД) различной мощности и их компонентов (инжекторные головки, традиционные камеры сгорания с соплом колокольного типа, теплообменники). Результат проектирования адаптирован для последующего изготовления с применением технологии селективного лазерного сплавления.

В 2024 г. изготовлены два опытных образца ЖРД — двигатель с тягой 5 кН (материал конструкции: медный сплав CuCrZr) и двигатель с тягой 200 кН (материал конструкции: алюминиевый сплав AlSi10Mg). Опытные

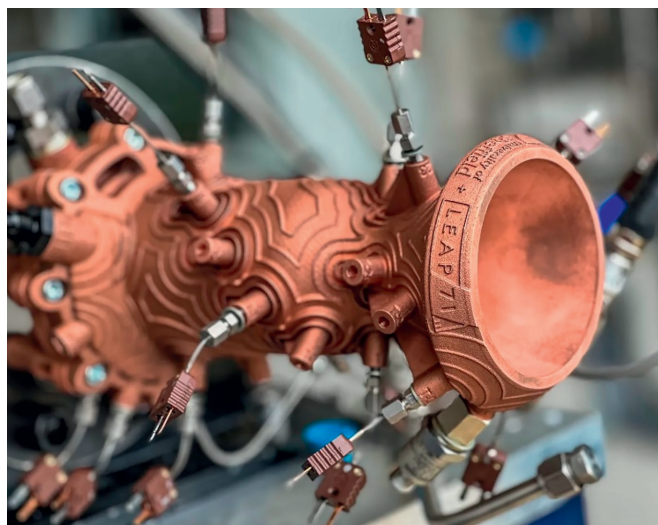


Рис. 1. Жидкостный реактивный двигатель LEAP71 [1]

образцы изготовлены по технологии Laser Powder Bed Fusion (установка EOS M290) и Metal Powder Bed Fusion (установка Eplus3D EP-M650-1600) соответственно.

Модель Noyron RP основана на большой вычислительной инженерной модели (СЕМ) Noyron, в структуру которой входят еще несколько моделей — модель Noyron EA для проектирования электромагнитных механизмов для активации и контроля микророботов, а также модель Noyron HX для проектирования теплообменников.

Каждая из вышеперечисленных моделей позволяет инженерам сформировать абстрактное описание, задав значения параметров элементов проектируемой конструкции и логические ограничения; визуализировать сформированный проект новой конструкции и подготовить данные для ее последующего изготовления. Благодаря широкому набору параметров проектирование новой конструкции можно выполнять итерационно за счет обмена данными о результатах физического моделирования и натурных испытаний. Модель СЕМ использует аналитические тепловые и тяговые модели, эвристику и формальную инженерную логику. Все данные в модели СЕМ закодированы в последовательной алгоритмической структуре.

В модели СЕМ реализована концепция вариационного параметрического проектирования [2]. В соответствии

<pre>union() {cylinder (h = 30, r = 8); translate ([0, 0, 40]) sphere(20);}</pre>	union – логическое ограничение (условие), translate – геометрическое преобразование (параметрическое ограничение), задающее расположение одного элемента (сфера) по отношению к другому (цилиндр), h, r, «20» – параметры элементов: высота (h) и радиус (r) цилиндра, радиус сферы (20), соответственно	
спецификация (описание) трехмерного объекта	расшифровка ограничений	визуализация трехмерного объекта

Рис. 2. Пример описания с ограничениями трехмерного объекта

с этой концепцией конструктивные элементы, из которых собирается трехмерный объект (модель), задают параметрами, численные значения которых имеют ограничения. Ограничения могут быть логическими и параметрическими. Логические ограничения формируют связи между элементами; параметрические определяют размер элементов в трехмерном пространстве. Таким образом формируется декларативное описание (спецификация) трехмерного объекта (рис. 2). В качестве примера покажем формирование трехмерной модели.

Пользователь, разрабатывающий модель, может в любой момент внести изменения в структуру описания проектируемого объекта и тем самым полностью управлять его формой без пересчета его модели. Визуализация модели выполняется геометрическим ядром с учетом ограничений, заданных в описании.

Вариационный метод проектирования предполагает, что по геометрической модели с логическими и параметрическими ограничениями, созданной пользователем, формируется граф и для него создается остовное дерево (или скелет графа) [2]. Не углубляясь в теорию графов, определим понятие «граф». Граф — математическая структура; используется для моделирования связей между различными объектами. Граф состоит из вершин и ребер, которые их соединяют. Выделяют несколько видов графов [3], среди которых особый вид — дерево.

Вершинами дерева являются все объекты из описания, а ребрами графа (соединительными линиями) — некоторые ограничения (операции: логические и параметрические), позволяющие эффективно параметризовать положение одних объектов по отношению к другим. Параметрические операции могут быть связаны с передвижением (translate), поворотом (rotate), изменением размеров; логические — булевы операции (сложение (union), вычитание (difference) и т.п.). Пример типового графа показан на рис. 3. Объекты отмечены на рисунке цифрами от 0 до 7; линии, соединяющие верши-

ны, — введенные ограничения. При составлении скелета дерева не все ограничения включаются в его структуру.

Трехмерная параметрическая модель (рис. 3в) может быть интерпретирована как дерево-граф. Вершиной дерева (или его корнем) является сам геометрический объект (3D-модель).

Геометрические примитивы (окружности, дуги, прямоугольники и т.п.) являются основой трехмерного объекта. Ребра (ветки) дерева — это операции, выполняемые с примитивами или сформированными объектами. Примитивы в структуре дерева соотносят с листом. Лист не имеет исходящего ребра и может быть использован несколько раз в структуре 3D-модели.

Для визуализации проектируемого изделия необходимо решить не всю систему заданных ограничений, а лишь те из них, которые не попали в остовное дерево и замыкают собой циклы. Таким образом, происходит обсчет лишь тех ограничений, которые принципиально невозможно обработать с помощью иерархического подхода. Подобный алгоритм позволяет сократить время на визуализацию геометрической модели сложного объекта и может быть реализован с применением алгоритмов машинного либо глубинного обучения [5, 7, 10].

В зависимости от задач, решаемых конструктором, возможно создание новой специализированной модели. Новая модель создается в Nouron. При этом используют последовательно открытые библиотеки: PicoGK, ShapeKernel, LatticeLibrary, QuasiCrystals, являющиеся разработкой основателя проекта LEAP71 [4]. Назначение каждой из четырех библиотек:

1) PicoGK — открытое геометрическое ядро, созданное с применением языка программирования C#, обеспечивает формирование структуры будущей геометрической модели с учетом логических и параметрических ограничений.

2) ShapeKernel — открытая библиотека для создания расчетной модели по структурному описанию проекти-

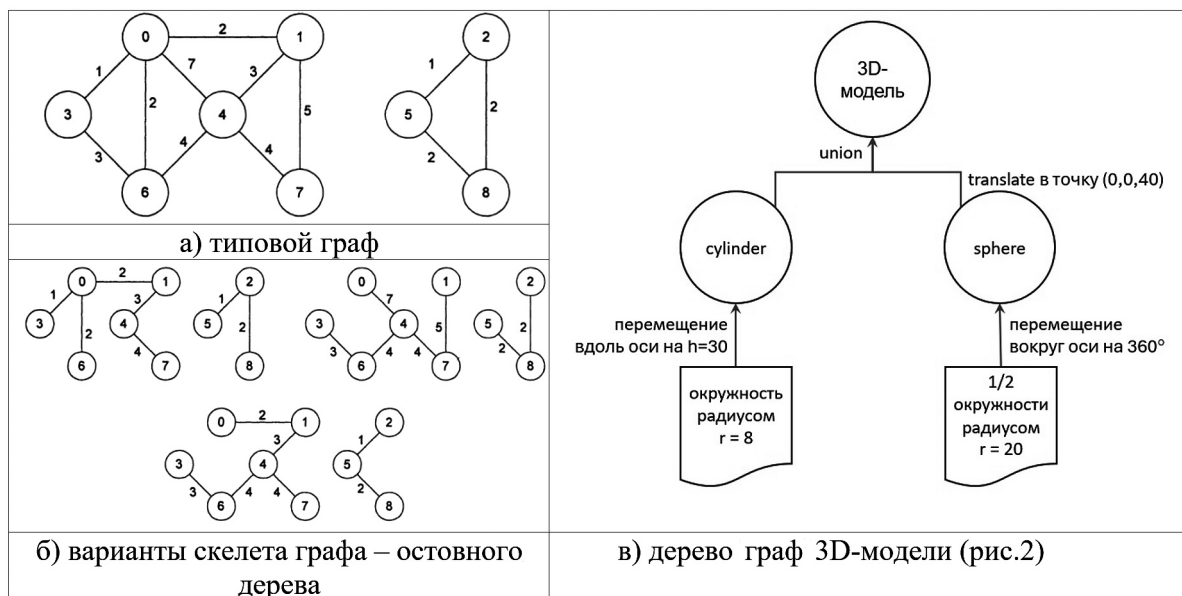


Рис. 3. Пример графа, отображающего геометрическую модель объекта и его остовное дерево [2]

руемого объекта, сформированного в геометрическом ядре PicoGK, и ее визуализации.

3) LatticeLibrary — открытая библиотека, расширяющая функциональные возможности ShapeKernel и PicoGK за счет формирования решетчатой структуры (lattice structure) в созданной модели проектируемого объекта.

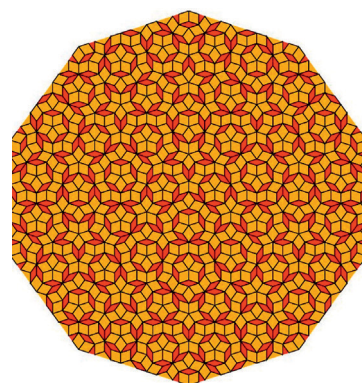
4) QuasiCrystals — открытая библиотека для создания аperiodических мозаик (рис. 4), таких как узоры Пенроуза (в 2D) и квазикристаллические структуры (в 3D).

Рис. 5–7 иллюстрируют последовательность создания 3D-модели теплообменника и его образец, изготовленный с применением технологии SLM.

Разработка модели начинается с создания в PicoGK структуры описания проектируемого объекта — теплообменника. Для работы в PicoGK конструктор должен обладать минимальными навыками работы с языком C#. Для упрощения его работы при создании 3D-модели используются базовые примитивы, которые объединяются логически и пространственно с помощью функции Boolean, прежде чем прийти к окончательной форме. Это является принципиальным отличием подхода от традиционного метода проектирования.

В случае теплообменника (рис. 5) проектирование начинается с формирования входных и выходных отверстий в полости для жидкости (холодной и горячей). Далее проектируемый теплообменник представляется в виде оболочки для двух объемов, которые последовательно заполняются элементами конструкции. Каждый элемент (рис. 6) формируется в виде программного кода, включающего описание с логическими и параметрическими ограничениями [6]. С полной структурой модели теплообменника можно ознакомиться в репозитории проекта LEAP71 — <https://github.com/leap71>.

В завершение работы со структурным описанием проектируемого объекта формируется его визуализация и выполняется подготовка к 3D-печати (рис. 7). Вышеописан-



а) Аперидическая мозаика



б) Аперидическая мозаика в центре конструкции инжектора для ракетного двигателя [4]

Рис. 4. Пример аперидических мозаик

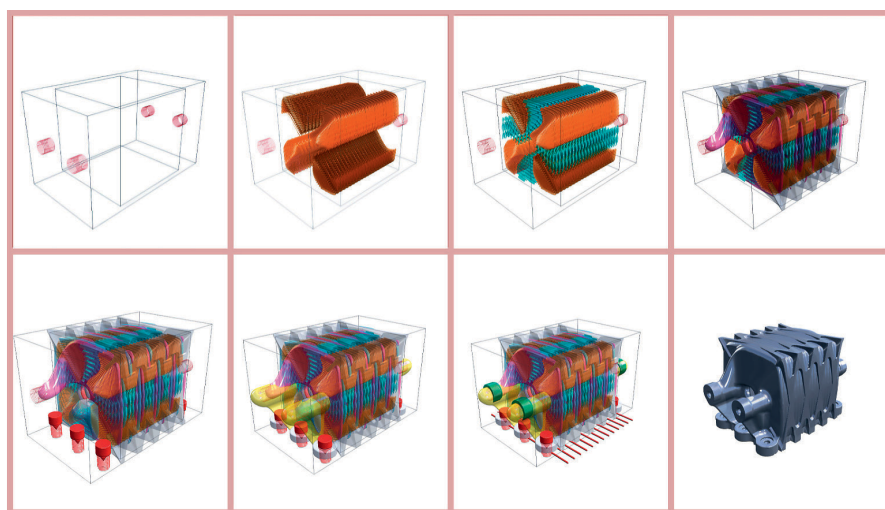
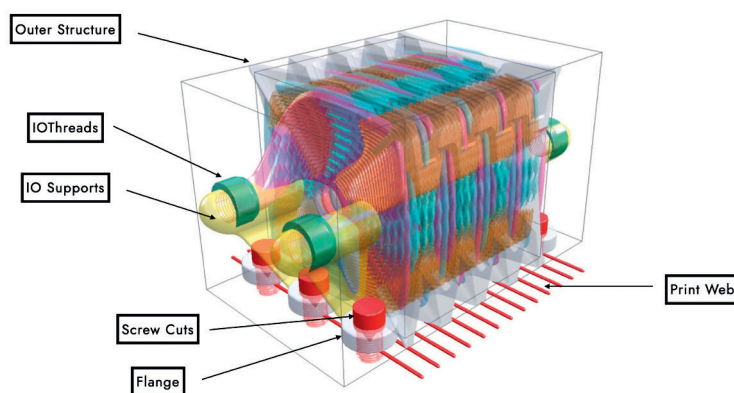


Рис. 5. Последовательность разработки (в соответствии с расположенными картинками — по часовой стрелке) 3D-модели теплообменника в библиотеке PicoGK и ShapeKernel [6]



Программный код, формирующий:

Outer Structure — внешнюю структуру корпуса, включая стенку у оболочки и ребра жесткости;
IOThreads — армирование резьбы на всех входных и выходных концах труб; добавляет материал для последующего нарезания резьбы и установки фитингов;

IOSupports — решетчатые опорные элементы под впускными и выпускными трубами, чтобы сделать их пригодными для 3D-печати;

Screw Cuts — болтовые соединения;
Flange — фланцевые соединения с отверстиями под болты;

Print Web — опорную поверхность.

Рис. 6. Сопоставление элементов 3D-модели с программным кодом [6]

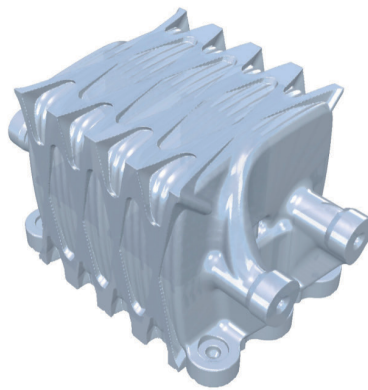
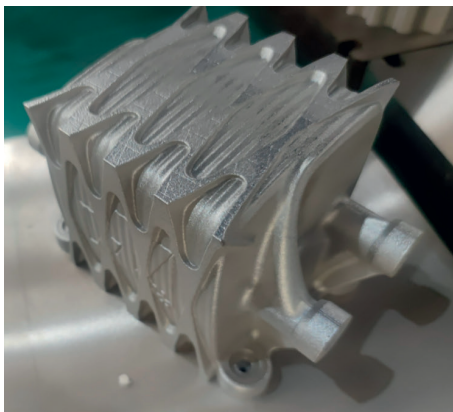
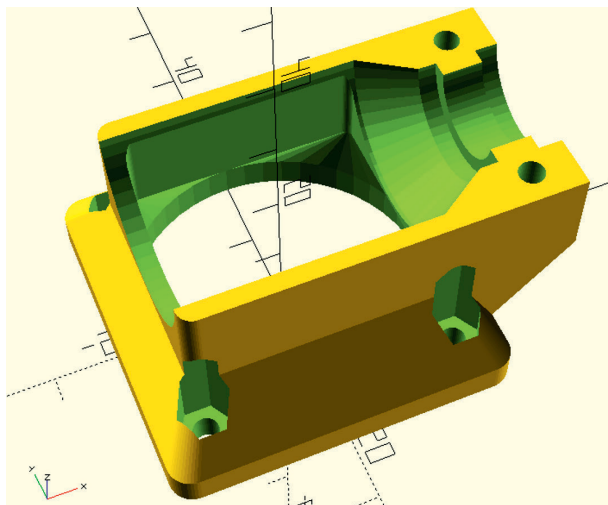


Рис. 7. Теплообменник, изготовленный по технологии SLM [6]



Трехмерная модель

```

module MainFan()
{
  difference()
  {
    union()
    {
      FanBase();
      translate([14,0,4])
      Mount();
    }
    union()
    {
      FanScrewHoles();
      AirHole();
      translate([-17,0,26])
      rotate([0, 90, 0])
      HotEnd();
    }
  }
}

```

Фрагмент кода для логического объединения элементов трехмерной модели

Рис. 8. Пример модели в OpenScad [14]



Рис. 9. Схема суррогатного моделирования [8]

ный подход позволяет выполнить геометрическое моделирование и изготовить спроектированный объект. В случае, если требуется спроектировать новую либо изменить существующую конструкцию, то возможно применение предподготовленной суррогатной модели [8, 9, 11].

Может возникнуть вопрос о возможных аналогах программных средств для вариационного параметрического моделирования. В какой-то мере программный комплекс T-FLEX CAD обеспечивает решение данной задачи на уровне разработки параметрической трехмерной модели. Однако, как выше описывалось, данный подход сводится к последовательному проектированию объектов. Еще один программный комплекс с открытым кодом для вариационного параметрического проектирования с логическими и параметрическими ограничениями — OpenScad [14, 15]. Общие принципы разработки трехмерной модели в OpenScad (рис. 8) аналогичны тем, что реализованы в PicoGK и ShapeKernel.

Суррогатное моделирование — [8, 9, 11, 16] связано с аппроксимацией выходных параметров физической модели, подсчитываемых на основе метода конечных элементов (МКЭ) при помощи более простого алгоритма. Аппроксимация выполняется с точностью, необходимой для последующего применения. Неоспоримым преимуществом суррогатного моделирования является сокращение времени разработки. Быстродействие суррогатной модели обеспечивается применением алгоритмов машинного обучения. Типовая схема суррогатного моделирования показана на рис. 9.

Суррогатное моделирование особый случай машинного обучения с учителем, применяемый в области инженерного проектирования. Примерами суррогатных моделей являются распространенные методы машинного и глубинного обучения, такие как полиномиальная регрессия, метод опорных векторов (SVM), гауссовский анализ, нейронные сети [12, 13].

Данные для обучения получают путем анализа исходной физической модели и ее выполнения в нескольких выбранных точках пространства параметров проектирования. Здесь можно провести некоторую аналогию с вышеописанной остовной моделью, применяемой для построения остовного дерева по графу. В каждой выбранной точке проводится полное МКЭ-моделирование для расчета соответствующих ей выходных параметров физической модели.

После сбора достаточного количества пар входных параметров конструкции и соответствующих им выходных параметров в обучающий набор данных разрабатывается статистическая модель на основе полученной выборки — суррогатная модель. Пример суррогатной модели показан на рис. 10 [9]; для сравнения приведена расчетная модель элемента конструкции, иллюстрирующая результат конечно-элементного моделирования процесса 3D-печати в строительстве.

Еще один пример суррогатного моделирования, которое может предшествовать изготовлению изделия, — лопатки турбины с применением аддитивных технологий [16]. На рис. 11 показана расчетная схема разработки и применения суррогатной модели, позволяющей выполнить быстрый расчет максимальной температуры лопатки в зависимости от температуры газа, температуры охлаждающего воздуха и соответствующего коэффициента теплопроводности. В результате суррогатная модель [16] (рис. 11) позволяет решить задачу теплового анализа лопатки турбины реактивного двигателя за 0,0118 с; решение тепловой задачи детализированной модели лопатки с применением метода конечных элементов занимает около 2,5 часа.

Вычислительная инженерия меняет подход к проектированию и моделированию систем. Привычный метод создания нового изделия отличается для инженера по вычислительному проектированию не только использованием другого программного обеспечения, использующего мощности машинного обучения и обладающего возможностью параметризации объекта проектирования, — инженеру будущего придется обладать новыми мыслительными навыками. Перечислим основные отличия проектирования будущего:

- Необходимо не только понимать составные части своего объекта и вносить их в чертеж, но и уметь разбивать свой объект на основные логические части.
- Важно умение выстраивания взаимосвязей между основными логическими частями тела проектирования.
- Умение видеть ограничения системы и прогнозировать развитие своей системы через изменение параметров — неотъемлемая часть вычислительного проектирования. Инженеру необходимо сосредотачиваться на требованиях к конечному изделию, на основных правилах проектирования и методах его производства.
- В вычислительном проектировании использование навыков кодирования логики построения модели — неотъемлемая часть работы современного инженера по вычислительному проектированию. На данном этапе инженеру важно правильно создавать

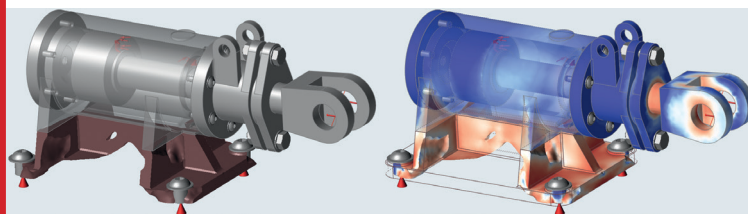


**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

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>

логические модели, начиная с более простых, учитывая ограничения и входные параметры, переходя к более сложному коду, который в дальнейшем приведет к необходимому результату.

- Конечный результат работы инженеров по вычислительному проектированию, вычислительная модель для целого класса объектов! Основное преимущество вычислительной модели состоит в том, что, имея возможность на входе программному коду задавать парамет-

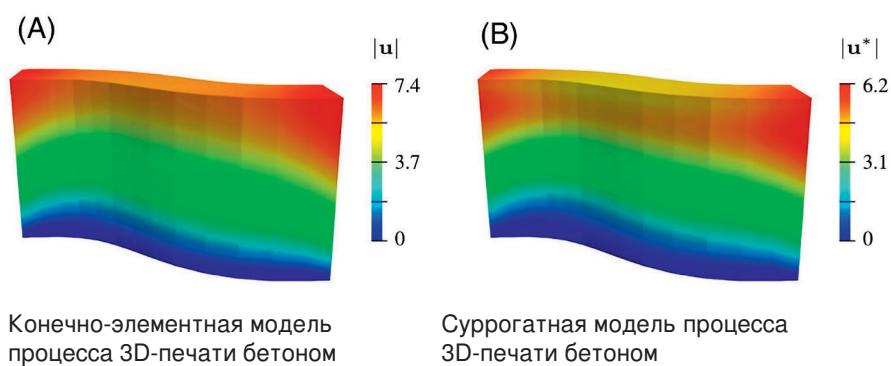


Рис. 10. Суррогатная модель процесса 3D-печати бетоном [9]



Рис. 11. Суррогатная модель лопатки турбины [16]

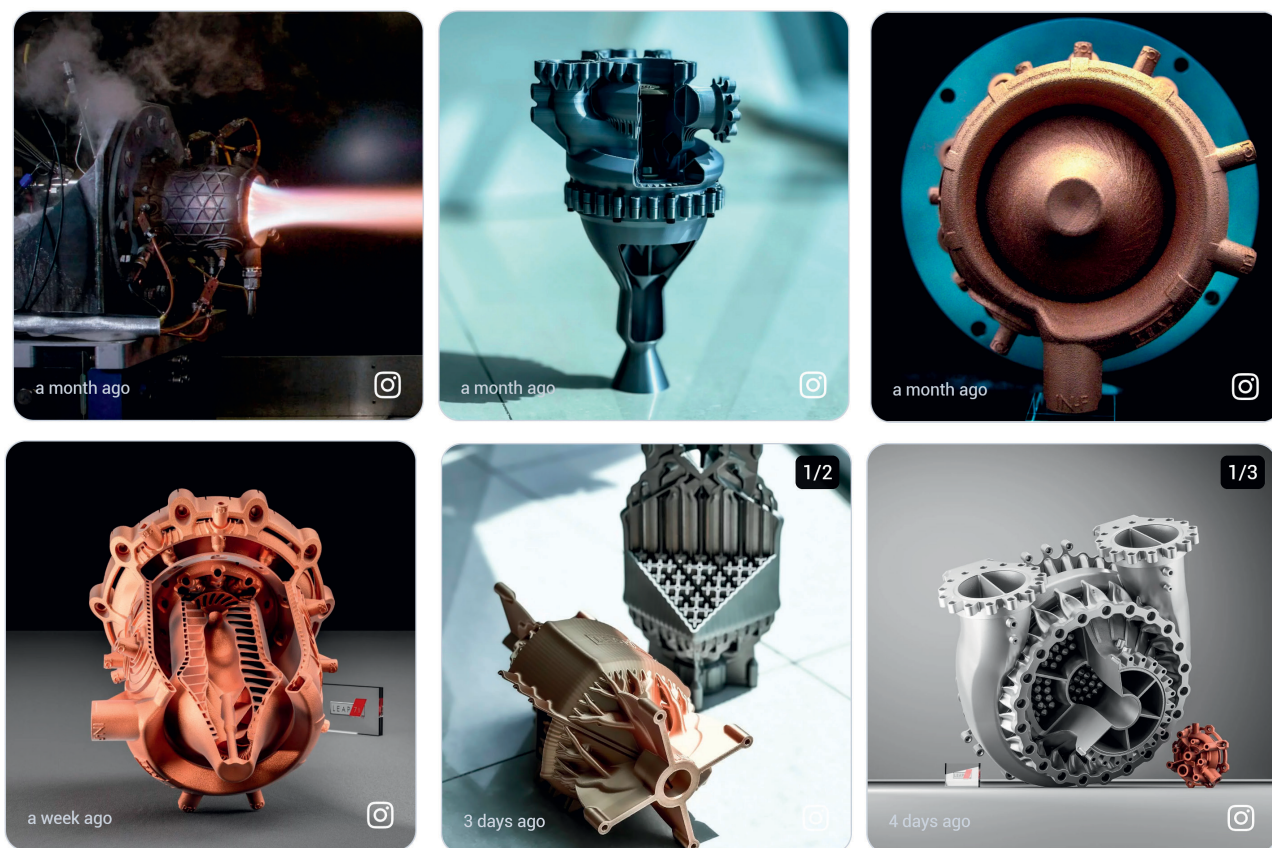


Рис. 12. Примеры реализованных моделей вычислительного проектирования от LEAP 71 [1]

тры и производственные ограничения, на выходе мы получаем готовое решение для производства (учитываем, что в процессе разработки команда инженеров проводит физические тестирования и численное моделирование).

- Полученная вычислительная модель может быть масштабирована, расширена и усовершенствована. Созданная база кода — это инструмент гибкого проектирования, позволяющий получать разновидности объектов в одном классе под потребности заказчика. Инженерам не приходится работать каждый раз с нуля — в вычислительном проектировании используется более глубокий процесс понимания своей системы на логическом, параметрическом уровне и на уровне взаимосвязей системы. Вычислительный подход и использование машинного обучения позволяет накапливать опыт в проектировании и на основе этого опыта создавать всё лучшие версии с учетом способа производства изделия.

- Конечные изделия, спроектированные вычислительным методом, представляют из себя более эффективные конструкции (рис. 12), зависящие четко от параметров. Благодаря возможности внесения изменений в параметры под каждого заказчика объекты проектирования со временем могут совершенствоваться вместе со своим заказчиком.

Литература

1. About LEAP71 [электронное издание]. URL: <https://leap71.com/>
2. Ершов А. Новый метод моделирования задач параметрического проектирования. Все возможности вариационного подхода при эффективности иерархического // САПР и графика. 2007. № 9.
3. Теория графов: деревья, планарность, разновидности графов [электронное издание]. URL: <https://skillbox.ru/media/code/teoriya-grafov-derevya-planarnost-raznovidnosti-grafov/#stk-5>
4. The LEAP 71 technology stack [электронное издание]. URL: <https://leap71.com/tech/>
5. Слеповичев И.И. Нейросетевой алгоритм построения минимального остовного дерева графа / Компьютерные науки и информационные технологии. Материалы международной научной конференции. В.А. Твердохлебов (отв. редактор). Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского (Саратов), 2009. С. 167–170.
6. Tutorial 2: Designing a Computational Heat Exchanger [электронное издание] URL: https://github.com/leap71/LEAP71_HelixHeatX?tab=readme-ov-file
7. Коммерческая компания испытала напечатанный на 3D-принтере жидкотопливный ракетный двигатель, спроектированный ИИ [электронное издание]. URL: <https://habr.com/ru/articles/824900/>
8. Введение в суррогатные модели. Часть 1. Актуальность [электронное издание]. URL: https://habr.com/ru/companies/etmc_exponenta/articles/663578/
9. Hürkamp A., Ekanayaka V. A novel surrogate modelling approach for additive manufacturing processes. // Proc. Appl. Math. Mech. 23 (2023). P. 1–9.
10. Jiang J., Xiong Y., Zhang Z., Rosen D. Machine learning integrated design for additive manufacturing // Journal of Intelligent Manufacturing. 2022. № 33. P. 1073–1086.
11. Gorissen D., Couckuyt I., Demeester P., Dhaene T., Crombecq K. A Surrogate Modeling and Adaptive Sampling Toolbox for Computer Based Design. Journal of Machine Learning Research // 2010. № 11. P. 2051–2055.
12. Летняя школа Сбера–2024. <https://www.sbergraduate.ru/digitalsummer>.
13. Учебник по машинному обучению [электронное издание]. URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml>
14. OpenSCAD для пионеров и пенсионеров: целый день для знакомства [электронное издание]. URL: <https://habr.com/ru/articles/594295/>
15. OpenScad [электронное издание]. URL: <https://github.com/openscad/openscad>
16. Введение в суррогатные модели. Часть 2. Прикладной пример [электронное издание]. URL: https://habr.com/ru/companies/etmc_exponenta/articles/663620/

**ЦИФРА
ЦИФРА** АКАДЕМИЯ
АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

19 СЕНТЯБРЯ 2025

МОСКВА

АДДИТИВНЫЙ КОНГРЕСС #1

Единственное специализированное мероприятие
и выставка аддитивных технологий в России

ПРОМОКОД НА СКИДКУ 5%
ЧИТАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА

ATJournal

РЕГИСТРАЦИЯ: INFO@2CIFRA.RU



Сайт мероприятия



Выставка 3D-TECH by Rosmould станет ключевым событием российского рынка 3D-печати

17–19 июня 2025 года в Москве в выставочном центре «Крокус Экспо» пройдет единственная специализированная выставка 3D-технологий в России — 3D-TECH by Rosmould 2025.

Экспозиция 3D-TECH начала формироваться как отдельное направление выставки Rosmould в 2014 году, и этим летом она впервые пройдет как самостоятельная выставка, что, безусловно, говорит о возрастающей значимости данного события для представителей отрасли аддитивных технологий и 3D-печати.

На данный момент сфера аддитивных технологий является актуальной и быстро развивающейся. Глобальный рынок аддитивного производства стремительно расширяется. По данным исследования Precedence Research, объем мирового рынка промышленной 3D-печати в 2024 году оценивается в \$3,56 млрд. В 2025-м ожидается рост до \$4,31 млрд, а к 2034 году по прогнозам предполагается увеличение более чем до \$24,03 млрд. Таким образом, среднегодовой темп роста в течение десяти лет составит 21,04%. Более того, рынок аддитивных технологий и 3D-печати является перспективной отраслью для развития бизнеса. Журнал «Аддитивные технологии» приводит крупнейшие тенденции, которые формируют рынок отрасли и приводят к более инновационному и эффективному будущему производства:

- Расширение промышленной 3D-печати, означающее, что производители могут использовать более высокопрочные материалы и создавать сложные конечные компоненты.
- Рост мультиматериальной 3D-печати — производство деталей, сочетающих в себе различные материалы с разнообразными свойствами.
- Интеграция ИИ и машинного обучения, сокращающих время производства и повышающих эффективность 3D-печати.
- Внедрение крупногабаритной 3D-печати, открывающей новые возможности для изготовления конструкций и инструментов.
- Производство по требованию и децентрализованное производство, способствующее более быстрому реагированию на меняющиеся требования.

Данные тенденции формируют новые возможности для развития бизнеса. Однако также важно установить долгосрочное сотрудничество с другими игроками отрасли и найти своих целевых клиентов. Помочь в этом могут профильные выставки, которые являются связующим звеном между компаниями.

Активное развитие экспозиции и формирование самостоятельной выставки 3D-TECH by Rosmould свидетельствуют о том, что данное событие становится ключевым для специалистов в области аддитивных технологий и 3D-печати. 3D-TECH проходит одновременно с выставкой формообразующей оснастки и производственных технологий Rosmould и выставкой индустрии пластмасс Rosplast. Вместе данные выставки дают возможность получить решение любых производственных задач и проектов на одной площадке **от идеи до готового изделия**.

В 2025 году выставка 3D-TECH by Rosmould пройдет 17–19 июня в МВЦ «Крокус Экспо» и соберет на своей площадке ведущих специалистов отрасли. Кроме того, посетителей выставки ждет знаковое ежегодное трехдневное событие в мире 3D-печати — **Форум аддитивных технологий**. Форум будет посвящен особенностям применения аддитивных технологий в промышленности, машиностроении, медицине.

Мы приглашаем всех, кто ищет производителей и поставщиков промышленного, профессионального и персонального 3D-оборудования, расходных материалов для 3D-печати (металл, пластик, фотополимеры, керамика и др.), услуг в сфере аддитивного производства, посетить выставку **3D-TECH by Rosmould 17–19 июня 2025 года в МВЦ «Крокус Экспо» (г. Москва)**.

**Зарегистрироваться на выставку можно на сайте www.3dtech-expo.ru,
бесплатный билет по промокоду **RM25-HRWDY**.**



03-05 ИЮНЯ
МОСКВА
РОССИЯ

2025

12+

ЛИТМАШ

Международная выставка литейных технологий,
материалов и продукции

МЕТАЛЛУРГИЯ

Международная выставка металлургических технологий,
процессов и металлопродукции

Специальная экспозиция



**ТРУБЫ
РОССИЯ
2025**



www.metallurgy-russia.ru
www.litmash-russia.ru

Металл-Экспо
Тел.: +7 (495) 734-99-66

Экспо-Фьюжн
Тел.: +7 (495) 955-91-99



При поддержке:



Минпромторг
России



11-14 ноября 2025



МЕТАЛЛ

31-я Международная промышленная выставка

ЭКСПО 2025



Оборудование и технологии
для металлургии
и металлообработки
МеталлургМаш'2025



Металлопродукция
и металлоконструкции
для строительной отрасли
МеталлСтройФорум'2025



Транспортные
и логистические услуги
для предприятий ГК
МеталлТрансЛогистик'2025

Генеральный
информационный партнер:



Металлоснабжение и сбыт

12+

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

www.metal-expo.ru



ЛИТЕЙНЫЙ ИНТЕНСИВ

2025

– важное событие отрасли!

→ КАК ПОДАТЬ
ЗАЯВКУ?

Перейдите
по QR-коду
и забронируйте
участие.

Подробнее на сайте:



ЧТО ДАЁТ УЧАСТИЕ в «Литейном Интенсиве»?



Доступ к экспертным знаниям

инсайты от ведущих
специалистов отрасли.



Рост и развитие

управленческие, технологические
и личные инструменты, которые
работают.



Актуальная повестка

обсуждение ключевых вызовов
и трендов литейного
производства.



Готовые решения

практические мастер-классы,
разбор кейсов, новые технологии.



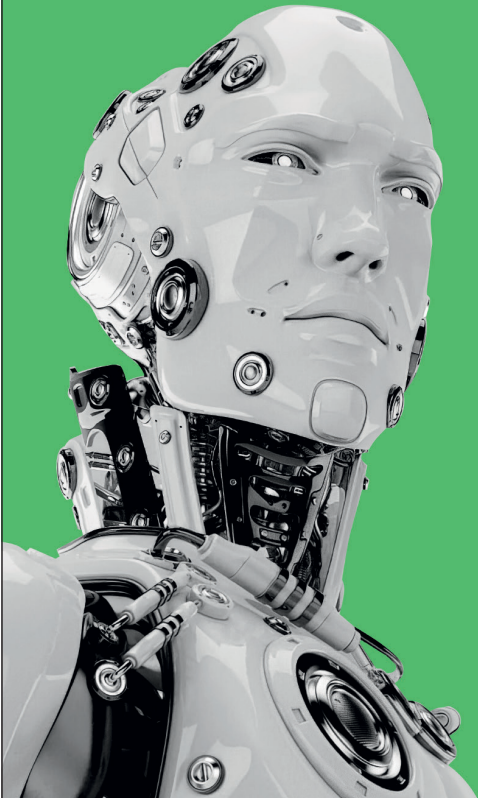
Деловые контакты

прямое общение с заказчиками,
поставщиками и партнёрами.

МОСКВА

**2-3
июня**

2025 года



ЦИФРОВАЯ ИНДУСТРИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ РОССИИ

ЦИПР 10

2-5 ИЮНЯ, 2025
РОССИЯ, НИЖНИЙ НОВГОРОД



CIPR.RU

//ДЕСЯТАЯ ЮБИЛЕЙНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ ЦИПР

ПОДПИСНАЯ КАМПАНИЯ — 2025



Ведущее отраслевое
периодическое
издание в сегменте
металлообработки



www.ritm-magazine.com
ritm@gardesmarsh.com

Стоимость: 1000 р. за номер.
Периодичность: 7 номеров в год

Уникальный журнал,
посвященный передовым
достижениям и инновациям
в области 3D-печати и
аддитивного производства



www.additiv-tech.ru
info@additiv-tech.ru

Стоимость: 1000 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год



3D-TECH
by rosmould

3dtech-expo.ru

Международная
специализированная
выставка оборудования
и материалов
для аддитивного
производства

17–19 июня 2025

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

От идеи
до готового
изделия



Промокод для получения
бесплатного билета

RM25-HRWDY



**NMF
EXPO**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЙ
ФОРУМ

**КРОКУС ЭКСПО
МОСКВА**

7-10 ОКТЯБРЯ 2025



8 400 КВ. М. ЭКСПОЗИЦИИ
ДЕМОНСТРАЦИЯ **ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**
В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ



ВДОХНОВЛЯЮЩИЕ БИЗНЕС-КЕЙСЫ,
ОБСУЖДЕНИЯ **АКТУАЛЬНЫХ ВОПРОСОВ**
ОТРАСЛИ И СВЕЖАЯ АНАЛИТИКА РЫНКА



“ЛЮДИ ПОКУПАЮТ У ЛЮДЕЙ”
ПОЗНАКОМИМ С НУЖНЫМИ
ЛЮДЬМИ ИЗ ОТРАСЛИ

NMF-EXPO

**ГЛАВНАЯ ОСЕННЯЯ ВЫСТАВКА
ПО МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ**



7.500+

посетителей ожидается в 2025 году,
включая лидеров отрасли, экспертов
и потенциальных партнеров

ПРОФИЛЬ ПОСЕТИТЕЛЕЙ В 2024

75% представители
крупных компаний

79% принимают
решения о закупках

100% целевая
аудитория



**ЗАБРОНИРУЙТЕ
ЛУЧШЕЕ МЕСТО
СЕЙЧАС**

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ
ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ

РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

