

1 / 2026

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



APZIAS

РОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ПРОМЫШЛЕННЫХ 3D-ПРИНТЕРОВ



www.zias-machinery.ru

+7 495 970 88 92

bprint@zias-machinery.com

Головной офис: г. Москва, Пресненская набережная,
д. 8, стр. 1, этаж 49, пом. 494 М

Реклама

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД: ОТ ИДЕИ ДО ГОТОВОЙ ОТЛИВКИ



3D-печать —
стратегический
инструмент в
стоматологии
39



Как на
судостроительном
предприятии
развивается
аддитивное
производство
49



Аддитивные
технологии для
производства
корпусов
режущих
инструментов
52



VPGLASERONE

Качество Инновации Будущее

ИТТЕРБИЕВЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР YLR-500-U-R-SM

Ультрасовременный одномодовый лазер
Идеально для 3D SLM печати!



Выходная мощность

до 2 кВт

Подробнее о серии YLS

YLR-500-U-R-SM — это самый компактный в отрасли непрерывный одномодовый волоконный лазер мощностью 500 Вт, объединяющий в себе последние достижения и тридцатилетний опыт компании VPG LaserONE в мире лазерных технологий. Малый диаметр световой жилы 10 или 14 мкм обеспечивает высочайшее качество пучка $M^2 < 1.1$ и возможность сфокусировать мощное лазерное излучение в наиболее узкий из возможных пучков.

Система внутренней самодиагностики, традиционно высочайшая надежность компонентов, кратковременная и долговременная стабильность по мощности, низкая вероятность отказа и большой гарантийный срок, обеспечивают максимальную воспроизводимость, уверенность и контроль над ответственным производством. Благодаря этим свойствам одномодовые волоконные лазеры активно используются для 3D печати металлом по технологии SLM (Selective Laser Melting — селективное лазерное плавление).



Внесен в реестр Минпромторга
(реестровый № 10679529).

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

+7 (495) 477-71-77
sales@vpglaserone.ru

www.vpglaserone.ru



Реклама



ПРИМЕНЕНИЕ

- 3D SLM печать
- Прецизионная резка
- Сварка высокоотражающих металлов
- Сверление сквозных отверстий
- Лазерная перфорация



ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

- Выходная мощность до 2 кВт
- Качество пучка $M^2 < 1.1$
- Система защиты от обратного отражения
- Стандартный оптический QVN коннектор
- Самый компактный и легкий корпус из существующих
- КПД «от розетки» более 40%
- Долговременная нестабильность $< 1\%$ за 8 часов

Главное событие отрасли в России и странах СНГ



ФОТОНИКА

МИР
ЛАЗЕРОВ
И ОПТИКИ

31 марта – 2 апреля 2026

20-я юбилейная международная специализированная
выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники

Реклама



12+

НОВАЯ ЛОКАЦИЯ!



Россия, Москва, ВК «Тимирязев Центр»

www.photonics-expo.ru



Минпромторг
России



ТПП РФ





**РОССИЙСКАЯ
СТРОИТЕЛЬНАЯ
НЕДЕЛЯ**

4–6 МАРТА 2026

**Россия, Москва,
ВК «Тимирязев Центр»**



Международная
специализированная
выставка
RosBuild 2026



Международная
специализированная
выставка
«Мир стекла-2026»



Форум
**«Строим будущее
России вместе»**



www.rsn-expo.ru

12+



Реклама

При поддержке



МИНСТРОЙ
РОССИИ



Минпромторг
России



NOVA



АССОЦИАЦИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

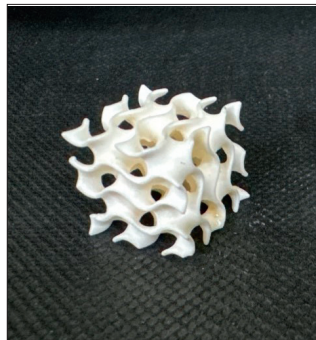
Под патронатом



ТПП РФ

Организатор

ЭКСПОЦЕНТР



8



13



25

СОДЕРЖАНИЕ

- 6** AVP ZIAS: революция в литейном производстве с помощью 3D-печати Binder Jetting
- 8** История российского ноу-хау в 3D-печати керамикой
- 13** В Москве наградили лучших в области аддитивных технологий
- 20** Перспективные технологические решения в области 3D-печати
- 25** Композитная 3D-печать: технологии, игроки и вызовы индустрии
- 30** От эксперимента к массовому внедрению
- 34** Битва за маржу: как выжить и преуспеть в условиях шторма на рынке АТ
- 39** 3D-печать — стратегический инструмент в стоматологии
- 41** Трансформация стоматологии
- 42** Возможности и перспективы применения биополимеров при лечении заболеваний головы и шеи
- 49** Как на судостроительном предприятии развивается аддитивное производство
- 52** Аддитивные технологии для производства корпусов режущих инструментов. Обзор мирового опыта
- 62** Расширение формата выставки 3D-TECH by Rosmould в 2026 году



Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

главный редактор Т. Карпова

дизайнер-верстальщик 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: 119071, г. Москва,

ул. Орджоникидзе, д. 12, офис 4506

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.

ТЕПЕРЬ В TELEGRAM!  ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ!

РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



t.me/ritm_magazine



t.me/additiv_tech

Премия за новаторские решения

Традиционно на выставке Formnext были объявлены победители премии «Formnext Awards 2025», которая присуждается за новаторские решения в области 3D-печати в различных отраслях, а также в сфере образования.

В категории «**Ambassador**» главный приз получила Ирена Хойзерот из Центра производства пластмасс (SKZ) — инженер и старший тренер по литью под давлением и аддитивному производству, сыгравшая ключевую роль в создании успешного курса «Сертифицированный промышленный техник, специализирующийся на аддитивном производстве». Курс охватывает всю цепочку процесса 3D-печати и проводится SKZ совместно с Торгово-промышленной палатой (IHK) Вюрцбург-Швайнфурта.

В категории «**Дизайн**» Высшая школа дизайна Швабиш-Гмюнда получила награду за терапевтические изделия Grabbit, напечатанные на 3D-принтере, которые призваны улучшить подвижность и силу рук у пожилых и травмированных людей. Студент Тимон Зюссмильх является автором инновационного проекта, который сочетает в себе использование 3D-напечатанных по технологии SLS решеток из термопластичного полиуретана и конструкций из полиамида PA12, изготовленных по технологии MJF.



Победителем в номинации «**(R)Evolution Award**», отмечающей новаторские продукты, технологии и услуги со значительно добавленной стоимостью, стала компания Laempe Mössner Sinto GmbH, разработавшая решение для крупносерийного производства песчаных стержней методом струйной печати связующим веществом и успешно внедрившая его в BMW Group. Производственная система является одной самой быстродействующих среди аналогов, выпуская более 1100 стержней в день.



Совместный проект IAM3DHUB, Digifab и больницы Clínic de Barcelona «3DMyMask» стал победителем в номинации «**Новичок года**» (**Rookie Award 2025**), присуждаемой за перспективные бизнес-идеи лицам, которые еще не основали свою компанию или сделали это менее года назад. «3DMyMask» устанавливает новую парадигму в респираторной терапии новорожденных, представляя индивидуальные маски из силикона, изготовленные с помощью 3D-сканирования и аддитивных технологий. Решение снижает утечки воздуха до 60%, улучшает прилегание маски и повышает комфорт. За проектом стоят неонатологи, инженеры-технологи и предприниматели, все они входят в экосистему IAM3DHUB.



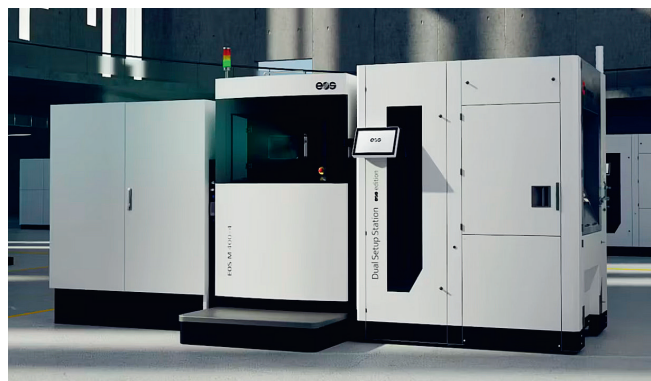
Премия для стартапов, учрежденная Fluxo Technologies и присуждаемая молодым перспективным компаниям с жизнеспособными бизнес-моделями, досталась PERFI Technologies. Технология, которую в компании называют объемным аддитивным производством (VAM), позволяет печатать небольшие и очень сложные объекты всего за несколько секунд. Это достигается за счет проецирования серии динамических световых узоров на вращающийся резервуар с фоточувствительной смолой, когда полимеризации подвергается весь объект. VAM-принтер настольного типа, созданный PERFI Technologies, оптимально подходит, например, для децентрализованного аддитивного производства непосредственно в медицинских учреждениях, где важна персонализация изделий, таких как слуховые аппараты, стоматологические и другие медицинские устройства для конкретных пациентов.



Премия в области устойчивого развития, учрежденная компанией Renishaw, отмечает применения и продукты аддитивного производства, основанные не только на производственных процессах, но и на всем жизненном цикле. Победителем 2025 года стала компания EOS GmbH, которая разработала систему фильтрации

для аддитивного производства. Эта технология, официально представленная вместе с новым промышленным 3D-принтером EOS M4 ONYX, нейтрализует конденсат, сажу, ультрадисперсные частицы и другие реактивные побочные продукты аддитивного производства на основе металлов, которые затем можно безопасно утилизировать или даже переработать непосредственно в процессе производства.

<https://formnext.mesago.com/>



Мультиматериальная печать металлом



Научный коллектив под руководством директора Института машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ Анатолия Поповича разработал технологию мультиматериальной 3D-печати металлом сложнопрофильных изделий. С ее помощью можно в одном технологическом цикле создавать узлы и детали из нескольких (до четырех) сплавов. Это существенно экономит средства и

время. Размер одной объемной единицы печати конкретного материала менее одного миллиметра позволяет программировать их буквально в микромасштабе.

Потребность в создании конструкций из нескольких видов материалов возникает, когда изделию необходимо придать различные, порой противоречивые свойства: повышенную твердость и одновременно пластичность, теплопроводность и коррозионную стойкость.

Сегодня специалисты СПбПУ апробировали уже более 20 материалов и их комбинаций, в том числе титановые, алюминиевые сплавы, сплавы с эффектом памяти формы и применили новую технологию на практике. Инженеры создали прототип малоразмерной камеры сгорания: внутри — жаропрочная бронза, снаружи — силовая оболочка из никелевого сплава, а между ними — тонкая сетчатая структура, эффективно отводящая тепло. Еще одно изделие — шестерня, внутри которой необходимо обеспечить вибропоглощение, а снаружи — повышенную твердость для предотвращения износа.

Разработка ведется при поддержке федеральной программы «Приоритет-2030».

Удивительный декор

Голландская архитектурная студия RAP уже несколько лет использует 3D-печать для создания оригинальных сложных конструкций, которые часто служат декоративными элементами.

Недавно в рамках проекта «Голубое путешествие» (Blue Voyage) она разработала две керамические стены для нового роскошного отеля Jumeirah Marsa Al Arab в Дубае. Цель декора заключалась в том, чтобы передать движение волн с помощью изогнутых форм, плавных линий и материала.

По данным RAP, высота стен составляет 6 метров, а ширина — 9 метров. Однако внимание привлекает не столько размер, сколько 900 плиток, из которых состоит инсталляция. Студия напечатала все эти керамические детали на 3D-принтере в своей мастерской в Роттердаме с использованием роботизированных манипуляторов Kuka. Обжиг и глазурирование отдельных плиток производила голландская гончарная компания Royal Tichelaar.



AVP ZIAS: революция в литейном производстве с помощью 3D-печати Binder Jetting



В современном мире, где скорость, гибкость и эффективность становятся ключевыми факторами успеха, литейное производство сталкивается с необходимостью кардинальных изменений. Традиционные подходы, зачастую связанные с длительными сроками изготовления оснастки, высокими затратами и ограниченными возможностями для создания сложных форм, уже не отвечают требованиям динамично развивающихся отраслей. В этих реалиях AVP ZIAS предлагает не просто оборудование, а комплексные технологические решения, способные вывести литейное производство на новый уровень.

AVP ZIAS — российский производитель промышленных 3D-принтеров по технологии Binder Jetting (BJ) — открывает двери в будущее литья. Мы не просто продаем машины — мы предлагаем стратегическое партнерство, основанное на глубоком понимании ваших потребностей и стремлении к достижению максимальной эффективности, гибкости и конкурентоспособности бизнеса.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД: ОТ ИДЕИ ДО ГОТОВОЙ ОТЛИВКИ

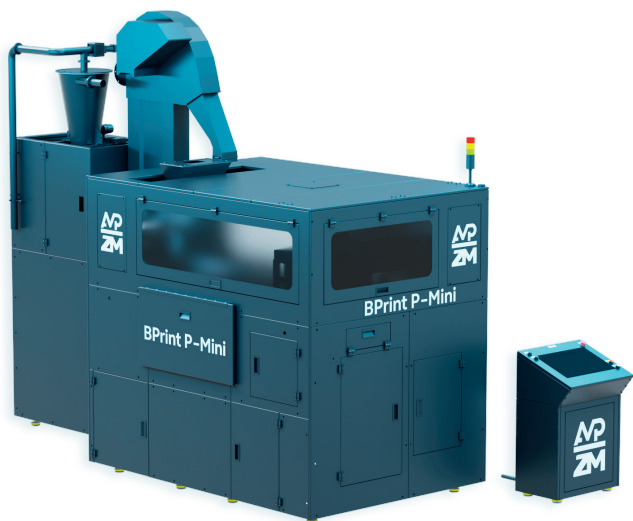
Мы осознаем, что каждый заказчик уникален. Будь то потребность в единичной сложной отливке для уникального проекта или масштабная модернизация целого цеха, **AVP ZIAS** предлагает индивидуальные решения,

построенные на принципах максимальной гибкости, адаптивности и комплексного подхода. Сотрудничество с нами — это не просто поставка оборудования, это создание синергии, направленной на достижение ваших целей.

Мы идем дальше простой поставки 3D-принтеров. **AVP ZIAS** обеспечивает полный цикл поддержки литейного процесса, охватывая все этапы — от проектирования до получения годной отливки.

♦ Поставка оборудования

Наши промышленные 3D-принтеры серии **ZIAS BPrint** (для песчано-полимерных форм) и **ПММА-принтеры** (для выплавляемых моделей) — это передовые российские разработки, специально адаптированные к суровым



условиям литейных цехов. Они отличаются надежностью, высокой производительностью и точностью, обеспечивая стабильное качество печати.

♦ Инжиниринг и проектирование

Команда экспертов готова взять на себя разработку оптимальной литниково-питающей системы, провести глубокое компьютерное моделирование литейных процессов (CAE) для минимизации дефектов и оптимизации заливки, а также разработать 3D-модели форм и стержней. Мы работаем как с аддитивными технологиями, так и с традиционной оснасткой, предлагая наиболее эффективные решения.

♦ Печать песчаных форм под заказ

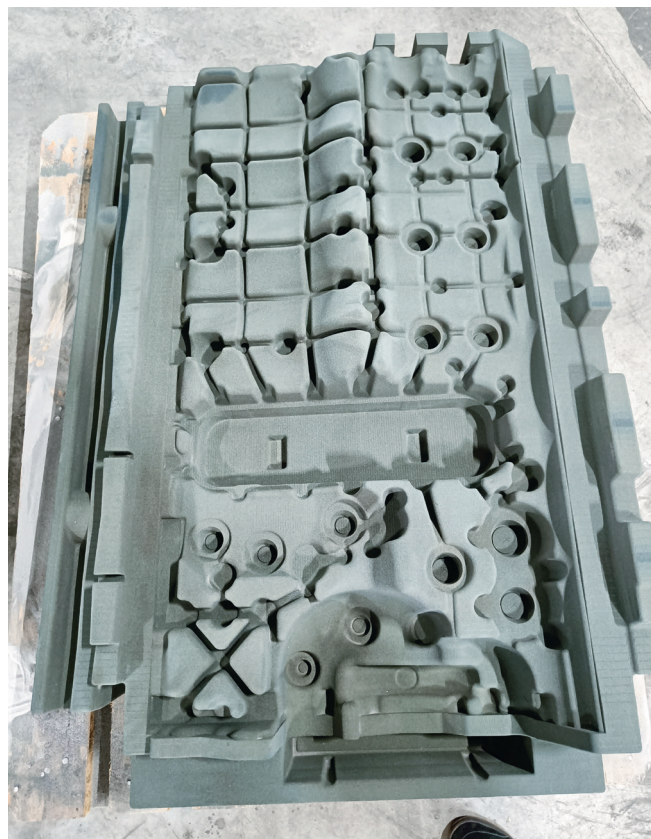
Мы можем напечатать единичную сложную форму или стержень, а также поставить партию готовых отливок (контрактное литье) из широкого спектра материалов, включая чугуны, стали, алюминиевые и медные сплавы. Также осуществляем финишную механическую обработку, предоставляя полностью готовое изделие.

♦ Изготовление оснастки

Наши компетенции распространяются на проектирование и производство высокоточной оснастки для любых литейных технологий: ХТС, ЛВМ (пресс-формы для восковых копий), ЛГМ, кокильного литья, cold-box-amin-процесса. Мы создаем оснастку, которая обеспечивает максимальную точность и производительность.

♦ Технологический аудит и внедрение

Наши специалисты проведут детальный аудит текущего литейного производства, выявят узкие места и разработают индивидуальную дорожную карту мо-



дернизации с интеграцией 3D-печати. Мы обеспечиваем полное авторское сопровождение на всех этапах — от первоначальной идеи до получения первой годной отливки, а также проводим обучение вашего персонала, гарантируя полное освоение новых технологий.

AVP ZIAS — это не просто инновации, а реальные инструменты для повышения конкурентоспособности, сокращения сроков вывода продукции на рынок и оптимизации затрат.



Команда AVP ZIAS

История российского ноу-хау в 3D-печати керамикой

Дмитрий Трубашевский

«Мы так не умеем», — сквозь зубы признались в одной из ведущих мировых компаний, когда российские инженеры показали им керамическую деталь с толщиной стенки 15 мм. Сегодня стартап «Прокерамика» не только бьет рекорды, считавшиеся невозможными, но и строит в России целую отрасль с нуля. Как им это удалось и почему их технология — это стратегический актив для страны, рассказывает основатель компании Игорь Пчелинцев.

Игорь, Вы с командой в уникальной позиции: рынок 3D-печати керамикой молод, но спрос высок. Вы одновременно первопроходцы и поставщики востребованного продукта. Как справляетесь с этой двойной ролью?

Вы правы, технология новая, примерно на том же уровне развития, где печать металлом была 10–15 лет назад. Поэтому приходится доказывать ее состоятельность. Но в то же время есть и обратная сторона. Когда люди на выставке берут в руки наше изделие с шероховатостью в 2–3 микрона, без обработки, многие вопросы отпадают сами собой. Они наглядно видят и понимают, что керамическая 3D-печать по технологии SLA дает качественный прирост даже по сравнению с отработанными традиционными методами. Это объективно помогает склонить чашу весов в нашу пользу.

Что конкретно поражает промышленников в ваших деталях на выставках? Ведь керамику можно обрабатывать и традиционно.

Решение работать вместе каждый конкретный заказчик принимает на основе состояния своих производственных «черных дыр». Одни намучились с созданием качественной оснастки для литья. Глядя на наши возможности, они сразу видят альтернативу: довериться новой технологии — и быстро получить результат. И получают! При этом нам не нужно тратить по 3–5 месяцев на изготовление оснастки. Другие же приходят с задачей, которая не решается фрезеровкой даже на самом продвинутом пятикоординатном станке. Они видят сложную форму, недостижимую традиционными способами, и это для них главный аргумент. Если у человека вопрос стоит остро, он часто минует стадию сомнений. Были ситуации, когда к нам обращались с завода и говорили: «Нужно за полторы недели получить вот такое изделие». Мы его делали, а они были в шоке, потому что считали это невозможным при движении по традиционной технологии шликерного литья.

Что касается плотности, визуально ее не оценить. Мы почти всегда печатаем образцы-свидетели, а для ответственных партий изделий иногда проводим еще и неразрушающий контроль методом КТ. Есть некоторые наработки по автоматизации анализов томографом — надеемся их реализовать в 2026 году. Это наше новое,



более «софтверное» направление: автоматизация и уверенность в отсутствии внутренних дефектов.

Керамика — сложный материал (рис. 1). Есть поговорка: «Если можешь не использовать керамику — не используй. Вынужден — приходи к нам». Многие заказчики, понимая, что керамика им нужна, не погружаются в детали и полагаются на нашу экспертизу. Мы же прекрасно знаем: если добились нужной плотности, то и все остальные параметры будут на уровне. Сейчас мы активно оформляем ТУ и паспорта безопасности на наши продукты.

Часто приходится переубеждать промышленников, имеющих негативный опыт работы с сырыми аддитивными технологиями?

Да, такие ситуации есть. Проблема часто в том, что у тех немногочисленных компаний, которые до этого пытались развивать в России керамическую аддитивку, не было ни научных компетенций, ни производственного опыта в керамике. Они думали: купим импортный принтер, получим к нему инструкцию с режимами печати и керамическую пасту — и сразу получим идеальную деталь. Но так не работает.

Керамика — это, к сожалению или к счастью, одна из самых технологичных и сложных областей для печа-



Рис. 1

ти. Нельзя просто прийти с улицы и начать печатать. Мы, общаясь с другими эксплуатантами подобных принтеров, видим, что даже достаточно квалифицированные люди сталкиваются с трудностями. Поэтому мы очень большое внимание уделяем обучению и подготовке собственных кадров, которые в дальнейшем могут обучать и клиентов. Все-таки вопросы с выходным контролем, с попаданием в геометрию — очень важные, мы стараемся не отдавать сырые детали, чтобы не портить репутацию не только компании, но и индустрии, и технологии в целом.

То есть проблема часто в недостаточно обученном персонале?

К сожалению, кадровая проблема сохраняется. В конечном счете она перекладывается на голову клиента, который купил оборудование, мы вынуждены помогать и в таких случаях. Любое оборудование: французское, китайское, американское — при правильном обслуживании, квалифицированном персонале и подобранных материалах может давать как минимум неплохой результат. Критически важны экспертиза и качество специалистов, минимизация текучки кадров.

Но у оборудования, уже поставленного в российские вузы и на заводы, есть недостатки?

Да, у них есть определенные недостатки и несовершенства, которые дают о себе знать и влияют на процесс печати. Например, если мы посмотрим на принтер 3DCERAM, а это достаточно габаритная установка с гранитной плитой, то его размер является следствием использования больших немецких лазеров, сейчас в новых моделях там уже более компактные, и уже китайского производства УФ-источники. Принтеры первой волны также довольно неэкономичные, видимо, производители специально хотели заработать побольше денег на недешевых керамических пастах, но расчет не сработал. Мы постарались минимизировать эти минусы на нашем оборудовании.

А какой лазер используете вы? Какая мощность нужна для керамики?

На первой машине пока стоит китайский, как и в со-

временных установках 3DCeram, но мы активно ведем работу с ООО «ВПГ Лазеруан» (ранее НТО «ИРЭ-Полус»). Сейчас ведется НИР по разработке полностью отечественного лазера с длиной волны 355 нм. Прототип ждем в ближайшее время. На 2026 год — амбициозный план по его внедрению для повышения локализации, ожидайте новостей.

Мощности у нас по сравнению с SLM «детские» — 3–5 Вт. И не нужна особая среда: ни аргон, ни вакуум, ни нагрев камеры. Установку можно смело оставлять на ночь без оператора.

Наш технологический партнер — ООО «Эксклюзивные решения» (бренд 3DSL). Наша совместная цель — не копировать 3DCERAM, а сделать концептуально более простую и менее трудоемкую в производстве и эксплуатации машину.

Я работал на 3DCERAM в Skoltech и считаю их пионерами. У них было много интересных решений, но время идет. Мы видим, что можно оптимизировать. Например, их принтер потребляет невероятное количество пасты и очень трудоемкие. Мы же заботимся об экономии для российских пользователей. При сопоставимых габаритах печати мы тратим как минимум в два раза меньше пасты.

Расскажите о своих планах по развитию оборудования.

Планы — сделать его ещё удобнее и быстрее по общей производительности за счёт оптимизации материалов, системы подачи и программного обеспечения.

Увеличение производительности за счет мультилазерной системы возможно?

Принципиально — да. Сейчас рассматриваем три типоразмера: 100×100 мм, 400×400 мм и даже MSLA-машину 200×200 мм. Последнюю — для кардинального ускорения производства при небольшом компромиссе по качеству. Вообще развитие линейки должно опираться исключительно на запросы нашего рынка, копировать гигантский принтер 3DCERAM C3600 точно не стоит.

Есть ли ограничения по толщине стенок при печати керамикой?

Да. Например, 3DCERAM и Lithoz заявляют о невозможности печатать изделия толщиной более 6–8 мм без трещин. Нам удалось продвинуться гораздо дальше — это наше ключевое ноу-хау. Сегодня мы готовы печатать изделия со стенкой 15 мм без трещин (рис. 2). Мы даже отправляли наши детали в 3DCERAM и получили ответ

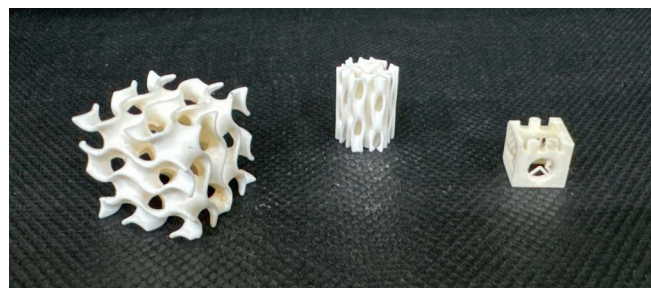


Рис. 2

сквозь зубы: «Мы так не умеем, давайте купим вашу технологию за 10 000 евро». Жадность европейских производителей иногда заставляет удивляться. Теперь они получили конкурента как минимум на локальном рынке. Здесь мы объективно в лидерах благодаря нашим компетенциям паст и термообработке, полноценному сервису и гарантии. Они ушли в 2022 году, но вернуться будет куда сложнее.

Насколько востребована мультиматериальная керамическая печать в мире?

Это больше фетиш. Я не видел ни одного предприятия, где бы это массово работало. Знаю одно место в России с гибридным принтером, но по ощущениям оно больше для вау-эффекта на выставках. Говорить о рентабельности для промышленности не приходится. Возможно, технология опережает время. А наш заказчик хочет решить проблемы здесь и сейчас. С учетом необходимости постобработки возникают огромные сложности. Разные керамики, а тем более металл и керамика, имеют разные коэффициенты линейного расширения, по-разному спекаются. Крайне сложно подобрать комбинацию, которая адекватно вела бы себя вместе при температуре за тысячу градусов.

Металлы и керамика по-разному поглощают свет. Мы работаем с ультрафиолетом: светлые керамики хорошо полимеризуются, темные (как карбид кремния) — с трудом. С металлами еще сложнее, они менее стабильны в пастах. Поэтому успешно объединить их пока не получается.

Есть вариант печати металлокерамики как готового композита. Печатать два разных материала вместе — это пока из области перспективы. Возможно, через 5–10 лет появятся соответствующие системы.

Мы намеренно не идем в такие сложные и мало доказанные на практике истории, а стараемся двигаться в сторону упрощения и популяризации. Поэтому выбор очевиден: на текущем этапе — это один материал, и что-то распространенное, типа оксидной керамики (оксид алюминия, диоксид циркония), на который уже есть спрос.

Вы работаете с зуботехническими лабораториями, с хирургами?

Общаемся. Но больше ценности видим в работе с челюстно-лицевыми хирургами. Зуботехническим лабораториям сложно предложить что-то конкурентоспособнее классической технологии, которую они используют уже 50 лет. У них цикл занимает часы, у нас — до нескольких дней. Пока мы не очень рентабельны в этой нише с точки зрения экономики.

Сегодня аддитивные технологии часто рассматривают как способ замены металлов на полимеры и композиты. Сложная керамика способна вытеснить металлические изделия?

Я думаю, что все-таки это немножко разные рынки на текущий момент. Металлическая печать уже нашла свою устойчивую нишу. Но потенциал у керамики, безусловно, огромен, и границы будут расширяться.

Я считаю, ваша ниша — стоять в каждом аддитивном центре рядом с полимерными и металлическими установками как насыщенная альтернатива.

Верно. Последний год-полтора мы видим, как, например, «Росатом» создает такие аддитивные центры (ЦАТОДы) с упором на комплексную экосистему: принтеры, постобработка, квалифицированный персонал. В случае с керамикой проще будет оснастить такие региональные кластеры нашим оборудованием, а бизнесу обращаться к ним как к центрам компетенций.

Так что керамическая печать, скорее всего, будет развиваться в формате таких технологических хабов. Они и заложат основу: и для кадров, и для опыта, и для накопления реальных кейсов.

Со временем, я надеюсь, что покупателями такого оборудования станут и вузы, и НИИ. И, возможно, в перспективе 4–5 лет — крупные медицинские центры, когда получим сертификат. Есть тренд на увеличение доли керамических имплантатов, ведь это более нейтральный, биосовместимый материал по сравнению с тем же титаном.

Возможна и нужна ли печать керамикой дома?

В гараже, конечно, можно поставить небольшой принтер и две печи. Но, если ты работаешь, например, с оксидом алюминия, тебе нужна печь на 1700 градусов. Это уже не дешевая печь, она может стоить миллион рублей. Получается, что вместе с оборудованием входной билет составит несколько миллионов рублей. Дешево, доступно ли это, каждый пусть решает сам. Работа с керамикой — нишевая технология, точно не для всех.

Устраивает ли уровень господдержки инвестиций?

Безусловно, да. За последний год мы получили очень большую поддержку от венчурного фонда. Пришло понимание, что такой проект невозможно сделать за год-два. Это долгий путь, и компании требуют определенного субсидирования, адресной поддержки. Это нормально, так работает весь мир. Когда рассказывают истории успеха, то часто умалчивают, что предыдущие десять лет команда того же 3DCERAM сидела в университетской лаборатории и получала гранты, в том числе от правительства, нет никакой невидимой руки рынка на таком раннем этапе. Именно это позволяет «добежать» до разработки и презентации первого коммерческого продукта.

Как вы выбрали технологического партнера — ООО «Эксклюзивные решения»?

Мы общались с ними достаточно давно, больше года. Делились нашим опытом по материалам и разработке лабораторной установки. Выяснилось, что основатель компании Денис Власов около пяти лет назад создал прототип керамического принтера. Это была интересная работа, но по экономическим причинам проект тогда не был доведен до конца. Установка была в другой модификации с роллерной системой подачи.

Главное, что мы поняли: у них есть необходимые компетенции для быстрой разработки и кастомизации машин. Они были готовы слушать нас, разрабатывать уникаль-

ную ракульную систему и решать ряд других сложных задач. Нам понравился их клиентоориентированный подход, они разделяли наш экосистемный взгляд и готовы были его дополнить своими решениями. Были и другие претенденты, но мы выбрали ООО «Эксклюзивные решения» и нисколько не жалею, это наш полноценный OEM-производитель.

Расскажите о ключевых отличиях вашего предложения — формирующейся экосистемы.

Да, действительно, сегодня с полной уверенностью можно говорить о том, что мы формируем продуктовую экосистему: начиная от материала, через оборудование и технологию, включая наработки по программному обеспечению в будущем, которое мы дорабатываем вместе с нашими партнерами. Также сегодня наш принтер находится в стенах АО ЦАТ ГК «Ростех» — безоговорочного лидера в развитии технологий аддитивного производства в России. Вместе мы формируем рыночный спрос и нарабатываем опыт.

Покупка оборудования — не «нажал на кнопку». Нужны консультации, обучение, работа на местах. Нужна популяризация, но главное — практика и системный подход.

Мы долго искали стратегического индустриального партнера для формирования стандартов. Логично пришли в ЦАТ ОДК. Это крупнейший аддитивный центр, который нас принял, осознал важность технологии и понял, что для развития нужен как раз гибкий стартап, который не боится экспериментировать, делать быстро, но качественно и с научной экспертизой.

Каковы ближайшие цели по работе с АО «ЦАТ»?

У нас с ЦАТ большие планы по совместному развитию технологии, ее популяризации и масштабированию на другие предприятия, прежде всего в контуре ОДК (Объединенной двигателестроительной корпорации). Поэтому ближайший год для нас критически важен с точки зрения доработки технологии, чтобы она перестала восприниматься как нечто экспериментальное и стала законченным, системным решением.

Нам необходимо прописать базовые стандарты. Поэтому для ускорения приходится брать инициативу в свои руки: хотя бы обеспечить базу для дальнейшей стандартизации и сертификации материалов. То есть начать с создания необходимых ТУ, проведения различных тестов, чтобы в дальнейшем на этой базе уже совместно с крупными организациями пробовать формировать ГОСТы. Это нужно для того, чтобы любой завод мог спокойно по этой технологии изготавливать изделия, не боясь, что сделал что-то не по инструкции. Сейчас такой базы просто нет.

Мне кажется, Ваш подход к бизнесу — фокус на результате.

Да, задача непростая — развивать технологию с нуля в текущих условиях. Моя работа в США в компании AMS OSRAM, где я занимался оптической керамикой в отделе R&D, многому научила и позволила активнее и осознаннее выстроить работу дома. Но сложности — это

к лучшему: если получится сейчас, дальше будет проще. Компания возникла благодаря вызову последних лет. В кризисное время открываются возможности.

Наша цель — создать и локализовать в России критически важную технологию, не зависящую от импорта. Уже есть клиенты, для которых главное — результат. Когда за неделю делаешь то, что другим не под силу, понимаешь ценность работы. Поэтому работаем со всеми отраслями, показываем реальную пользу.

Зреет ли что-то прорывное в недрах вашей лаборатории?

Концептуально новое создать довольно сложно и небыстро, наша задача — локализовать и вывести на поток уже известные в мире технологии. Экспериментируем по всему спектру: от самой точной лазерной стереолитографии к более быстрой MSLA и далее — к работе с крупногабаритными заготовками методом экструзии. Движемся системно, чтобы не отстать и создать в России критически важную, независимую технологию.

И, кстати, с точки зрения развития передовых технологий производства технической керамики мы сейчас находимся в историческом месте. В соседних цехах, на Тушинском машиностроительном заводе (ТМЗ), ровно 40 лет назад активно шла работа по производству керамических термозащитных покрытий для космического челнока «Буран». Это тоже мотивирует никогда не сдаваться и идти к цели, какой бы сложной она ни была.

2026-й все ждут сложным. Каким Вы его видите? Какие главные планы?

Год будет этапом превращения из стартапа в системную компанию, предстоит много работы. Сложно, но интерес есть — мы уже доказали, что невозможное возможно. Например, наши керамические стержни для лопаток переходят от единичных образцов к мелким сериям.

По материалам закрываем 80% запросов, но рынок растет. Работаем на опережение с университетами и компаниями.

Главный план на 2026 — первый серьезный выход на международный рынок через выставку в Китае. Это рубеж.

Послесловие

Интервью Игоря Пчелинцева — это не просто рассказ о нишевой технологии. Это анонс дорожной карты создания в России целой новой отрасли. Команда «Прокерамика» уже перешла от доказательства концепции к созданию экосистемы: от отечественных материалов и оптимизированного оборудования до обучения кадров и партнерства с ключевыми промышленными гигантами. Их главный актив — не просто принтер, а уникальная экспертиза, которая доказывает, что сегодня реальный суверенитет — это не импортозамещение по каталогу, а способность создавать и масштабировать собственные решения, оказывающиеся эффективнее и экономичнее зарубежных. ■

Значимое событие

В декабре 2025 года Государственный научный центр РФ НПО «ЦНИИТМАШ» (входит в Машиностроительный дивизион Госкорпорации «Росатом») изготовил и отгрузил два 3D-принтера нового поколения для печати металлическими порошками, изготовленных по индивидуальному дизайну. Они позволят изготавливать крупногабаритные детали сложной геометрической конфигурации и работать с ограниченно свариваемыми сплавами. Решение упростит проведение сервисных и ремонтных работ оборудования, ранее установленного на заводах. Аддитивные системы работают по технологии селективного лазерного сплавления металлопорошковых композиций (SLM). Отгруженные 3D-принтеры отличаются увеличенной зоной рабочей поверхности и возможностью работать при температурах до 800 градусов Цельсия. Они оснащены передовыми системами контроля и отечественным программным обеспечением, которые позволяют следить за качеством изготовления деталей на каждом этапе.

Установка MeltMaster3D-550 укомплектована четырьмя лазерно-оптическими системами и одной из самых больших рабочих зон среди введенных в эксплуатацию отечественных принтеров (550×450×450 мм), что позволяет изготавливать крупногабаритные детали для оснастки и запасных частей основного оборудования на промышленных предприятиях. Система MeltMaster3D-350BT единственная среди отечественных аналогов обладает способностью нагревать рабочую поверхность до 800 градусов Цельсия для выращивания изделий из наиболее сложных и склонных к трещинообразованию



сплавов. На первом этапе 3D-принтеры будут работать в тестовом режиме, обеспечивая производство элементов оснастки и запасных частей основного оборудования металлургического завода «АЭМ-Спецсталь» (Машиностроительный дивизион «Росатома»), в дальнейшем планируется переход к аттестации и изготовлению более крупных изделий, включая продукцию для ключевых заказчиков.

Генеральный директор НПО «ЦНИИТМАШ» Виктор Орлов отметил, что внедрение таких систем создает основу для развития цифровой паспортизации аддитивных материалов и изделий, включающей детальный «цифровой след» формирования структуры и свойств. Это обеспечивает полную прослеживаемость характеристик на всех этапах жизненного цикла детали и открывает возможности для дальнейшего развития современного формата цифровой сертификации компонентов машиностроения.

Награда за новинку

Компания «Лазерные системы» одержала победу в премии «Время инноваций» в номинации «Продукт года» со своей новинкой — установкой для печати крупногабаритных деталей M-450-L, выпущенной на рынок весной 2025 года. Этот SLM-принтер имеет поле построения 500х500х500 мм и предназначен для широкого спектра отраслей промышленности. Оборудование внесено в ГИСП и запущено компанией в серийное производство.

Для «Лазерных систем» запуск в серийное производство промышленной SLM-установки M-450-L является ключевым событием и значимым итогом работы в 2025 году. Это оборудование выступает одной из наиболее заметных отечественных разработок в своем сегменте, способной производить крупногабаритные металлические детали сложной геометрической формы с использованием широкого спектра металлических порошков.

«Опыт последних лет, особенно 2022 года, наглядно продемонстрировал критическую важность надежного сервиса и всесторонней поддержки для российских предприятий. Перед нашими клиентами остро встал вопрос обеспечения непрерывности производства, что



повысило востребованность аддитивного оборудования. Мы осознаем: для российского потребителя приобретение оборудования неразрывно связано с получением качественных сопутствующих услуг, обучения и оперативной круглосуточной поддержки. Именно поэтому в 2026 году «Лазерные системы» сохранит и усилит свой акцент на этих ключевых аспектах, укрепляя долгосрочное доверие и партнерство», — подчеркнул Алексей Борейшо.

ЛИДЕРЫ ФОРМЫ

ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
ПРЕМИЯ ПО АДДИТИВНЫМ
ТЕХНОЛОГИЯМ



В Москве наградили лучших в области аддитивных технологий

5 декабря в Москве при поддержке Госкорпорации «Росатом» и Министерства промышленности и торговли Российской Федерации наградили победителей первой всероссийской премии по аддитивным технологиям «Лидеры Формы», учредителем которой выступила Ассоциация развития аддитивных технологий.

В 2025 году Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ) отметила пятилетие с момента создания. И, по утверждению признанных экспертов отрасли, выступивших на пленарном заседании, этот временной отрезок был наполнен множеством событий и проектов, отражающих развитие аддитивных технологий в России. Кажется, совсем недавно, пять лет назад, аддитивные технологии внедрялись на базе импортного оборудования и материалов и задачи решались на уровне любительского интереса. Сейчас же благодаря эффективной работе как корпораций, так и малого и среднего бизнеса имеется полная технологическая цепочка на базе серийного отечественного оборудования, разрабатываются новые перспективные материалы, в том числе высоколегированные жаропрочные сплавы, сделан шаг от прототипирования и макетирования к изготовлению аддитивным способом особо ответственных сборочных единиц и деталей, создаются центры аддитивных технологий общего доступа, принята к работе и выполняется «Стратегия развития аддитивных технологий до 2030 года», силами университетов осуществляется научная и образовательная деятельность, создано сообщество единомышленников, которое верит в успех развития этого инновационного направления. А на повестке дня новые задачи: разработка нормативной документации для ответственных производств в тесном сотрудничестве с контролирующими органами, помимо достижения технических характеристик изделий актуальны вопросы ценообразования и оптимизации финансово-экономических моделей, важными являются популяризация аддитивных технологий и обеспечение устойчивого спроса на продукцию. Ассоциация АРАТ выступает объединяющим

звеном во всех указанных направлениях деятельности, понимая, что стандартизация, формирование кадрового потенциала и материальной базы позволят обеспечить масштабируемость производств, снизить себестоимость продукции и обеспечить выход на новые рынки.

И, конечно, демонстрацией успеха стали проекты внедрения 3D-печати, которые представили на конкурс «Лидеры Формы» ведущие российские компании, в том числе различные предприятия и подразделения в составе «Росатома», «Ростеха», РЖД и «Лукойла», а также разработчики оборудования, научно-образовательные центры и университеты. Реализованные кейсы продемонстрировали широкое применение аддитивных технологий: от напечатанных на 3D-принтере домов до деталей для ракет-носителей и индивидуальных медицинских имплантатов. Все заявленные проекты успешно реализованы в 2025 году на стадии промышленного применения.

В состав жюри конкурса вошли признанные эксперты в области аддитивных технологий, представители научного сообщества, промышленных предприятий и профильных ассоциаций: директор по технологическому развитию госкорпорации «Росатом» Андрей Шевченко, исполнительный директор АРАТ Ольга Оспенникова, заместитель генерального директора по развитию проектной деятельности и внутрикооперационных связей ИСРД АО «НПО Энергомаш» им. академика В.П. Глушко Денис Пудков, профессор, заведующий кафедрой «Лазерные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана Александр Григорьянц, генеральный директор АО «ЦАТ» Алексей Мазалов. Проекты оценивались по инновационности, экономической эффективности, социальной значимости и качеству исполнения.



Рис. 1. Индивидуальный имплантат из ВДФ-ТеФЭ для устранения дефекта скуло-орбитального комплекса. Фото: ТПУ

Победителями первого всероссийского конкурса по аддитивным технологиям «Лидеры Формы» в восьми номинациях стали следующие организации.

• **Лучший проект в сфере медицины: индивидуальные отечественные полимерные имплантаты для онкологических больных — Томский политехнический университет (ТПУ) и НИИ онкологии ТНИМЦ.**

ТПУ в тесной связке с коллегами из НИИ онкологии разрабатывает имплантаты нового поколения для челюстно-лицевой хирургии. Особый акцент сделан на полный технологический цикл — от подготовки полимерного порошка для 3D-печати до контроля качества напечатанного изделия.

Имплантаты создают при помощи 3D-печати из фторсодержащих полимеров по индивидуальным размерам. Их преимущество: малый вес, быстрая приживаемость, отсутствие артефактов при лучевой терапии. Конструкцию изготавливают перед операцией на основе данных компьютерной томографии пациента, которые получают из НИИ онкологии, где изделия уже прошли клинические испытания. Врачи прооперировали шесть пациентов с злокачественными опухолями в челюстно-лицевой области. Выполнение проекта от идеи до реализации заняло три года.

• **Лучший проект в сфере авиации: двигатель демонстратор технологий ПД-35 с применением аддитивных технологий — АО «ОДК-Авиадвигатель».**

Предприятием создан первый российский двигатель тягой 35 тонн, в котором практически 30% деталей изготовлены с помощью аддитивных технологий (рис. 2). Для 3D-печати использовались отечественные материалы, более десяти из них на основе никеля, титана, стали и кобальт-хрома. Это детали компрессора (впервые в России выполнялись по аддитивным технологиям), камеры сгорания, выходных устройств и мотогондолы, внешних систем ГТД, редукторов и трансмиссии и, самое главное, детали турбины низкого давления. Двигатель проходит испытания, к напечатанным деталям замечаний нет.

• **Лучший проект в сфере искусства: лаборатория создания макетов оборудования АЭС (лаборатория 3D-печати) — ООО «АтомИнтелМаш» (входит в Электротехнический дивизион «Росатома»).**



Рис. 2. ПД-35 и ротор ТРД ДДТ ПД-35 производства АО «ОДК-Авиадвигатель»

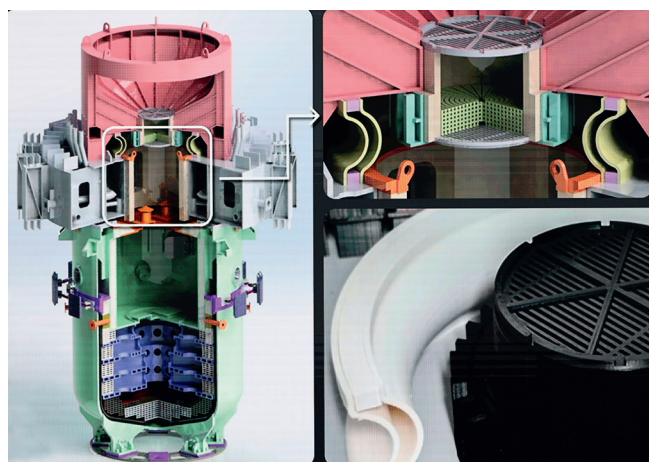


Рис. 3. Интерактивный макет ловушки расплава, выполненный Лабораторией создания макетов оборудования АЭС ООО «АтомИнтелМаш»

Трехмерные высокоточные объекты ключевых составляющих АЭС в масштабе 1:10 создаются как в целях оснащения учебно-тренировочных центров в рамках подготовки персонала АЭС, так и для размещения на площадках образовательных центров в научно-просветительских целях.

• **Лучший проект в сфере строительства: учебный центр аддитивного строительства — компания Smart Build Service.**

Компания активно поддерживает инициативу реализации пятилетнего плана 1 000 000 кв. м на малоэтажное строительство по 3D-технологии до 2030 года, что позволит отрасли получить толчок к развитию. В рамках этой инициативы компания создает сеть центров обучения, сервиса, продаж и обслуживания современных строительных 3D-принтеров и развития технологий. Планируется, что их будет порядка двенадцати по всей стране. Уже открыты центры в Клинском районе Московской области (рис. 4), в Ставрополе, в Томске.

Центр в Подмоскowie, представленный на суд жюри, — это двухэтажное здание, выполненное с помощью 3D-печати, высотой 6,8 м, объединенное с помещением цеха (высота потолков 11,7 м). Оба объекта соединены панорамными оконными вставками и сэндвич-панелями, создавая единый ансамбль современной архитектуры и демонстрируя возможности технологии.



Рис. 4. Учебный центр, построенный компанией Smart Build Service в Клинском районе. Фото Елены Данилюк

Комплекс включает в себя: жилой кампус, учебные аудитории, цех. Пространство рассчитано на одновременное обучение восьми студентов.

Важно, что на этапе строительства проводилась исследовательская работа: тесты различных типов смесей по индивидуальным рецептурам, различные способы печати и проектирования, предпринимались попытки создания смесей на месте.

• Лучший проект в сфере промышленности:
«Перспективы применения аддитивных технологий для ответственных изделий оборудования НПЗ» — ООО «ЛИНК» (входит в группу «Лукойл»).

Приоритетом компании является качество выпускаемых продуктов. Поэтому для внедрения аддитивных технологий для изготовления деталей оборудования для нефтеперерабатывающих заводов были проведены НИОКР. Особый акцент делался на качество, надежность, усталостную прочность изделий. Технология должна была быть конкурентна и экономически выгодна.

Для изготовления единичных сложнопрофильных механически нагруженных деталей для оборудования НПЗ было принято решение использовать технологию SLM (рис. 5). Приведенное как пример изделие (рис. 5а) прошло весь цикл исследований. Было проведено исследование физико-механических характеристик,



а) б) в)
Рис. 5. Изделия, напечатанные по SLM-технологии ООО «ЛИНК» для оборудования НПЗ

структур на nano-, микро-, макроуровне, полученных после различных режимов построения. Были также отработаны режимы постобработки, определено влияние режимов термообработки на изделие. В ходе опытно-промышленных испытаний (в течение 2000 часов) рабочие характеристики агрегатов с напечатанными деталями соответствовали заявленным, значения вибраций находились в пределах нормы, визуальный осмотр деталей дефектов не выявил. После окончания испытаний деталь продолжили эксплуатировать.

Данная работа подтвердила, что применение аддитивных технологий позволяет ускорить процесс поставки ЗИП к насосному оборудованию, что повышает независимость нефтеперерабатывающей промышленности.

• Молодой аддитивный предприниматель года:
«Проект создания собственного производства в 14 лет» — творческое объединение «3D Гараж», созданное на базе ИнТехЛицея.

Познакомившись с аддитивными технологиями в школе, на базе которой при поддержке Госкорпорации «Росатом» существует ЦАТОД, команда подростков-единомышленников создала собственное мини-производство в гараже. Сначала была просто печать сувениров, далее освоили настройку и ремонт 3D-принтеров, постобработку, перешли к выполнению собственных проектов. Был разработан онлайн-бот для расчета себестоимости моделей. Новые навыки позволили выйти за пределы гаража. Ребята участвуют в выставках и конференциях (рис. 6), работают с магазинами, кафе, салонами красоты, формируя клиентскую базу, наращивают знания и компетенции.



Рис. 6. Победители в номинации «Молодой аддитивный предприниматель года» — творческое объединение «3D Гараж», созданное на базе ИнТехЛицея



Рис. 7. Открытие центра аддитивных технологий на базе детского сада № 159 в г. Ижевске. Фото: ГК «Росатом»

• **Открытие года: проект «Экосистема центров аддитивных технологий общего доступа» — Топливный дивизион «Росатома» (бизнес-направление «Аддитивные технологии»).**

Миссия «РосАТ» (Госкорпорация «Росатом») как интегратора аддитивных технологий в том, чтобы дать возможность каждому сделать инновации частью повседневной жизни. И проект по созданию ЦАТОДов совмещает в себе и образовательную, и научную, и исследовательскую, и производственную деятельность с целью дальнейшей коммерциализации. На текущий момент открыто девять центров аддитивных технологий общего доступа, а в Ижевске в этом году запущена экосистема, которая объединила и вуз, и детский сад, и школу (рис. 7). Как итог совместно с вузами разработаны 17 программ по направлению «Аддитивные технологии», в ЦАТОД обучены 118 студентов и специалистов предприятий, более 217 детей приняло участие в мастер-классах по 3D-печати и 3D-моделированию.

• **Проект года: «Технология и оборудование прямого лазерного выращивания монококовых сложнопрофильных крупногабаритных оболочек» — победители Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ) и АО «Композит».**

В рамках реализации проекта впервые продемонстрирована возможность использования прямого лазерного выращивания изделий из алюминиевых сплавов для изготовления крупногабаритных оболочек. На самой большой установке аддитивного производства металлических заготовок в России (максимальный размер детали: диаметр до 3000 мм, высота до 2000 мм) изготовлен полномерный макет переходного отсека ракеты-носителя диаметром 3 метра и высотой 50 сантиметров (рис. 8). На сегодняшний день это самое большое в России выращенное металлическое изделие. Оно стало на 40% дешевле, на 20% легче отсека, используемого на текущий момент, и было выполнено в 2,5 раза быстрее.

В рамках установки реализуются следующие технологические операции: лазерная наплавка металлических порошков, лазерная наплавка проволоки, дуговая наплавка проволоки, лазерная сварка. Она имеет герметичную кабину с контролируемой атмосферой и обеспечивает производительность до 300 см³/ч.

Среди других проектов были также представлены очень интересные работы, заслуживающие внимание.

Печать домов на 3D-принтере — строительство удивительных домов в экопарке «Ясно Поле» (рис. 9).



Рис. 9. Напечатанный дом в экопарке «Ясно Поле»

Одной из важнейших задач, которую поставил перед собой основатель экопарка и компании WonderDom Дмитрий Черепков, является освоение и развитие аддитивных технологий в строительстве, создание базы инженерных решений, развитие отечественного оборудования, апробация различных составов материалов.

Проект компании Stereotech 5D-принтер — синтез аддитивных технологий, промышленности и образования. Компания получила в 2025 году три международных премии, в т.ч. в номинации «Передовое производство» на конкурсе в Китае, куда было подано порядка 3500 заявок, что открывает возможности поставки оборудования в страну, которая сама массово производит принтеры.

Целью проекта дирекции по ремонту тягового подвижного состава филиала ОАО «РЖД» стало создание центра аддитивных технологий, который объединяет технологии 3D-сканирования, моделирования и 3D-печати для задач железнодорожных предприятий. Среди решаемых задач: отработка полного цикла изготовления 3D-деталей, снижение эксплуатационных расходов, связанных с простоем оборудования из-за неисправностей, формирование основы для создания типового центра коллективного проектирования (ЦКП). На текущий момент разработан регламент, закуплено оборудование, сформирован каталог из более чем ста 3D-моделей критически важных деталей.

От Самарского университета был представлен проект «Инновационное производство теплообменника ГТД методом селективного лазерного сплавления» (рис. 11).

Рис. 10. 5D-принтер компании Stereotech →

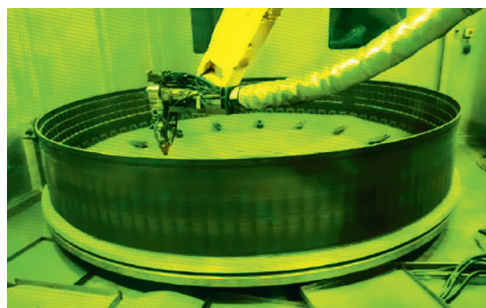
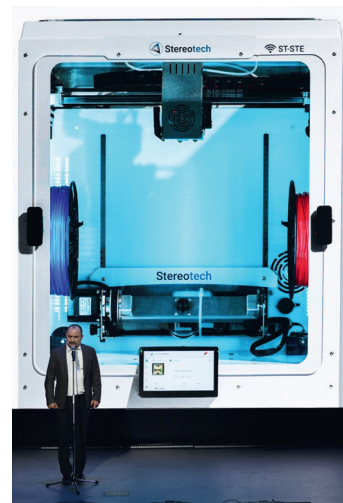


Рис. 8. Реализация технологии прямого лазерного выращивания из алюминиевых сплавов для изготовления крупногабаритных оболочек ракет. Фото: СПбГМТУ



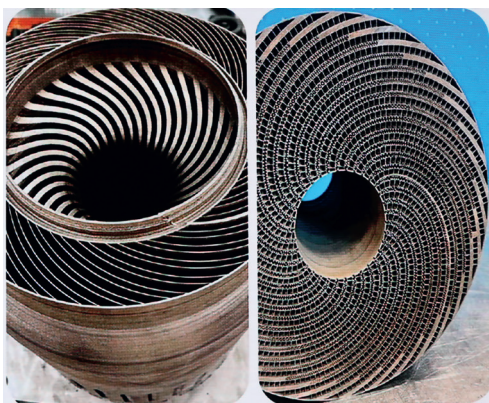


Рис. 11. Теплообменник ГТД, напечатанный по технологии SLM в Самарском университете



Рис. 12. Ручка дверцы станции ПМХ, выполненная по технологии АКТ ОСК «Арктика»

Эта сложное изделие является вызовом не только для специалистов университета, но и всей отрасли. Габариты изделия: диаметр 310 мм, высота 350 мм. Геометрия: уникальная конструкция с тонкостенными каналами в виде спирали. Материал: 12Х18Н10Т. Печать осуществлялась в течение 744 часов (31 сутки). В ходе проекта решались такие проблемы, как: работа с большим объемом STL-модели (2Гб), трудности формирования управляющей программы, формирование тонкостенного канала ($l = 8$ мм), сведение двух лазеров и др.

НОЦ «Российская Арктика» и ОСК «Арктика» представили аддитивно-компаундную технологию (АКТ). По сути, это объединение двух технологий: 3D-печати и литья, когда в напечатанную пустотелую оболочку заливается эпоксидная или полиэфирная смола (или другие наполнители), которые далее проходят процесс отверждения. В ходе проведенных работ первоначальная задача по ремонту ручки дверцы станции ПМХ (рис. 12) — единичного образца электрооборудования — трансформировалась в разработку масштабной технологии, которая на сегодняшний день внедрена на предприятиях ОСК «Арктика» и используется для ремонта и обслуживания технологического оборудования, импортозамещения и изготовления оснастки, снижает стоимость и время ремонта электрооборудования. Существование множества модификаций эпоксидных смол позволяет регулировать

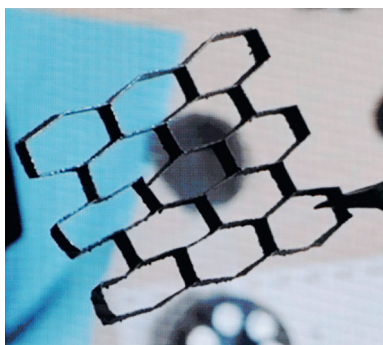


Рис. 13. Экспериментальное изделие с эффектом памяти формы НИТУ МИСИС



Рис. 14. Примеры печати по технологии MEX-MShape компания M-Shape

их характеристики (предел прочности, вязкости, эластичности, теплостойкости) в широком диапазоне свойств.

Проект «Создание инновационного самостоятельного международного технологического комплекса для научной и производственной деятельности в области аддитивных технологий» АО «Аддитивные технологии и материалы» выполнялся в сотрудничестве с НИИ ЦАТИМ на базе ФГАОУ «РУДН» им. Патриса Лумумбы. Компания специализируется на проведении НИОКР, в том числе оптимизации работы SLM-устройств и сопутствующей оснастки, внедрении и анализе специализированных программ для улучшения аддитивного производства, подготовке кадров.

Изготовление деталей из никелида титана с мультитадийным эффектом памяти формы методом селективного лазерного плавления (рис. 13) — проект НИТУ МИСИС. Для того чтобы ответить на вопрос о закономерностях процесса, было проведено моделирование ванны расплава с учетом бикомпонентного испарения, поставлен эксперимент влияния температуры печати на эффект памяти формы, был реализован эффект памяти формы, а эта концепция, по сути, является фундаментом для технологии 4D-печати.

Компания M-Shape представила Проект экструзионной 3D-печати металлом MEX-MShape — комплексное решение на базе технологии MEX/FGF. Данная технология позволяет производить металлические изделия за счет шнековой экструзии гранулированного материала с последующим удалением связующего и спекания. На сегодня освоена печать материалов: несколько типов нержавеющей стали, жаропрочный сплав Inconel 718, ВТ6, керамика Al_2O_3 (рис. 14). Девиз команды — «Печатаем металлом как пластиком».



гическому развитию Госкорпорации «Росатом» Андрей Шевченко.

«Премия «Лидеры Формы» стала площадкой для демонстрации достижений российской отрасли и стимулом для дальнейшего развития инноваций в области 3D-печати», — отметил директор по техно-



исполнительный директор Ассоциации ПАТ, советник президента АО «ТВЭЛ» Ольга Оспенникова.

«Для обеспечения технологического суверенитета нашей страны крайне важно объединение усилий науки, бизнеса и государства для быстрого и эффективного внедрения аддитивных технологий во всех сферах промышленности. Премия "Лидеры Формы" — это результат наших усилий по созданию комплексных инновационных прорывных решений в различных отраслях российского бизнеса», — сообщила

НОЧЬ ТЕХНОЛОГИЙ

ЛИДЕРЫ ФОРМЫ



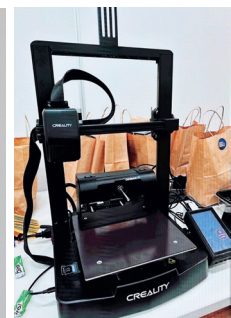
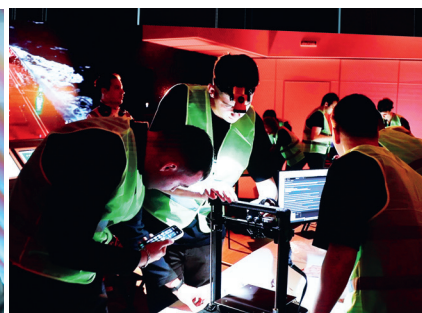
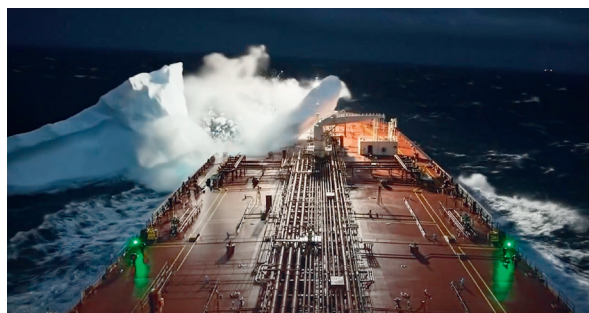
Параллельно с премией при поддержке ИЦ «Технет» прошел **студенческий хакатон «Ночь технологий»**. Команды из двенадцати ведущих вузов России, специализирующихся на 3D-печати, соревновались в решении реальной производственной задачи с использованием аддитивных технологий.

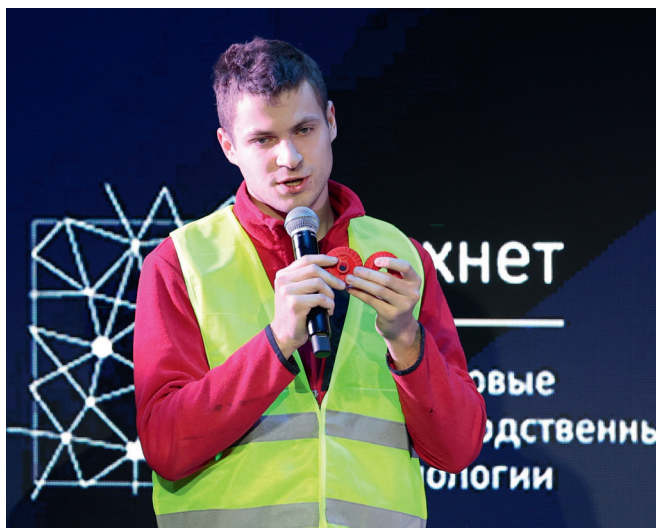
В хакатоне приняли участие студенты из МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИЯУ МИФИ, Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, СПбГМТУ, Белгородского ГАУ, РТУ МИРЭА, УдГУ, КНИТУ-КАИ, ЮФУ, МГТУ «СТАНКИН», СПбПУ и КГЭУ.

Сюжет, пусть и вымышленный, создал у участников соревнования ощущение причастности к большому делу, а практические задания, приближенные к реальности, заставили мобилизовать все свои знания и умения. Подготовленный компанией «Стереотек» фильм продемон-

стрировал яркие эпизоды прошедшей ночи, вовлекая присутствующих в волнующую историю.

В водах Северного Ледовитого океана с айсбергом сталкивается судно «Прометей», на борту которого груз экспериментального ракетного топлива. Команде молодых ученых необходимо устранить пробойну, чтобы спасти судно и предотвратить экологическую катастрофу. Вокруг вода и темнота, адреналин зашкаливает... Необходимо откачать воду из трюма. Но проблема в том, что у насоса испортилась крыльчатка. Ее можно быстро изготовить с помощью 3D-печати, но не все просто. Есть три принтера, но не на ходу, при свете фонарей нужно собрать и откалибровать действующее устройство. Потом поиск документации на крыльчатку в одной из коробок, которые упали и перемешались во время столкновения. А далее основное техническое задание: моделирова-





ние колеса по общей фотографии насоса, выполнение замеров основных посадочных и габаритных размеров крыльчатки, проектирование 3D-модели детали, подготовка к печати, печать и постобработка детали, проведение испытаний. Те, кто прошел основное задание, получали задачи со звездочкой: оценка механических повреждений радиолокационной тарелки с помощью 3D-сканера и создание модели крыльчатки при помощи искусственного интеллекта.

При оценке работы команд жюри пришлось учитывать все нюансы: эффективность работы насоса с новой крыльчаткой, обоснование выбора материала и стратегии печати, скорость и полноту выполнения заданий и даже яркое представление результатов работы.

Победителями хакатона «Ночь технологий» стали:

1 место — ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»: Владислав Сухо-

носов, Богдан Бутрим, Матвей Немцов, Мария Вагнер, Александр Аникин.

2 место — МГТУ им. Н.Э. Баумана: Илья Шмуклер, Артем Попов, Александр Поликахин, Олег Сампара, Константин Шеин.

3 место — Южный федеральный университет: Виктор Губанов, Александр Десятников, Даниил Гамаш, Родион Куцевол, Кирилл Ефименко.

Команда НИЯУ МИФИ получила возможность пройти оплачиваемую стажировку в Центре аддитивных технологий «Росатома».

«В ближайшей перспективе специалисты по аддитивным технологиям будут нужны во всех отраслях промышленности. Мы в «Росатоме» участвуем в разработке образовательных программ, а также активно поддерживаем молодых перспективных специалистов и будущих инженеров аддитивного производства. Результаты сегодняшнего хакатона показывают, что наше будущее в надежных руках», — отметил **директор бизнес-направления «Аддитивные технологии» Топливного дивизиона «Росатом» Илья Кавелашвили**.

Организаторы с большой благодарностью отметили компании, которые предоставили реквизит для соревнований: костюмы (ООО «НИТИ»), 5D-принтеры (ООО «Стереотек»), филаменты (REC), 3D-сканеры (RangeVision), а также лично Алексея Тулаева, директора по развитию компании «Стереотек», — капитана корабля, яркого лидера, объединявшего и вдохновлявшего команды.

Премия «Лидеры формы» и хакатон «Ночь технологий» стали знаковыми событиями для российской индустрии 3D-печати, продемонстрировав ее потенциал и вклад в развитие различных отраслей экономики России.



Перспективные технологические решения в области 3D-печати

В рамках выставки *Weldex* в Москве состоялся круглый стол «Перспективные технологические решения в области 3D-печати», где обсуждались направления развития аддитивных технологий в РФ, их роль в обеспечении технологического суверенитета, вопросы поставки материалов и комплектующих в условиях импортозамещения, а также результаты внедрения в целый ряд отраслей.



«Аддитивные технологии являются одним из самых бурно развивающихся направлений, уступая по темпам роста только IT-сектору, и их широкое внедрение в российскую промышленность является актуальной задачей», — считает **Ольга Оспенникова**, модератор дискуссии, исполнитель-

ный директор Ассоциации развития аддитивных технологий, советник президента АО «ТВЭЛ». Ожидается, что к 2030 году рынок аддитивных технологий в России достигнет 58 млрд рублей, тогда как по итогам 2024 года его объем составил около 19 млрд рублей.

Доклады специалистов ведущих компаний, занятых в сфере аддитивных технологий, подтвердили слова модератора, отразили уровень достижений, круг прорабатываемых вопросов, векторы развития и подчеркнули практическую ценность предлагаемых отечественных решений.



АО НПО «ЦНИИТМАШ» выступает как разработчик головных образцов оборудования, новых технологий и новых конструкций, в том числе в аддитивном направлении. **Виктор Орлов, генеральный директор института**, представил линейку разработанного оборудования, от-

метив, что его сложность итерационно возрастала за последние годы. Часть этих машин уже несколько лет работает на площадках заказчиков, а один из принтеров функционирует в режиме 24/7 с месячными интервалами обслуживания. Отличительной чертой разработок ЦНИИТМАШ, по мере перехода от опытных работ к серийному выпуску изделий, стало активное внедрение дополнительных систем контроля самого технологического процесса, а не только разравнивания порошкового слоя.

Отдельно докладчиком был представлен проект последних двух лет — разработка технологии спекания керамических материалов в стандартной SLM-машине без применения связующих веществ (рис. 1). По словам спикера, это позволяет обеспечить высокую чистоту

материала, что критически важно для ряда отраслей. Технология была отработана на исследовательской установке, а ее работоспособность подтверждена на опытных образцах. На текущий момент уже сдана заказчику пилотная машина с рабочей зоной 1×1 метр, технологически обеспечивающая спекание карбида кремния.



Рис. 1. Технология лазерного спекания керамических материалов без использования дополнительных связующих. Фото: АО НПО «ЦНИИТМАШ»

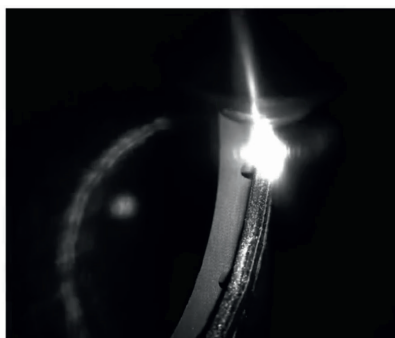
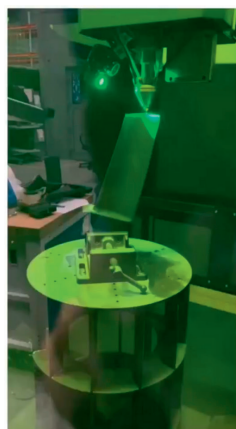
В качестве вектора дальнейшего развития была названа диверсификация. В современных экономических условиях, как отметил Виктор Орлов, невозможно создавать каждый принтер под одно целевое изделие. Необходимы «средневзвешенные» машины, которые, обладая комплексом систем контроля и технологической начинкой, позволяют печатать широкую номенклатуру изделий из различных исходных материалов — от металлических порошков до керамики.



Компания «Лазеры и аппаратура ТМ» начала заниматься аддитивными технологиями еще с 2016 года, но вышла на публичное поле только после тщательной отработки решений. Основной фокус компании сосредоточен на машиностроительных применениях, а ключевыми заказчиками яв-

ляются предприятия авиационного двигателестроения, космической отрасли и других ответственных секторов промышленности.

Рис. 2. Коаксиальная порошковая наплавка. Сравнение порошков различных производителей. Фото: НПЦ «Лазеры и аппаратура»



СРАВНЕНИЕ INCONEL 625 ОТ ДВУХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ. РОСТ ИЗДЕЛИЯ



Получение равномерной геометрии с минимальной постобработкой



В своем выступлении **Анна Цыганцова, генеральный директор НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ»**, акцентировала внимание не на технических характеристиках оборудования, а на фундаментальных требованиях, которые предъявляются к нему на реальном производстве. Были выделены ключевые факторы, определяющие эффективность внедрения: надежность при работе в долговременном цикле, который может достигать нескольких недель, автономность системы, напрямую влияющая на эксплуатационные расходы, и общая производительность, учитывающая не только скорость печати, но и трудоемкость сопутствующих процессов, таких как постобработка.

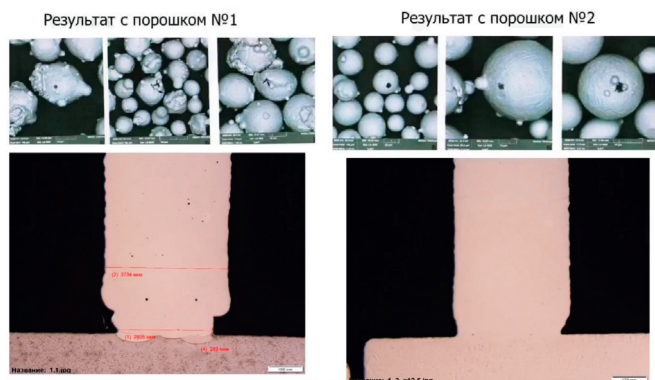
Особое внимание было уделено вопросу повторяемости и стабильности характеристик не только от слоя к слою, но и вокруг всего рабочего поля печати (рис. 2). Спикер подчеркнула, что заявленные параметры должны обеспечиваться не на тестовых образцах, а уже в ходе непрерывной работы над крупными изделиями. В этой связи была упомянута методика приемки, разработанная ВИАМ, как пример системного подхода к оценке возможностей аддитивного оборудования.



Продолжил тему производительности **Дмитрий Трушников, генеральный директор компании «Иксвелд»**. В своем выступлении он отметил, что отрасль постепенно проходит этап первичного внедрения аддитивных технологий, и сейчас на первый план выходят во-

просы их экономической целесообразности и окупаемости. Компания специализируется на проволоочной наплавке, и в своем докладе Дмитрий Трушников подробно остановился на технологических аспектах, обеспечивающих экономическую эффективность этого метода.

Были представлены различные технологические подходы, включая использование лазерных, плазменных и дуговых процессов. Выбор конкретного метода зависит от требований к точности и типа обрабатываемого материала — алюминиевых, титановых или магниевых сплавов. Особое внимание в выступлении было уделено важности перехода на отечественные роботизированные



решения. Спикер рассказал, что ранее компания использовала роботов-манипуляторов зарубежного производства, но их программное обеспечение не обеспечивало необходимый для сложных задач уровень оперативного обмена данными. В текущем году был успешно запущен проект с российским производителем, который разработал специализированное ПО, позволяющее в реальном времени обмениваться данными между контроллером и роботом-манипулятором, что устранило ключевое ограничение при печати крупногабаритных изделий.

Центральной темой доклада стало внедрение системы адаптивного управления процессом проволоочной наплавки. Эта система использует контроль электрического сопротивления между механизмом подачи проволоки и наплавляемой подложкой. Такой подход позволяет динамически регулировать подачу проволоки, исключая этот параметр из числа переменных при отработке технологии и обеспечивая стабильность и воспроизводимость процесса. Как пояснил Дмитрий Николаевич, при традиционной наплавке ошибка, вызванная разным теплоотводом вдоль траектории, может накапливаться, достигая нескольких миллиметров. Система обратной связи компенсирует эти отклонения от слоя к слою, исправляя случайные ошибки на последующих этапах печати, что критически важно при многосуточной работе над крупными объектами.

Также были представлены конкретные примеры, иллюстрирующие экономическую эффективность технологии. Один из проектов касается восстановления лопатки из титанового сплава VT6 для моноколеса, где себестоимость процесса составила около 50 тысяч рублей, что оказалось экономически оправданным для воз-



Рис. 3. Лопатка шахтного вентилятора, выращенная в трех координатах лазерно-дуговой наплавкой (материал: ВТ6 проволока диаметром 1,2 мм, высота слоя: 0,8 мм, габариты: 150×200×35 мм, пропуски: 0 мм, масса наплавки 0,6 кг). Обрабатываются только посадочные поверхности. Затраты на материалы: проволока — 6 т.р., газ аргон — 5 т.р., электричество — 7 т.р., итого 18 т.р. Время выращивания: 2 часа. Фото: компании xWeld

врата в строй дорогостоящего узла. В другом кейсе для шахтной вентиляции удалось получить готовую стальную лопатку с шероховатостью 8–12 мкм, которая не требует дальнейшей механической обработки, кроме посадочных поверхностей (рис. 3).



Алексей Ким, директор департамента аддитивных технологий компании «Лазерные системы», акцентировал внимание на экономике аддитивного процесса, в частности, SLM-технологии. Он заявил, что технология получает развитие только в том случае, если демонстрирует четкий

и понятный экономический эффект. Основываясь на опыте работы центра аддитивных технологий компании, где количество установок выросло с четырех до десяти, Алексей Ким выделил несколько типов заказчиков. К первому типу он отнес предприятия, которые стремятся к повышению экономических показателей и ожидают явного эффекта в ближайшие один-три года. Второй тип — это компании, которым аддитивные технологии требуются для оперативного решения внезапно возникших производственных задач, например, для замещения утраченных импортных цепочек поставок. Третий тип составляют организации, которые, не имея сиюминутной необходимости, инвестируют в технологии на перспективу 5–10 лет, наращивая компетенции. И наконец, четвертый тип — это компании, планирующие работать на рынке услуг контрактной печати.

В своем выступлении Ким подробно остановился на рисках, связанных с внедрением собственного аддитивного производства. Одним из ключевых он назвал риск недостижения планово-экономических показателей, для минимизации которого требуется глубокая и детальная оценка всех этапов — от разработки конструкции до выходного контроля. Следующий серьезный риск — недооценка трудоемкости. Многие заказчики, по его словам, ошибочно полагают, что аддитивное производство ограничивается нажатием кнопки на принтере, в то



Несмотря на кажущуюся простоту формы, при серийном выпуске изделий достигается высокий экономический эффект: снижение себестоимости производства в 1,5–2,5 раза, сокращение цикла производства.

Рис. 4. 3D-печать заготовок изделий из специальных материалов. Фото: АО «Лазерные системы»

время как оно требует участия операторов, технологов и значительных мощностей для постобработки. Недооценка сопутствующих расходов также была выделена как распространенная проблема: на периферийное оборудование может потребоваться дополнительно 20–30% от стоимости самой аддитивной установки. Наиболее сложными для решения спикер назвал риски, связанные с нехваткой кадрового ресурса и ограничениями нормативной базы, отметив, что эти вопросы требуют системных усилий в масштабах всей страны.

Были также перечислены и очевидные преимущества создания собственного аддитивного участка. В их числе — повышение экономичности производства особо сложных изделий, где традиционные технологии проигрывают, значительное сокращение сроков изготовления за счет упрощения производственных цепочек (рис. 4). Отдельно был отмечен эффект масштабирования: увеличение парка принтеров не приводит к пропорциональному росту числа персонала, что снижает общую трудоемкость. К другим преимуществам были отнесены: высвобождение мощностей традиционной механообработки благодаря снижению объема постобработки и возможность производить широкую номенклатуру изделий малыми сериями без затрат на оснастку.

Особое значение имеет применение аддитивных технологий во вспомогательном производстве, особенно в литейных процессах. Технологии 3D-печати литейных

форм открывают новые возможности для отраслей, где традиционное литье остается незаменимым.



Денис Голубцов, коммерческий директор компании «ЗМ Инжиниринг», представил технологию печати

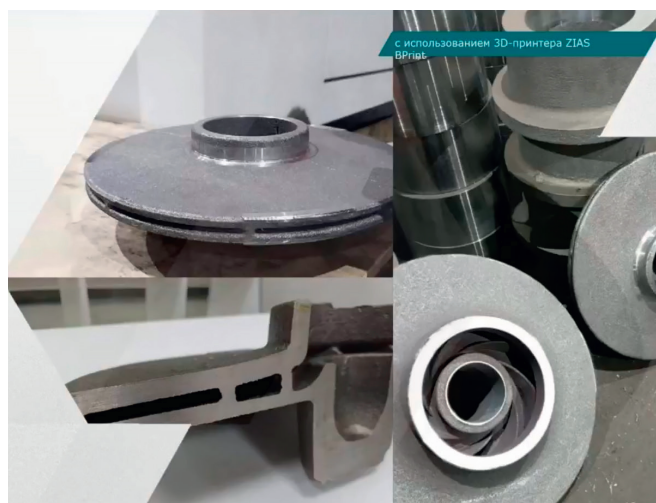


Рис. 5. Изготовление закрытого рабочего колеса для перекачки нефтепродуктов: 4 мм — экстремально малое междисковое расстояние при наружном диаметре 320 мм. Материал: нержавеющая сталь 12X18H10Л. Формы для литья выполнены по технологии Binder Jetting. Фото: ООО «ЗМ Инжиниринг»

песчано-полимерных форм по методу Binder Jetting, при которой послойно наносится песок с катализатором с последующим селективным нанесением связующего. Ее ключевое преимущество — возможность создания сложных литейных форм, недостижимых для традиционных методов.

По словам спикера, традиционная подготовка оснастки занимает недели или месяцы, тогда как 3D-печать сокращает этот процесс до нескольких дней. Денис Голубцов привел пример изготовления рабочего колеса с межлопаточным расстоянием 4 мм: себестоимость при традиционном изготовлении составляла 165 тысяч рублей, а с применением 3D-печатных форм снизилась до 50 тысяч рублей (рис. 5). Другие кейсы включали отливку головки блока цилиндров с каналами охлаждения 4 мм и крупногабаритного колеса-импеллера диаметром 900 мм, полученного с первого раза.

Технология не требует изменения литейных процессов или дополнительной сертификации, так как меняется только способ создания формы. Среди преимуществ были названы: ускорение подготовки новых изделий, возможность реверс-инжиниринга, изготовление сложно-геометрических и топологически оптимизированных отливок, а также снижение брака за счет минимизации человеческого фактора.



«Росатом Аддитивные Технологии» — отраслевой интегратор, системно развивающий аддитивные технологии, в работе которого задействовано более 30 предприятий Госкорпорации «Росатом». **Евгением Таушкановым, начальником управления продаж компании,** была представлена линейка оборудования: SLM-установки

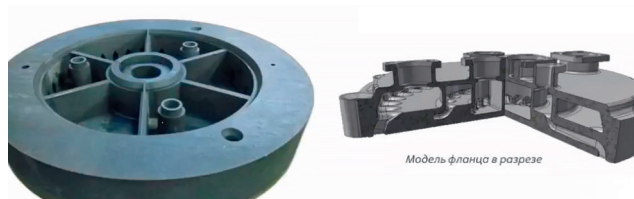


Рис. 6. Фланец электрохимического генератора/электризера, выполненный по технологии СЛМ. С помощью 3D-печати удалось в 4 раза снизить себестоимость изделия, в 3 раза сократились сроки изготовления, коэффициент использования материалов увеличен на 90%, значительно упрощена конструкция. Фото: «Росатом Аддитивные Технологии»

с полем построения до 600 мм, машины для прямого лазерного выращивания (DMD) и уникальная для России серийная установка для электронно-лучевой плавки. Примеры применения включали изделия для атомной промышленности, в т.ч. изготовление выгородки реактора и фланец электрохимического генератора (рис. 6).

В заключение Евгений Таушканов обозначил системные барьеры развития аддитивных технологий: недостаточную скорость стандартизации в отраслях и дефицит кадров. По его мнению, решение этих задач критически важно для достижения технологического лидерства.



Олег Панченко, заведующий лабораторией легких материалов и конструкций Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, поделился опытом работы с различными типами аддитивного оборудования — как с закрытыми системами, так и с открытыми,

позволяющими печатать изделия длиной до 22 метров (рис. 7), а также подробно остановился на проблемах и решениях в области импортозамещения компонентов для аддитивного оборудования, в частности, для установок электродугового выращивания. Спикер отметил, что с началом СВО прекратилась даже минимальная поддержка со стороны иностранных производителей, что заставило искать отечественные аналоги.

Кроме того, был представлен анализ структуры стоимости получения изделий, где значительную долю занимает подготовка управляющих программ, что выдвигает на первый план вопрос наличия отечественного программного обеспечения для связи софта и железа. Олег Панченко рассказал о пути от использования зарубежных продуктов и опенсорс-решений до создания собственного слайсера, который не только готовит управляющие программы, но и умеет залечивать модели и тонко настраивать параметры печати. Главным нерешенным вопросом пока остается необходимость в симуляторе, точно предсказывающем поведение промышленного робота.

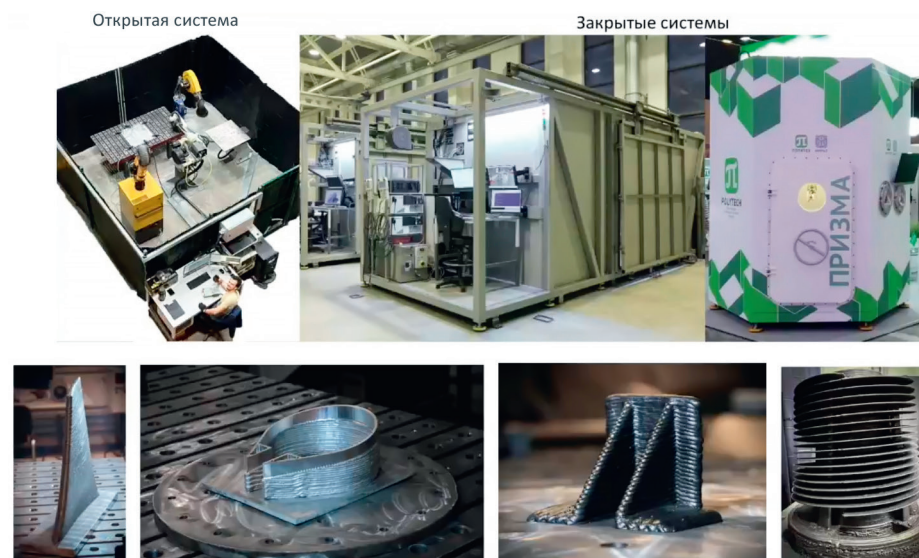
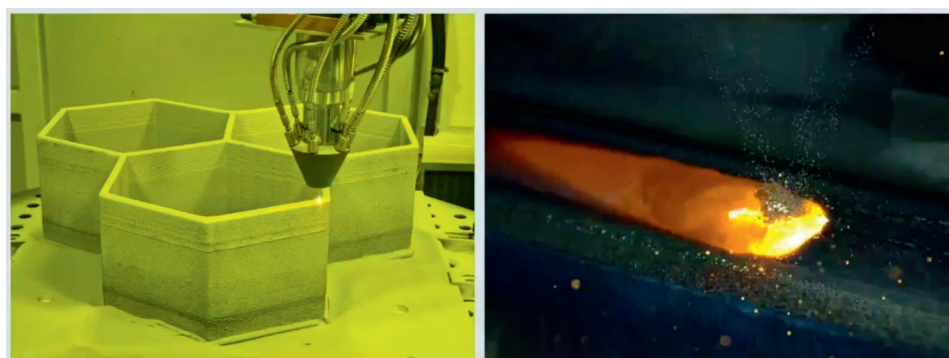


Рис. 7. Примеры разработанных систем и изделий. Фото: СПбПУ



Санкт-Петербургский государственный морской технический университет — разработчик, производитель серийных машин и крупное контрактное производство, недавно переехавшее в новое здание площадью 2,5 тыс. кв. м. Мощность центра позволяет производить до 50 тонн заготовок в год по технологиям прямого лазерного выращивания и селективного лазерного плавления. Его ключевой особенностью является предоставление услуг «под ключ», включая полный цикл постобработки: механическую и термическую обработку, электроэрозию и лазерную резку. Это позволяет клиентам получать готовые детали, а не просто заготовки. **Константин Бабкин, начальник отделения аддитивных технологий университета**, привел примеры выполненных заказов для ОДК, атомной отрасли и нефтегазового сектора, где аддитивные технологии оказались дешевле и быстрее литья, особенно при производстве штучных и мелкосерийных деталей из сложных материалов.

Лейтмотивом выступления стала экономика процесса: Константин Бабкин заявил, что ключевая задача — снижение себестоимости килограмма изделия. Этого удастся достичь за счет роста производительности (до 7–8 кг/ч при использовании 12-киловаттного лазера) и снижения стоимости порошков (рис. 8). Для нержавеющей стали, по его словам, уже достижима себестоимость заготовки в 3–5 тысяч рублей за килограмм, что делает технологию конкурентоспособной



Производительность: 12X18H10T — 7,5 кг/ч при ширине валика 8 мм,
ВЖ 159-7,5 кг/ч при ширине валика 8 мм, AlSi10Mg — 2 кг/ч при ширине валика 8 мм

Рис. 8. Использование для прямого лазерного выращивания высокоомощных лазеров (ПЛВ 12 кВт). Фото: СПбГМТУ

по сравнению с традиционной мехобработкой из проката, особенно с учетом минимальных припусков. Это позволяет в сжатые сроки — дни, а не недели — изготавливать крупногабаритные заготовки массой до нескольких тонн.

Таким образом, российские аддитивные технологии перешли в стадию зрелости, когда главным критерием внедрения становится экономическая целесообразность. Несмотря на сохраняющиеся вызовы, такие как зависимость от импорта некоторых компонентов, нехватка кадров и необходимость развития нормативной базы, отрасль демонстрирует устойчивую способность к развитию. Благодаря кооперации между научными центрами, вузами и промышленными предприятиями, создаются не только экспериментальные образцы, но и серийное оборудование, а услуги контрактного производства становятся доступными и экономически выгодными. Именно в условиях импортозамещения российская промышленность не только адаптируется, но и находит новые точки роста, осваивая производство сложных изделий, недоступных для традиционных технологий. Накопленный задел позволяет смотреть в будущее с осторожным оптимизмом, ожидая дальнейшего снижения цен и расширения сфер применения аддитивных технологий. Все по-прежнему зависит от плотной кооперации внутри отрасли и организованного промышленного процесса — начиная с подготовки квалифицированных специалистов и заканчивая поиском надежной клиентуры и правильным выбором точки сбыта.

Иван Жоглов

Композитная 3D-печать: технологии, игроки и вызовы индустрии



Дмитрий Киселёв, инженер-исследователь лаборатории композитной 3D-печати Центра технологий материалов (ЦТМ) Сколковского института науки и технологий («Сколтех»)

Андрей Азаров, д.т.н., профессор кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» МГТУ им. Н.Э. Баумана, сооснователь и бывший технический директор компании «Анизопринт»



Развитие человечества неразрывно связано с технологическим прогрессом. Покорение небесных высот, освоение космического пространства, достижение высоких скоростей — все это подталкивает инженеров к поиску новых путей повышения эффективности техники. Большую роль здесь играет исследование новых материалов и разработка и совершенствование технологий их переработки в конечное изделие.

В настоящее время все больший интерес вызывают полимерные композиционные материалы (ПКМ). Сочетание прочных армирующих волокон и легкой полимерной матрицы позволяет получать исключительно легкие и прочные детали. Эти материалы в значительной степени превосходят металлические сплавы по удельным

механическим характеристикам, что делает их идеальными для отраслей, в которых критически важно снизить массу конструкции без потери прочности. Так, композиты широко применяются в ракетостроении, постепенно внедряются в самолетостроение и судостроение, а также широко используются для производства спортивного инвентаря.

Композиционные материалы можно разделить на две большие группы по типу армирования: наполненные короткими (дисперсными) волокнами и армированные непрерывными нитями. Сосредоточимся на материалах, армированных непрерывными нитями, так как именно они позволяют достичь наибольшей прочности и жесткости. Характерной чертой таких материалов является анизотропия, то есть неоднородность свойств в разных направлениях. Материал обладает высокой прочностью в направлении армирования, вдоль волокон. Прочность же поперек волокон достаточно низкая, она сопоставима с прочностью полимерной матрицы. Поэтому идеальной композитной конструкцией является конструкция, работающая только в одном направлении — вдоль волокон. К сожалению, на практике такие конструкции встречаются довольно редко. Поэтому инженерам приходится учитывать анизотропию при проектировании, изобретая различные конструктивные схемы, позволяющие уложить волокна так, чтобы деталь выдерживала все требуемые нагрузки.

Первые попытки побороть анизотропию привели к созданию слоистых композитов. Суть этого подхода заключается в последовательной укладке чередующихся композитных слоев, каждый из которых ориентирован под углом к предыдущему. По совокупности прочностных и весовых характеристик слоистые композиты близки к конструкциям из листового алюминия. Более рациональным решением стали сетчатые конструкции (рис. 1), в которых несущими элементами являются однонаправленные ребра. Такой подход позволяет наиболее эффективно реализовать потенциал композиционного материала, так как в сетчатой конструкции материал работает только в одном направлении — вдоль ребра,

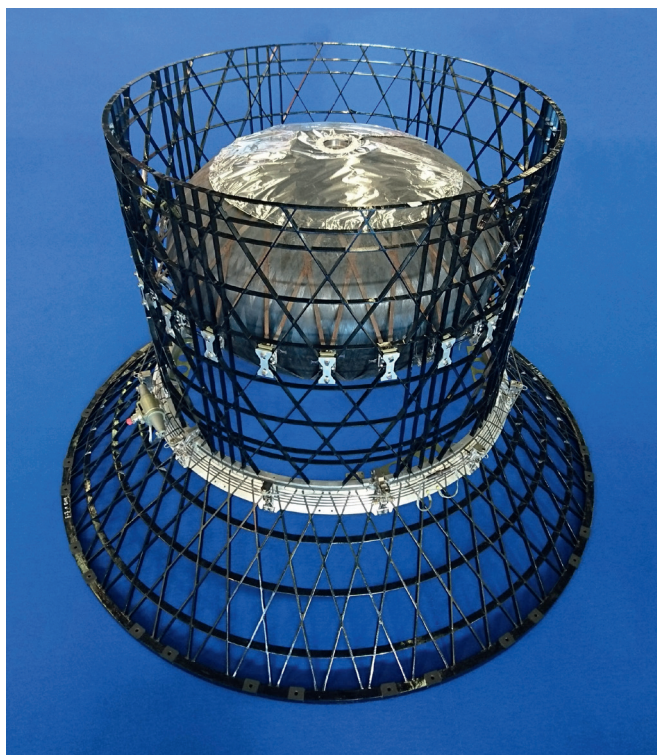


Рис. 1. Сетчатая композитная конструкция

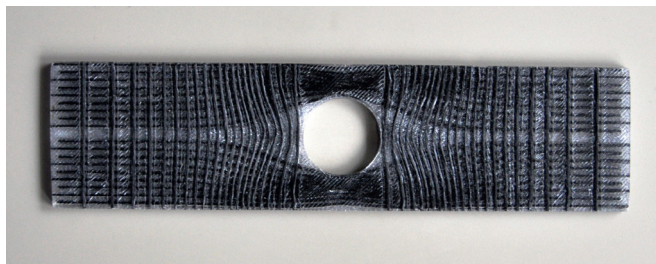


Рис. 2. Пластина с управляемой укладкой волокон

а соответственно, и вдоль волокон. Еще одним интересным подходом в области производства композитов является управляемая укладка. В отличие от традиционных подходов, где армирующие элементы укладываются по жестко заданным траекториям, здесь волокна ориентированы по криволинейным траекториям с учетом того, как действует нагрузка в каждой конкретной точке детали (рис. 2). Управляемая укладка позволяет создать эффективную структуру детали за счет расположения волокон только в тех местах, где это необходимо. А совместив сетчатые конструкции с управляемой укладкой, можно вывести эффективность композитных конструкций на новый уровень.

Однако традиционные технологии изготовления деталей из композиционных материалов не позволяют в полной мере реализовать управляемую укладку волокон. Автоматизированные технологии производства сетчатых конструкций накладывают жесткие ограничения на геометрию изделия и траектории ребер. Все это стало толчком для разработки новых методов производства композитов, в том числе за счет внедрения аддитивных технологий.

Аддитивные технологии, также известные как 3D-печать, стремительно трансформируют современное производство. Сегодня такие технологии уже используются не только для прототипирования, но и для изготовления деталей реальных конструкций. В отличие от традиционных технологий, где материал удаляется или деформируется, 3D-печать работает по принципу послойного построения, то есть формирования детали происходит путем добавления материала. Аддитивные технологии позволяют создавать детали сложной геометрической формы, которые практически невозможно изготовить традиционными методами. Важной особенностью также является высокая степень автоматизации процесса производства [1].

В сфере аддитивных технологий композиционные материалы быстро нашли свое место. Однако основная их масса представлена материалами, наполненными короткими волокнами. Такие материалы обладают высокой технологичностью и простотой внедрения, так как они совместимы с большинством современных 3D-принтеров. Их применение позволяет повысить механические характеристики по сравнению с ненаполненными материалами. Тем не менее потенциал наполненных пластиков ограничен из-за низкого прироста характеристик. В последние годы фокус исследований постепенно смещается в сторону технологий с использованием непрерывных волокон.

Комбинация аддитивных технологий и непрерывных композитных нитей позволяет создавать детали со сложной внутренней структурой, контролировать анизотропию свойств и эффективно армировать нагруженные зоны в автоматическом режиме [2].

Технологии композитной 3D-печати и основные игроки рынка

Рассмотрим наиболее распространенные технологии 3D-печати с непрерывными волокнами. На сегодняшний день безусловным лидером являются технологии, в основе которых лежит процесс экструзии материала. Свое признание они получили благодаря простоте и относительно невысоким требованиям к оборудованию. Такие технологии можно разделить на две группы, различающиеся по принципу подачи материала: технологии подачи композитной нити и технологии с одновременной экструзией [2].

Процесс изготовления деталей по технологии подачи композитной нити во многом схож с классической FFF-печатью. Принципиальная особенность заключается в наличии двух независимых экструдеров. Основная цель использования первого, пластикового экструдера заключается в формировании внешнего облика, геометрии печатной детали. Помимо этого он также используется для создания поддерживающих структур, печати внутреннего заполнения и т.д. В качестве материалов здесь используются термопластичные полимеры, в том числе наполненные короткими волокнами. Второй экструдер, композитный (рис. 3), выполняет принципиально иную задачу. Он применяется для формирования внутренней силовой структуры, которая воспринимает основную механическую нагрузку. Здесь уже используются волокна различного вида, пропитанные термопластичным полимером.

Рассмотрим теперь основные особенности представленной группы. Высокая степень автоматизации процесса производства деталей, которая присуща всем аддитивным технологиям, не обошла стороной и технологию экструзии композитной нити. Большим преимуществом также является стабильность технологии и предсказуемые характеристики напечатанного изделия. Однако наряду с преимуществами стоит отметить и недостатки такого подхода. Главным из них является крайне низкая гибкость в формировании армирующих структур. На практике это означает, что возможно создание только усиленных периметров и усиленного сплошного заполнения. Реализация более сложных структур, например, сетчатых, затруднено. Причиной этому является невозможность варьирования объемной доли волокна в процессе печати [3].

Ярким представителем рассмотренного подхода является технология армирования непрерывными нитями (CFR — Continuous Fiber Reinforcement) компании Makrforged [4]. Основанная в 2013 году, компания является старейшим игроком на рынке композитной 3D-печати. Оборудование компании позволяет изготавливать не только прототипы, но и детали, применяющиеся в

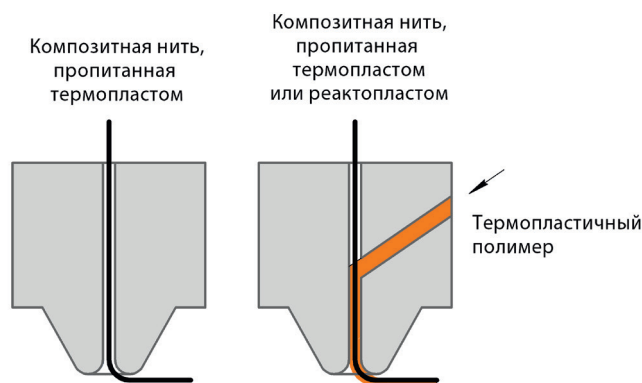


Рис. 3. Технология экструзии композитной нити

Рис. 4. Технология коэкструзии композитной нити

реальных конструкциях. Пользователям предлагается закрытая экосистема, включающая в себя оборудование, полимерные и армирующие материалы, а также программное обеспечение для создания управляющих программ для принтеров.

Свои исследования в этой области проводят и российские компании. На сегодняшний день активно ведет разработки компания Stereotech. Основной фокус компании направлен на разработку пятикоординатного FFF-принтера. Однако компания видит потенциал и в применении непрерывных углеродных волокон [5]. До недавнего времени разработками в этой области занималась и пермская компания F2 Innovation, но приостановила исследования из-за очень узкого рынка композитной 3D-печати [6].

Одновременная экструзия материалов во многом похожа на экструзию композитной нити. Один экструдер также используется для печати пластиковых сущностей, второй — для выкладки волокна (рис. 4). Принципиальное отличие здесь кроется в устройстве композитного экструдера и системе подачи материала. Композитный экструдер имеет два канала, а в процессе печати в него одновременно подаются два материала: полимерная нить (матрица) и композитное волокно [2]. В качестве матричного материала используются термопласты, которые широко распространены в FFF-печати. Армирующий материал представлен в виде тонкой нити, предварительно пропитанной термопластом или реактопластом.

Одновременная экструзия материалов имеет ряд существенных преимуществ. Такой подход позволяет изменять подачу пластика, варьируя объемную долю волокна в процессе печати, что способствует производству более сложных схем армирования, учитывающих реальные эксплуатационные условия. Все это обеспечивает максимальную прочность в нагруженных зонах, избегая избыточного использования материала в ненагруженных областях. Отдельно хочется отметить возможность производства сетчатых композитных структур [7]. Таким образом, одновременная экструзия существенно расширяет класс изготавливаемых изделий.

Наиболее показательным примером данной группы является технология коэкструзии композитной нити (Composite Fiber Coextrusion — CFC) российско-люксембургской компании Anisoprint [8]. Компания была основана в 2015 году и быстро стала одним из ключевых игроков на рынке композитной печати. В России коллектив наряду с развитием технологии занимался разработкой, производством и поставкой оборудования и материалов для 3D-печати по указанной технологии. 3D-принтеры от компании Anisoprint позволяют изготавливать изделия сложной формы и сложной внутренней структуры на основе низкотемпературных пластиков с плоскими схемами армирования.

В 2025 году развитие технологии CFC продолжила компания FibreSeeker. Коллектив, поставив перед собой цель сделать печать с непрерывными нитями доступнее, представил рынку новый 3D-принтер — FibreSeeker 3 [9]. Добиться результатов команда планирует не только за счет снижения стоимости оборудования, но и за счет удешевления композитных нитей. Все это заметно выделяет компанию среди других участников рынка композитной печати.

Еще одним подходом к композитной печати является использование композитных лент (рис. 5). Так, в 2020 году компания Desktop Metal представила публике свою технологию производства композитов методом трехмерной печати. В основе процесса производства лежит технология Micro Automated Fiber Placement (μ AFP), являющаяся модификацией технологии автоматизированной выкладки волокна (Automated Fiber Placement) [10]. Главным отличием здесь является использование вместо нитей лент, выкладка которых осуществляется с использованием прикаточного ролика [2, 11]. Главным недостатком такого подхода являются ограничения, накладываемые на кривизну траектории, возникающие из-за невозможности изгиба ленты в плоскости слоя.

Альтернативным методом производства композитов является подход, предполагающий использование непропитанных волокон (рис. 6). Суть подхода заключается в подаче непропитанного волокна непосредственно в печатающую головку, в которой происходит его пропитка полимерным связующим. Наиболее распространенным

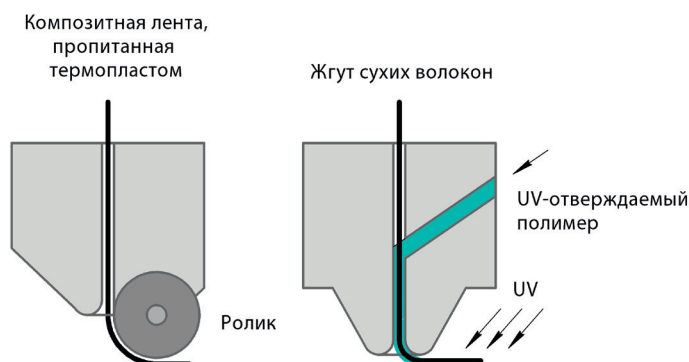


Рис. 5. Технология выкладки композитных лент

Рис. 6. Технология пропитки сухого жгута в печатной головке

матричным материалом являются фотополимерные смолы. За счет малой вязкости они позволяют равномерно пропитать волокно. Представленный метод выделяется высокой технологичностью и способностью формирования сложных криволинейных путей армирования без повреждения волокон. Основным минусом являются низкие механические характеристики получаемых деталей, что существенно сужает сферу применения [12].

Лидером в этом направлении выступает компания Continuous Composites [13]. Ее решение предполагает интеграцию специализированной печатающей головки с промышленным роботом-манипулятором. Подобная конфигурация открывает путь к производству крупногабаритных композитных деталей. В качестве материалов компания предлагает углеродные волокна и УФ-отверждаемые смолы.

Ограничения композитной 3D-печати и пути их преодоления

К сожалению, несмотря на присутствующий интерес, рынок композитной 3D-печати остается довольно специфической областью. Крупных игроков в этой сфере немного, особенно в Российской Федерации [14]. Рынок композитной трехмерной печати в сравнении с полимерной печатью достаточно мал. По данным консалтингового агентства Precedence Research, объем рынка композитной 3D-печати в 2024 году составил всего 324,79 миллиона долларов США, в то время как рынок полимерной печати оценивается в 2,86 миллиарда долларов США в том же году [15].

Основным барьером на пути широкого внедрения технологий 3D-печати с непрерывными волокнами остается высокая стоимость. В реалиях российского рынка приобретение подобного оборудования является серьезным финансовым испытанием. Цена за такой 3D-принтер зачастую превышает несколько миллионов рублей. При этом практически отсутствует доступ к зарубежному оборудованию. Не менее ощутима и ценовая нагрузка на расходные материалы. Если катушку наполненного пластика можно приобрести в среднем за несколько тысяч рублей, то композитные нити находятся в совершенно другом ценовом диапазоне, их средняя цена превышает десятки тысяч рублей за катушку. Все это создает дополнительные сложности для предприятий и является сдерживающим фактором при принятии решения о покупке такого оборудования.

Важным ограничением также является сложность работы с композиционными материалами. Анизотропия свойств диктует свои правила проектирования деталей. Главным камнем преткновения тут выступает невозможность использования геометрии, которая ранее применялась для аналогичной детали из металлических или полимерных материалов. Ключевым моментом также является и необходимость планирования траекторий армирования уже на этапе разработки облика будущей детали. Для корректного армирования необходимо учитывать нагрузки, которые будут воздействовать на ту или иную область рассматриваемого объекта. Параллельно



Рис. 7. Многоосевая композитная 3D-печать с применением промышленного робота

этапу проектирования протекает стадия выбора материалов. Тут необходимо опираться не только на нагрузки и внешние факторы, которые оказывают влияние на деталь, но и учитывать экономическую составляющую проекта. К сожалению, в настоящее время отсутствуют инструменты, которые позволили бы автоматизировать хотя бы одну стадию проектирования деталей под 3D-печать с непрерывными волокнами. Все это делает необходимым наличие знаний и опыта работы с композитами, а цена ошибки велика из-за дорогостоящих материалов.

Весомый вклад также вносят и существующие ограничения технологий. Так, например, низкая скорость изготовления композитов негативно влияет на привлекательность 3D-печати с непрерывными волокнами. Еще один важный аспект заключается в ограничениях, накладываемых на геометрию деталей. Большинство компаний представляют широкой публике трехкоординатные 3D-принтеры. Такое оборудование позволяет производить детали только с плоскими схемами армирования, то есть нагрузки должны быть параллельны плоскости слоя. Эту проблему позволяет решить использование многокоординатных систем позиционирования, таких как пятикоординатные 3D-принтеры и роботы-манипуляторы (рис. 7). Основной загвоздкой в этом случае является невозможность использования алгоритмов планирования путей армирования, которые применялись для плоских схем. В настоящее время также отсутствуют подходы, позволяющие генерировать пространственные траектории армирования в автоматическом режиме. Так или иначе, основной фокус исследований смещается в сторону многокоординатной композитной печати.

Закключение

Рассмотренные технологии композитной 3D-печати, ведущие игроки рынка и существующие технические вызовы демонстрируют, что данная область находится на стыке нескольких революционных направлений: аддитивного производства, материаловедения и цифрового проектирования. Композитная 3D-печать открывает новые возможности для создания высокопрочных и легких конструкций со сложной геометрией. Технология позволяет не только оптимизировать форму деталей, но и программировать траектории укладки волокон в соответствии с действующими нагрузками, что недоступимо традиционными методами производства композитов.

Несмотря на значительный прогресс, индустрия сталкивается с рядом существенных вызовов: необходимостью перехода от трехосевой к многоосевой печати, повышения скорости изготовления деталей и разработки новых методов проектирования изделий. Тем не менее потенциал технологии огромен. По мере преодоления технических ограничений и снижения стоимости оборудования и материалов композитная 3D-печать будет находить все более широкое применение в промышленности. ■

Литература

1. Kali M. Additive Manufacturing Technologies: an actual overview / M. Kali, G. Laudani, G. Baiamonte et. al // Advances in Design Engineering IV, 2024. Pp. 700–710.
2. Jiahui L. Additively manufacture d fiber-reinforced composites: A review of mechanical behavior and opportunities / L. Jiahui, D. Yvonne, H. Xiaodong et. al // Journal of Materials Science & Technology: electronic journal. URL: www.elsevier.com/locate/jmst.— Publication date: 02.03.2022.
3. Justo J. Characterization of 3D printed long fibre reinforced composites / J. Justo, L. Tavara, L. Garcia-Guzman, F. Paris // Composite Structures: электронный журнал.— URL: www.elsevier.com/locate/compstruct.— Publication date: 21.11.2017.
4. Markforged: сайт.— URL: <https://markforged.com>
5. Stereotech: сайт.— URL: <https://5dtech.pro>
6. F2 Innovation: сайт.— URL: <https://f2innovations.ru>
7. Федулов Б. Н. Алгоритм топологической оптимизации конструкции, выполненной из анизотропного материала с учетом параметров ориентации армирования / Б.Н. Федулов, А.Н. Федоренко, Ф.К. Антонов, Е.В. Ломакин // Вестник ПНИПУ. Механика. Пермь: ПМНИПУ, 2021. С. 182–189.
8. Anisoprint: сайт.— URL: <https://anisoprint.com>
9. FibreSeeker: сайт.— URL: <https://fibreseek3d.com>
10. Desktop Metal: сайт.— URL: <https://www.desktopmetal.com>
11. Ueda M. 3D compaction printing of a continuous carbon fiber reinforced thermoplastic / M. Ueda, S. Kishimoto, M. Yamawaki et al. // Composite Part A: electronic journal.— URL: www.elsevier.com/locate/compositesa
12. Ipekci A. Experimental and statistical analysis of robotic 3D-printing process parameters for continuous fiber reinforced composites / A. Ipekci, B. Ekici // Journal of composite materials: electronic journals.— URL: journals.sagepub.com/home/jcm.
13. Continuous Composite: сайт.— URL: <https://continuouscomposites.com>
14. Трубащевский Д.С. Российский рынок аддитивного производства на новом витке / Д.С. Трубащевский // Полимерные материалы. 2025. № 9. С. 28–35.
15. Precedence Research: сайт.— URL: <https://www.precedenceresearch.com>

ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО



23–24 апреля 2026 года
в городе Рыбинске
состоится 12-й ежегодный
Международный
технологический форум
«Инновации. Технологии.
Производство» (МТФ-2026).

Форум проводится ежегодно с 2014 года. Его организаторами являются ПАО «ОДК-Сатурн», правительство Ярославской области, РГАТУ имени П.А. Соловьева и администрация города Рыбинска.

За прошедшие 11 лет мероприятие посетили более 12000 ведущих технических специалистов и руководителей высокотехнологичных предприятий, академической и вузовской науки, малого и среднего бизнеса. Ежегодно на секциях форума выступают более 250 спикеров, организуется более 25 секций различной технологической направленности.

Ключевая тема 12-го форума —
**«Технологии будущего. Искусственный
интеллект в двигателестроении».**

Основными направлениями тематической программы МТФ-2026 станут аддитивные технологии и новые материалы, искусственный интеллект и машинное зрение, перспективы развития металлообрабатывающего оборудования, метрологическое обеспечение производства, сотрудничество передовых инженерных школ с промышленными партнерами, современные технологии в металлургии, кузнечно-прессовом, сварочном и ремонтном производстве, а также впервые будет представлена секция по технологиям лазерной обработки ответственных деталей.

В программе форума также запланирован демодень Индустриального центра компетенций «Двигателестроение» с презентацией отраслевых решений, используемых промышленными заказчиками, и развиваемых стартапов, а также освещение проектов импортозамещения.

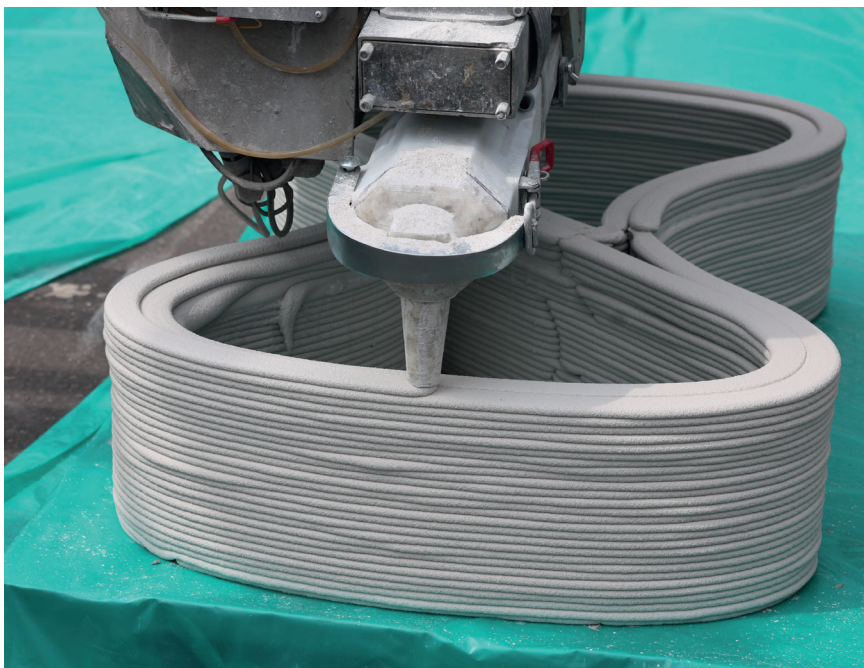
В рамках форума в шестой раз пройдет совет главных инженеров предприятий ОДК, где будут обсуждаться задачи в области технологии двигателестроения, стратегии развития и техническая политика корпорации.

Участие в форуме — это возможность обсудить вызовы реальных секторов высокотехнологичной промышленности России, узнать о ключевых трендах развития новых технологий, представить собственные разработки.

Подробнее о МТФ-2026 на сайте
<https://itp-forum.com/ru/>

От эксперимента к массовому внедрению

Аддитивные технологии в строительной отрасли в России активно развиваются, в том числе в рамках реализации нацпроекта «Инфраструктура для жизни». Можно привести достаточное количество успешных примеров использования 3D-печати при возведении сложных архитектурных форм и реализации уникальных объемно-планировочных решений.



На круглом столе по 3D-печати в строительстве в рамках форума «Конвергентум» специалисты отрасли отметили тенденции, первостепенные задачи, возможности и барьеры развития технологии на российском рынке. Модератором мероприятия выступил **Алексей Адамцевич**, директор Научно-исследовательского института строительных материалов и технологий (НИИ СМиТ) НИУ МГСУ.

Последние 30 лет можно назвать этапом технологической революции 3D-печати в строительстве. Ее развитие наблюдается с 1995 года, когда доктор Бехрох Хошневис из Университета Южной Калифорнии изобрел и запатентовал технику Contour Crafting — альтернативу полимерной и металлической 3D-печати с использованием цемента и пластика. Сейчас строительная 3D-печать вошла в топ-10 трендов и тенденций мировой строительной отрасли, используется для возведения целых кварталов, создания экодомов из переработанных материалов. **Максим Неретин**, управляющий партнер Aurora Lab (Aurora Group) представил впечатляющую ретроспективу развития технологии, отметил значимые мировые объекты и высокий уровень российских проектов, а также призвал рассматривать 3D-печать не просто как

цифровую технологию, а более широко — как основу автоматизации. По его мнению, главное ее преимущество не в сложных формах и сжатых сроках, а именно в замене ручного труда, трансформации рынка труда. И поэтому на текущий момент ключевой задачей является объединение 3D-печати с другими технологическими процессами, такими как роботизация, машинное зрение, искусственный интеллект.

Говоря о барьерах внедрения, Максим Неретин отметил, что участниками рынка 3D-печати являются: покупатели, банки, девелоперы, генподрядчики, архитекторы, проектировщики, компании в области 3D-печати. Из этих участников цепочки создания добавочной стоимости наибольший интерес к 3D-печати как технологии с новыми возможностями проявляют архитекторы и проектировщики, а вот отсутствие крупных заинтересованных инвесторов, настороженность покупателей, консервативность банков и ограниченный интерес девелоперов, которые предпочитают вкладываться в «умные» дома, тормозят развитие. Снижение капитальных затрат, сроков тестирования и окупаемости, формирование спроса и работа с возражениями — важнейшие задачи, которые требуют решения.



Александр Маслов, основатель и генеральный директор компании «АМТ», уже больше десяти лет серийно производящей строительные 3D-принтеры, с удовлетворением констатировал, что развитие в отрасли наблюдается: к принтерам на стройплощадках привыкли, существует несколько направлений в их производстве, появился опыт эксплуатации.

По его мнению, на текущий момент актуальными являются: серийное производство оборудования, инжиниринг и сертификация. Ключевая задача инжиниринга — разработка оптимальных технических решений, которые обеспечат эффективность, надежность и безопасность оборудования. В связи с этим как необходимые были указаны постоянная оптимизация конструкторских решений, сертификация по промбезопасности оборудования, сертификация на соответствие техническим регламентам Таможенного и Европейского союзов.

Аддитивное производство само по себе имеет ряд значительных преимуществ за счет автоматизации от проектирования до стройки: точность, скорость, минимизация ошибок за счет человеческого фактора и т.д. Если грамотно проведено проектирование, то все конструкции независимо от того, напечатаны они или сделаны как-то иначе, будут прочными, долговечными, теплыми. Однако полная автоматизация строительства, по мнению Александра Маслова, невозможна, поскольку доля печати в полном цикле 10–20%. Остальное — это другие технологии, в том числе и слабо поддающиеся автоматизации. Принтер — всего лишь еще один инструмент в арсенале строителей. Рентабельно и удобно — пользоваться, не подходит для какой-то конкретной стройки — нечего притягивать за уши. Гибридные решения, комбинация 3D-печати с традиционными методами — вот путь для развития.

В настоящее время основной потребитель строительного аддитивного оборудования — малые и средние предприятия (МСП), их доля близка к 100%. Если говорить в целом о строительстве, то доля МСП — 12,2%, их выручка — 8–10%, около 400 млрд руб. Рентабельность — 6%.

Повлиять на темпы становления отрасли строительной печати в значительной степени невозможно. Шаг за шагом малые предприятия, инженеры, строители нарабатывают опыт аддитивного строительства. Появляются технологические решения, разрабатываются и поступают в серийное производство новые материалы

для печати, разрабатываются нормативные документы. Так, компанией АМТ изготовлено уже более 400 принтеров, которые проданы в 22 страны мира. Предсказуемые страны этого года — это Белоруссия, Индия, Шри-Ланка, Китай. В 2021 году было запущено массовое строительство жилых домов при помощи строительных 3D-принтеров компании. Получены сертификаты Таможенного союза и Евросоюза на всю линейку принтеров (11 модификаций).

Для того чтобы 3D-принтеров на строительной площадке стало больше уже в обозримом будущем, необходимо участие государственных институтов и привлечение крупных инвесторов в производство оборудования, материалов, аддитивное строительство, работу профильных и законодательных институтов.

Михаил Шиленков, генеральный директор ООО «СмартБилдСервис», также считает, что роботизация и цифровизация в строительной сфере неизбежны, и они начинаются прямо сейчас, и именно они обеспечат скорость, качество и снижение стоимости 3D-печати.

Экономия в строительной 3D-печати также может достигаться за счет: исключения человеческих ошибок и, как следствие, более высокого качества строительства; замены бетоном менее долговечных конструкций; сокращения сроков строительства; уменьшения количества мусора на площадке.

Кроме того, компания «СмартБилдСервис» имеет опыт комбинирования прямой печати на площадке и одновременного изготовления префабов. Это совмещение экономически оправданно: печать из одной позиции принтера — без его перестановок; печать одним материалом, нет дополнительной транспортировки на объект; нет простоев принтера — полностью используется рабочее время. Также у компании есть опыт использования местного сырья и материалов, что дает существенную экономию. Территория России огромна, и стоимость перевозки материалов многократно увеличивает прямые затраты. Так, в 2025 году компания совместно с Томским государственным архитектурно-строительным университетом разработала и запустила в производство сухую строительную смесь для 3D-печати на местном сырье.

На вопрос о цене печатного дома Михаил Шиленков сообщил, что цена в 90–100 тысяч рублей за квадратный метр — это та цифра, с которой можно работать.



Важный вопрос о развитии нормативной отраслевой базы и внедрении инноваций в строительстве и ЖКХ осветил **Юрий Шуркалин**, заместитель директора ФАУ «ФЦС», который рассказал о работе своей организации как регулятора по проведению прикладных научных исследований и работ по нормированию.

Цель, стоящая перед ФАУ «ФЦС» — подведомственной организацией Минстроя России, — реализации Стратегии развития строительной отрасли и ЖКХ РФ до 2030 года. Для ее достижения с ведущими вузами и организациями проводятся НИР и НИОКР, мониторинг достижений, исследования материалов для 3D-печати, свойств конструкций, созданных посредством 3D-печати, что позволяет вносить изменения в СП. В рамках работы Технического комитета 182 «Аддитивные технологии» регламентируются требования в части материалов и оборудования для АТ.

Ключевыми изменениями в техническом регулировании являются: расширение доказательной базы технического регламента, внедрение цифрового реестра требований, применение стандартов организаций, развитие параметрического метода нормирования, систематизация нормативной базы. На основе этих работ совместно с НИУ МГСУ сегодня разрабатывается новая дорожная карта НИР и НИОКР до 2028 года, чтобы выйти на определение свода правил Минстроя России, регламентирующего проектирование зданий и сооружений с применением технологии аддитивного строительного производства.

Дмитрий Черепков, основатель компании WonderDom и экопарка «Ясно Поле» подтвердил 100 тысяч рублей за квадратный метр как реальную стоимость для напечатанного дома, в которой доля стоимости 3D-печати составляет 20–25%, а также рассказал о пути своей компании.

Осуществляя с 2022 года на территории экопарка строительство домов аддитивным способом, компания не производит массовую застройку, а с каждым уникальным зданием пытается решать какую-то техническую задачу, которая попадет в альбом конструктивных решений: нависание стен больше 45 градусов, применение различных материалов для утепления, печать здания выше 10 метров, обеспечение влагозащиты и паропроницаемости и т.д., в том числе в некоторых задачах приходится «обкатать серийность».

Роман Архангельский, генеральный директор ООО «РВС 3Д», также считает, что создание готовых решений особенно важно для продвижения технологии, в том числе с использованием различных вариантов смесей, армирования, утеплений и т.д. Компания с 2023 года производит 3D-принтеры для создания малых архитектурных форм (МДФ), с 2024 года проводит промышленные испытания принтеров для печати зданий, выполняет услуги по 3D-печати домов и МДФов, отрабатывая технологию печати и развивая услуги как коммерческое направление.

С 2020 года компанией построено 8 зданий, реализованы различные проекты по благоустройству. Например, были напечатаны более 100 скамеек для парка Галицкого в Краснодаре, 100 вазонов для парка «Коломенское» в Москве. Причем во втором случае заказ была получен благодаря сжатым срокам исполнения, поскольку 100 вазонов за 1 месяц выполнить классическим способом литья в опалубку не представлялось возможным. Принтер выдает за смену порядка 1000 кг готовой продукции. Если вес вазона 250 кг, то в день можно производить 4 или даже 6 вазонов с одного принтера.

Роман Павленко, основатель и генеральный директор ООО «ЗД Арт» и ООО «ЗД Арт Инжиниринг», каждым новым сданным объектом подтверждает, что ограничения существуют лишь в нашем воображении. Его команда берется за такие задачи, которые многим кажутся фантастикой: от печати здания в Арктике до масштабных проектов, где на площадке работает несколько 3D-принтеров. Каждый объект — это НИОКР: новые идеи, решения, технологические разработки, которые совершенствуются.

«Быть может, опыт возведения здания за полярным кругом неоднозначен с точки зрения технологической целесообразности, — рассуждает Павленко, — но с точки зрения получения опыта и отработки технологии, когда можно делать проще, дешевле, эффективнее, он бесценен».

По мнению Романа Павленко, перспективным является строительство не только домов, но и промышленных объектов, в том числе цехов, портовых сооружений и др., особенно в местах, где сложно с доставкой техники и материалов. Действительно, назрела необходимость создания материалов на местах. А применение искусственного



интеллекта поможет убрать человека со стройплощадки, а значит, снизить человеческий фактор, требования к технике безопасности и охране труда.

В плане стоимости Роман Викторович привел данные из доклада Минстроя России, где было указано, что аддитивная печать сейчас обходится на 10–20% дороже традиционного строительства, но при этом имеется очень большой потенциал для снижения стоимости.

Алексей Розов, основатель ООО «Лерто», поддержал коллег в том, что будущее строительной 3D-печати за автоматизацией, поскольку при существующих условиях труда, особенно в полевых условиях, уже скоро будет невозможно заманить специалистов на стройплощадку.

Уличная 3D-печать связана со монтажом, демонтажом оборудования, обеспечением безопасности труда, со сложными бытовыми условиями жизни и работы специалистов. В связи с этим сейчас за рубежом идут по пути использования мобильных принтеров, которые перевозятся в сборе, быстро монтируются силами одного оператора. В «Лерто» же сделали ставку на цеховой печати, когда элементы здания, напечатанные в цехе, на объекте только собираются.

Концепт «Лерто» — это печать изделий компактными цеховыми принтерами на поддонах, которые после печати вместе с изделиями перемещаются на другие операции: фрезерование, покраску и так далее, а потом

на склад. В компании внедряют средства автоматизации: организовали автоматическую подачу сухой смеси и воды в экструдер, протестировали автоматическую подачу поддонов в область печати, разработали автоматическую укладку арматуры в процессе печати. Это стало подготовкой к реализации проекта по строительству безлюдных «темных заводов ЖКБ», который компания «Лерто» в партнерстве с компанией «ДиКом» уже готова предложить заказчикам как пилотный. По мнению Алексея Розова, это позволит изменить рынок.

Все выступавшие на круглом столе специалисты отметили большую пользу от подобных встреч, обмена опытом, обсуждения перспектив развития отрасли. На данной сессии как программа к действию особенно активно прозвучали темы: автоматизации строительных работ, организации производства материалов на местах, популяризации технологии строительной 3D-печати и формирования спроса, создания готовых решений, повышения роли государственных институтов и привлечения крупных инвесторов с целью ускоренного развития отрасли. По общему мнению, существенное ускорение будет наблюдаться с развитием нормативной отраслевой базы. Кроме того, было высказано мнение, что 3D-печать металлами и композитами также может быть востребована на строительной площадке.

Татьяна Карпова

РЕКЛАМА 18+



МашЭкспо Сибирь

3–6 МАРТА 2026

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

СТАНКИ, ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ, СВАРКИ, ПОЛИМЕРОВ



ЗАБРОНИРОВАТЬ СТЕНД

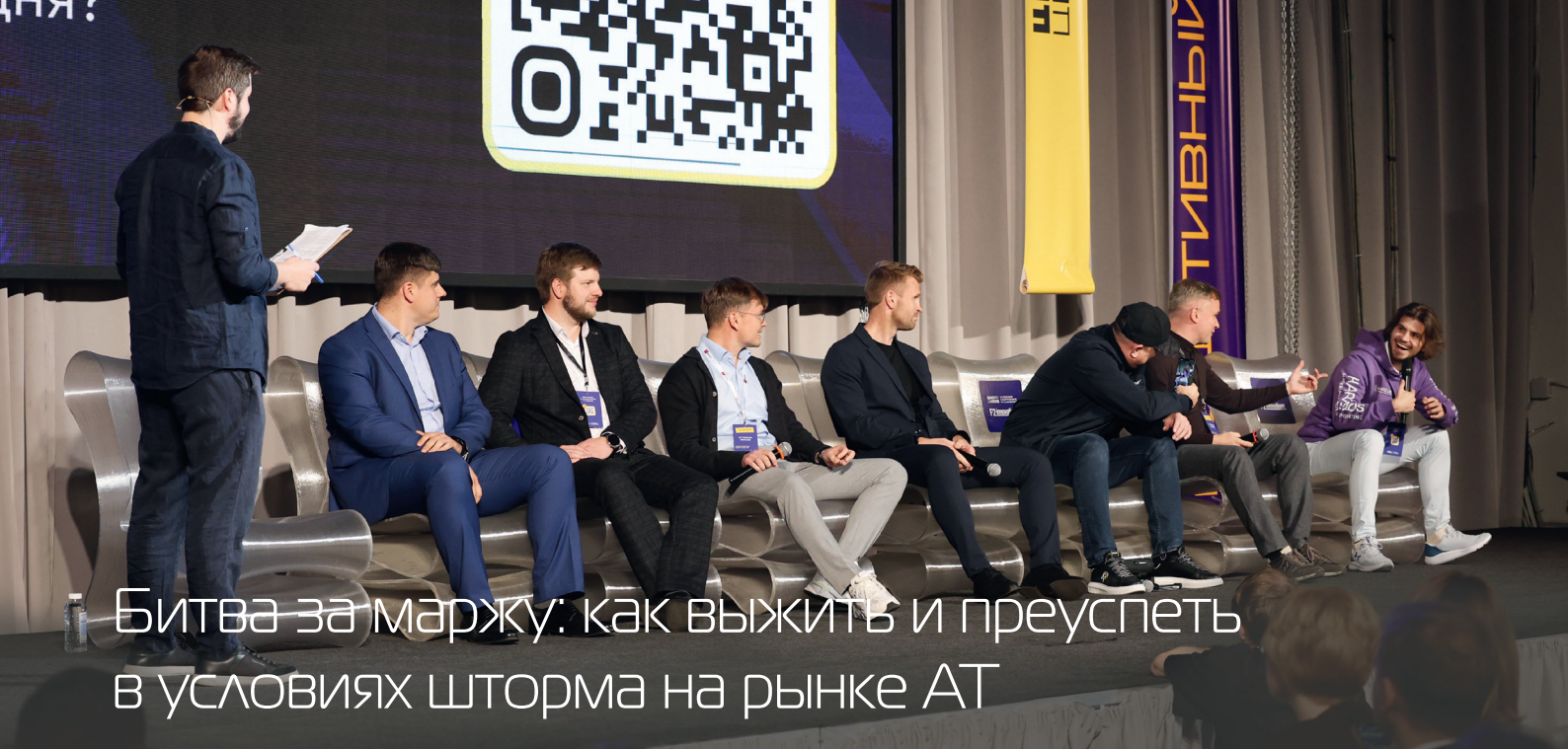
ПОСЕТИТЬ БЕСПЛАТНО



НОВОСИБИРСК
ЭКСПО ЦЕНТР



СИБИРСКАЯ
ВЫСТАВОЧНАЯ
КОМПАНИЯ



Битва за маржу: как выжить и преуспеть в условиях шторма на рынке АТ

Споры продавцов и покупателей о стоимости товара стары, как мир, вопрос справедливой цены постоянно стоит на повестке дня отраслевых встреч и конференций. Задача внести ясность в порядок ценообразования и предложить пути по расширению российского рынка аддитивных технологий (АТ), объединить профессиональное сообщество в преодолении барьеров и подготовке новых проектов, обозначить роль государственных структур и профессиональных ассоциаций стояла перед участниками сессии «Битва за маржу» Аддитивного конгресса №1, организованного Академией аддитивных технологий «Цифра Цифра».

Первый вопрос, который предложил обсудить ведущий **Евгений Матвеев, генеральный директор F2 innovations**, был сформулирован в финансово-денежной плоскости: «**Каким вы видите главный экономический барьер для компании в аддитивной сфере?**»

В своих выступлениях спикеры выделили такие проблемы, как высокая себестоимость оборудования и расходных материалов, отсутствие спроса и не только.

Александр Юрасов, сооснователь и технический директор HARZ Labs, считает основным барьером не столько экономический фактор, а вопрос экспертизы, как донести максимум информации о том, каким образом продукт можно использовать эффективно.

Николай Дробченко, генеральный директор и основатель 3DLam, поддержал высказывание, добавив, что экономическая обоснованность напрямую зависит от компетенции: если печатать правильные изделия с хорошей применимостью, то будет достигнут положительный эффект.

Михаил Артюшков, генеральный директор компании Innfocus, подчеркнул, что прошло время, когда 3D-принтеры покупали, потому что модно, и выделил как важный фактор развития — серийность производства. Кроме того, сейчас как никогда актуальна задача производства комплектующих для ремонта импортного оборудования. И 3D-печать, например, может быть использована в целях реверс-инжиниринга, когда нужно быстро получить деталь, из-за отсутствия которой простаивает технологическая линия, принося убытки на десятки миллионов рублей в день.

Кроме того, по мнению Михаила, серьезным препятствием является дорогая постобработка, из-за чего заказы на изготовление деталей со сложной геометрией составляют малую долю в общем количестве. Велика вероятность того, что стоимость постобработки после 3D-печати может быть в разы больше, чем сама 3D-печать. В связи с этим важно обеспечить условия, чтобы 3D-печать была выгодна экономически, а полученное изделие как можно меньше подвергалось постобработке. Для этого необходимо провести точное проектирование, разработать «пунктуальное», а не «высосанное из пальца» ТЭО, а затем изготовить максимально качественную деталь. Заказчику не нужны просто напечатанные заготовки, требующие последующей доработки, нужны конечные детали, пригодные к установке на производственное оборудование. Особую роль играют сроки изготовления, а также принципиальная возможность воспроизвести деталь, что выступает дополнительным барьером.

Артем Лобач, технический директор и сооснователь компании Onsint, высказал мнение, что экономическим приоритетом является взаимодействие с заказчиками, каждый из которых желает сэкономить, из-за чего развитие АТ тормозится. В то же время назрела необходимость перехода отрасли на новый уровень потребления аддитивных технологий. В Китае, например, активно применяются аддитивные технологии, существует внутренний рынок с реальным потребителем. Необходимо, чтобы у аддитивных технологий в России сформировалась конкретная сфера применения конечных, востребованных рынком изделий.

Анатолий Тулаев, директор по развитию и сооснователь компании Stereotech, поделился субъективным мнением в части дороговизны оборудования, стоимость которого сопоставима «со стоимостью квартиры с подселением где-нибудь около Москвы», и как следствие ценовой неконкурентоспособности производимой отечественной продукции по сравнению с китайскими поставщиками. Дополнительным сдерживающим фактором является малая доступность кредитов. Если в России производится примерно 10 тысяч принтеров в год, то в Китае две крупнейшие компании производят более двух миллионов. Дополнительным барьером выступает высокая цена компонентной базы. Сложившаяся ситуация требует незамедлительных решений.

Параллельно с обсуждением прошло заочное голосование специалистов, присутствовавших в зале и подключившихся онлайн с помощью QR-кода. Вариантами ответа на вопрос, что является основным барьером развития, стали: отсутствие спроса — 60% (6 участников); высокая себестоимость — 30% (3 участника); сложность масштабирования — 10% (1 участник).

Вторым пунктом дискуссии стала **государственная поддержка**. Модератор предложил участникам встречи высказаться о том, что должно делать государство в первую очередь для поддержки отрасли. По его собственному мнению, сложилась довольно странная ситуация, поскольку за то время, пока оформляется документация на получение субсидии или гранта, китайские производители выпускают пять новых моделей, а отечественные компании «всегда в роли догоняющего».

Вместе с тем у Минпромторга РФ существует много субсидий на развитие технологии, много разных фондов поддержки, которые позволяют реализовывать идеи на этапе стартапа. Государство готово возместить часть целевых затрат — на открытие дела, приобретение оборудования, сырья, выплаты аренды.

Вопрос ведущего вызвал жаркий спор среди участников. Звучали самые разные точки зрения о размере материальных расходов, непосредственно связанных с выполнением научно-исследовательских работ, обсуждались затраты на подготовку лабораторного, исследовательского комплекса, закупку исследовательского, испытательного, контрольно-измерительного и вспомогательного оборудования, закупку комплектующих изделий, сырья и материалов, изготовление опытных образцов, макетов и стендов. Высказывались критические замечания о порядке предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на компенсацию части затрат на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по современным технологиям.

По мнению некоторых ораторов, целесообразен вариант государственно-частного партнерства, целью которого является привлечение и эффективное использование материальных, финансовых и научно-технических ресурсов для развития экономики.

Традиционно оживленная дискуссия не могла обойтись без обсуждения вопроса дефицита кадров. Реализация каждого бизнес-процесса на предприятии, внедряющем аддитивное производство, сопряжена с потребностью в новых компетенциях у работников, задействованных на производстве. Следовательно, перед установкой аддитивного оборудования предприятие должно организовать опережающую подготовку персонала. Более рациональным могло бы стать решение о фундаментальной подготовке операторов, техников, технологов, конструкторов в государственных вузах.

Дополнительно отмечалось, что наличие единой терминологии, установленные требования к сырью и конечной продукции, а также признанные на национальном уровне методы испытаний помогут ускоренному внедрению аддитивных технологий в практику производства.

По итогам онлайн-голосования мерами поддержки могли бы стать: субсидии — 33,3% (10 человек); госзаказы — 27,6% (8 человек); кадровая программа — 23,3% (7 человек); нормативная база — 16,7% (5 человек).

В рамках обсуждения темы третьего вопроса участники конференции попытались **оценить общее состояние конкуренции и конкурентной среды на рынке аддитивных технологий**, прояснить, конкурентоспособно ли российское оборудование на зарубежных рынках, например, в Северной Корее или в какой-то из африканских стран.

По мнению собравшихся, российские поставщики могут предложить зарубежному покупателю не только оборудование, но и технологии, то, что, кстати говоря, не делают китайцы. Если в развивающиеся страны поставлять только оборудование, то люди на месте не смогут на нем работать, т.к. отсутствуют кадры с пониманием принципа работы аддитивных технологий.

Анатолий Тулаев высказал идею, что ключом к рынку подобных стран является сервис, индивидуальный подход к каждому клиенту, необходимость вникать в суть проблемы, разбирать все детали и тонкости конкретного производства.

На внутреннем рынке отечественные производители также соревнуются друг с другом, причем не обязательно в плоскости производимой продукции, идет соревнование за внимание, за «место на сцене», за рекламу, за другие аспекты, не связанные напрямую с конкуренцией товарной продукции.

По словам **Александра Юрасова**, несмотря на санкции, Россия до сих пор экспортирует фотополимеры в зарубежные страны.

Николай Дробченко предложил оригинальный подход к обсуждаемому вопросу: по его мнению, достаточно повнимательнее посмотреть на отечественные вузы и выяснить, студенты из каких стран приехали в Россию. С высокой вероятностью можно утверждать, что именно в этих странах будут востребованы наши технологии.



и оборудование, следовательно, на рынках этих стран конкурентная борьба станет успешной.

Артем Лобач порассуждал о текущем опыте экспорта продукции, отметив, что действительно имеются сложности, связанные с санкционными ограничениями, но все платежи проходят, поставки в ряд стран осуществляются, возможность поставлять существует, вместе с тем возникает множество вопросов о экономической целесообразности экспортной деятельности. Если даже исключить санкции и геополитические сложности, компания продавала бы свое оборудование за рубеж на жестком конкурентном рынке. Кроме того, санкции не только закрывают каналы экспорта, они ограничивают доступ российских компаний к технологиям, создавая вакуум, который заполняют игроки из Китая.

Участники конференции, голосовавшие по QR-кодам, были единодушны во мнении, что главными конкурентами являются китайские производители (более 90% участвовавших в опросе), но были и те, кто назвал основными конкурентами европейские компании (6,5%), отечественные фирмы (3%).

Вопрос о профессиональном сообществе «**Нужны ли ассоциации и консорциумы?**», вызвал оживление среди участников. Существует Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ), работает Консорциум аддитивных технологий в лазерных системах (АТЛАС), но предмет обсуждения заключался в целесообразности функционирования подобных структур: что они могут дать рынку, как могут обеспечивать связь между государством, производством, рынком и пользователем.

Анатолий Тулаев акцентировал внимание присутствующих на очевидном факте, что от увеличения числа консорциумов и ассоциаций количество производителей не изменится, возрастет только численность телеграмчатов, где специалисты будут вынуждены по крупицам выискивать информацию. Ассоциация развития аддитивных технологий, по словам Тулаева, является сильной организацией, которая хорошо работает, успешно налаживает коммуникации с Минпромторгом и другими государственными структурами. Ни одно объединение не будет зарабатывать деньги за производителя ад-

дитивного оборудования, задача ассоциации выявить потребности своих членов, но если на простой вопрос «Что вам нужно?» не возникает обратной связи, то будь даже десять ассоциаций, дело с места не сдвинется.

Николай Дробченко предложил поднять руки тем, кто знает об Ассоциации развития аддитивных технологий, — подняли примерно половина. «Выходит, что нужно как минимум две ассоциации», — сделал вывод Дробченко.

Евгений Матвеев привел конкретный пример помощи со стороны ассоциации АРАТ. Нынешняя редакция постановления правительства РФ от 17.07.2015 № 719 «О подтверждении производства российской промышленной продукции» содержит условие использования в аддитивных установках шаговых двигателей, произведенных на территории Российской Федерации. Но проблема в том, что, к сожалению, такая продукция в нашей стране не производится. При содействии ассоциации было составлено коллективное письмо с разъяснением сложившегося положения, и с 1 января 2026 года данное требование утрачивает свою силу.

Ассоциации могут защищать, развивать и поддерживать рынок производителей. Им проще и быстрее услышать пользователя, которому что-то нужно, и затем довести запрос своих производителей до государства.

«Серые оттенки» текущего положения подсветил **Александр Юрасов**. По его мнению, ассоциации должны более активно противодействовать «серому» импорту из Китая, который подрывает рынок отечественного производителя. Российские производители и официальные импортеры инвестируют в сервисную сферу, в подготовку специалистов, в их обучение, тем самым формируя квалифицированную кадровую базу, платят налоги, в результате создается приличный, качественный рынок. Пока объем «серого сегмента» небольшой, ситуация остается терпимой, но если сами китайские производители начнут ввозить технику «по-серому», тогда отечественным компаниям останется только перепрофилироваться на «нефтянку или выращивание пшеницы».

Для противодействия нелегальному ввозу **Артем Красовский, директор по развитию Range Vision**, предложил ввести утилизационный сбор на китайское оборудование.

Михаил Артюшков поддержал предыдущие выступления и добавил, что ассоциации могут выступать в роли коллективного рупора, привлекать в том числе пред-



ставителей традиционных отраслей промышленности и с учетом общего мнения выражать позицию единым голосом о том, где и как 3D-печать может использоваться. Сложно назвать деятельность эффективной, если на совещаниях в ассоциации собираются одни и те же лица, которые читают доклады, делают презентации о том, что им всем самим изначально известно.

Артем Лобач выделил еще одну функцию ассоциации, состоящую в обеспечении некоторой общности участников, предоставлении площадки для обмена ресурсами, знаниями, идеями, которые в будущем могут стать общими. Объективно востребована не иерархичная система, где головной орган принимает решение, а комплекс инструментов поддержки для принятия в определенный момент правильного решения. Важен обмен ресурсами между членами, несмотря на то, что подобного рода отношения между конкурентами являются весьма проблематичными.

Мнение участников заочного голосования не разошлось со словами выступающих. Приблизительно две трети посчитали, что ассоциации и консорциумы нужны для объединения усилий, около четверти — для лоббирования интересов. Были и те, кто затруднился дать ответ или высказался в отрицательном ключе.

В кульминации дискуссии ведущий встречи **Евгений Матвеев** предложил обсудить самую интересную, по его словам, тему: **что сложнее всего при запуске аддитивного производства**, какие были интересные случаи при монтаже оборудования или развертывании производственной площадки.

Александр Юрасов поделился специфическими сложностями поставщика материалов, которому приходится наткнуться на непонимание заказчика, что в первую очередь необходимо определиться с оборудованием, подобрать толковых интеграторов, а затем приступить к наполнению склада фотополимерами.

Николай Дробченко сталкивался с похожими случаями, когда из-за недостаточной компетенции пользователи оказываются в сложной ситуации. Попытки «усовершенствовать» технологический процесс «в ручном режиме» зачастую приводят к поломке оборудования.

Напрашивается вывод о перспективности развития бизнеса сервисных услуг, при котором клиенты получают готовую деталь, а не изготавливают ее сами. Специализированная организация производит не просто более качественные детали: благодаря опыту и компетенциям удается выпускать изделия, которые клиенты сделать просто не способны. Хотя известны случаи, когда клиенты печатают лучше, чем поставщик 3D-принтеров.

Анатолий Тулаев рассказал «трагичную историю», которая случилась в 2020 году после продажи дебютной партии из 50 принтеров. Все устройства прошли проверку ОТК, стабильно работали при отсутствии каких бы то ни было нареканий. Однако компания столкнулась с волной негатива со стороны клиентов и уже боялась, что придется начать процедуру ликвидации, поскольку не было понимания, что клиент настроен скептически всегда и ко всему, поэтому подобная отрицательная реакция была скорее закономерна, чем непредсказуема. К счастью, удалось выдержать удар и выпустить новую серию принтеров с модернизированным программным обеспечением и кинематикой, а все устройства из предыдущей партии заменить. При этом количество критических отзывов не сократилось. Таким образом, реальная логика сбыта весьма проста: чем больше продается принтеров, тем больше поступает рекламаций — это необходимо понимать на этапе старта бизнеса. Рекламация — это сопутствующий компонент роста предприятия.

На определенном этапе развития компания смогла позволить себе создать специальный отдел, сотрудники которого непрерывно обзванивают клиентов и интересуются состоянием дел, спрашивают о том, в чем могла бы выражаться помощь от поставщика. Подобная структура смогла появиться после того, как были накоплены необходимые компетенции, знания и, конечно, финансовые возможности. Собранная информация позволяет совершенствовать оборудование, а это повышает спрос. Подобный подход ведет к росту конкурентоспособности, и если каждая компания будет придерживаться такого метода, можно будет конкурировать с китайскими производителями. Пользуется спросом не продукт, а комплексное решение, совокупность услуг и компетенций, которыми обладает компания.

Дмитрий Синьгаев, руководитель промышленных продаж компании 3D Vision, начал выступление с замечания о том, что компания-интегратор прекрасно работает как с отечественными, так и китайскими партнерами.

Сложности существуют в каждой области бизнеса, и нет никаких волшебных решений, таблеток, которые помогли бы их преодолеть. Необходимо четко видеть проблему и правильно формулировать задачу, делая последовательные попытки раз за разом в ее преодолении. После решения одной задачи на горизонте намечается новая сложность, потому что бизнес — это процесс, который не заканчивается никогда.

Михаил Артюшков твердо уверен, что «первое блюдо» для клиента поставщик должен приготовить сам, в этот период нужно не просто смонтировать оборудование — требуется поставить технологию и инструмент, которыми заказчик может пользоваться, но самое сложное — найти тех людей, которые станут адептами аддитивной технологии на предприятии, тех, кто «влюбится в новое оборудование» и в дальнейшем будет работать на нем и использовать с удовольствием. Артюшков поделился опытом внедрения оборудования на предприятии со своеобразным графиком рабочего дня, включающим двадцатиминутный перерыв на дневной сон: в такой организации предельно сложно выполнить пусконаладочные работы. Для успеха внедрения желательна вовлеченность персонала и лидерство руководства.

Артем Красовский связывает серьезные сложности с логистикой, учитывая гигантские российские расстояния, когда с грузом случаются «различные нюансы».

Артем Лобач изложил позицию, согласно которой лучшим тестировщиком оборудования является новый оператор. Сотрудники, прошедшие предварительное обучение, как правило, бережно относятся к оборудованию. Однако случаются ситуации, когда старый сотрудник увольняется, и на его место приходит новый, после чего работа принтера снова переходит в тестовый режим, при котором велика вероятность поломок и отказов. Страховкой от таких ситуаций может служить разработка рабочих инструкций и правил эксплуатации.

Заочное голосование дало предсказуемые результаты: участники, число которых с начала выросло до 38 человек, посчитали, что основными трудностями на старте аддитивного производства являются:

- кадры — 39,5% (15 человек);
- экономика — 28,9% (11 человек);
- интеграция в процессы — 28,9% (11 человек);
- оборудование — 2,6% (1 человек).

Финальный вопрос, заданный ведущим встречи **Евгением Матвеевым**, звучал настолько провокационно, что многие предпочли уклониться от прямого ответа, сославшись на коммерческую тайну и пункты договора, предписывающие не разглашать коммерческую информацию. Предметом обсуждения должна была стать маржа, точнее, **сколько зарабатывает компания на перепродаже оборудования**.

Николай Дробченко высказал общую позицию, что по-настоящему необходимо обсуждать не маржу, а уровень рентабельности, величину добавленной стоимости.

Полученные финансовые средства вкладываются в развитие производства, а не используются для «набивания карманов».

Александр Юрасов предложил различать доходность от продажи штучных изделий и продуктов серийного производства. Обоснованно на штучные изделия закладывать маржу более 100%. При переходе к серийному производству доходность начинает сокращаться, потому что производитель заинтересован в развитии рынка, а низкие цены стимулируют рост продаж.

Михаил Артюшков связал размер маржи с кредитной банковской ставкой. В 2025 году банки были основными бенефициарами аддитивного рынка, которые финансировали реализацию проектов компаний-заказчиков.

При ценообразовании услуг 3D-печати существуют два подхода: исходя из размера себестоимости и конъюнктурный. Выполняя заказы на печать, в половине случаев компания может обеспечить рентабельность выше, чем на продаже оборудования. Высокий доход достигается за счет точности изготовления конечной детали, которая требует минимальной постобработки поверхностей, чем обеспечивается конкурентоспособность с традиционными технологиями производства. В целом необходимо отметить, что рентабельность у всех участников аддитивного рынка примерно одинаковая.

Дмитрий Синьгаев обратил внимание на факт, что рентабельность считают все по-разному, экономисты понимают, что можно «что-то вычесть, что-то добавить». Объективная реальность состоит в том, что если компания закладывает в цену рентабельность ниже 15–20%, то через некоторое время данную организацию ждет банкротство.

Анатолий Тулаев дифференцировал виды деятельности по величине маржинальности, на первом месте — софт, продажи которого самые выгодные, на втором месте — оборудование, на третьем месте — услуги по печати.

Проведенная сессия подчеркнула, что российский рынок аддитивных технологий отличается низким потребительским спросом, и это главный барьер для развития. Конкуренция с китайскими производителями усугубляет ситуацию в плане роста отечественных производственных компаний. Выход на рентабельность при мелкосерийном производстве — сложная задача, особенно если учесть, что так называемая маржа вкладывается в развитие производства. Меры господдержки, как показало голосование, востребованы по всем обозначенным направлениям: субсидии, госзаказы, кадровая программа, нормативная база. Объединению усилий и лоббированию интересов могут помочь некоммерческие организации, и их появление поддерживается участниками рынка. Несмотря на обозначенные сложности, участники сессии оптимистично смотрят в будущее и обладают желанием и потенциалом занять лидирующие позиции по выпуску оборудования, программного обеспечения и материалов.

Владимир Сорокин



3D-печать — стратегический инструмент в стоматологии



Антон Волков, руководитель отдела развития медицинских материалов HARZ Labs

Развитие 3D-печати в России: путь от нишевой технологии к массовому инструменту

Первые шаги аддитивных технологий в российской стоматологии относятся к началу 2010-х годов. В этот период отдельные зуботехнические лаборатории начали внедрять компактные SLA- и DLP-принтеры, представлявшие собой высокоточное, но всё ещё узкоспециализированное оборудование. DLP-системы отличались стабильной точностью и высокой скоростью засветки, в то время как SLA-принтеры обеспечивали качественную поверхность печати и точное воспроизведение геометрии, но уступали в скорости изготовления. Несмотря на технические преимущества обеих технологий, они оставались сложными в эксплуатации.

Стоимость оборудования была сопоставима с бюджетом небольшой лаборатории, сервисная поддержка — ограниченной, а линейка материалов — крайне узкой. Большинство доступных фотополимеров привозилось из-за рубежа, что делало работу непредсказуемой: одни смолы плохо подходили по точности, другие требовали сложных режимов полимеризации, третьи не имели медицинских документов. В результате 3D-печать воспринималась скорее как инновационная опция, а не как необходимый элемент рабочего процесса.

Ситуация начала стремительно меняться в середине — конце 2010-х годов. На рынок массово вышли доступные LCD-принтеры китайских производителей, которые радикально снизили порог входа в технологию. Благодаря использованию недорогих ЖК-матриц из потребительской электроники себестоимость оборудования упала в несколько раз, но при этом производительность выросла: увеличилось рабочее поле, улучшилось качество печати, упростилось обслуживание.

Параллельно начала формироваться полноценная экосистема стоматологических материалов. На рынке появилось большое количество специализированных фотополимеров. Их качество и предсказуемость значительно улучшились, что позволило клиникам и лабораториям уверенно переходить на цифровые технологии без риска потери точности и стабильности результата.

Именно сочетание доступного оборудования и широкого выбора материалов стало ключевым фактором цифровой трансформации отрасли. Если в начале десятилетия 3D-печать была уделом энтузиастов, то к концу 2010-х она превратилась в массовый рабочий инструмент, который стал основой современной стоматологической практики.

Особую роль в становлении российского рынка фотополимерной печати сыграла компания HARZ Labs — один из заметных отечественных разработчиков материалов для стоматологической и медицинской 3D-печати. Вместе с другими российскими производителями компания внесла вклад в формирование локальной технологической базы, однако именно HARZ Labs сделала акцент на комплексном подходе: развитии собственных R&D-решений, создании удобного сервиса и поддержке специалистов, осваивающих цифровые рабочие процессы. Благодаря внедрённой системе менеджмента качества ISO 13485 и наличию регистрационных удостоверений на медицинские материалы продукция компании получила широкое доверие профессионального сообщества и стала частью практики многих стоматологических лабораторий и клиник.

Инвестиция или деньги на ветер? Экономическая перспектива аддитивных технологий

Вопрос рентабельности остаётся ключевым аргументом в дискуссиях вокруг внедрения 3D-печати в клиниках и зуботехнических лабораториях. Скептики нередко считают аддитивные технологии дорогостоящим увлечением, не способным окупить затраты, однако анализ практики последних лет показывает обратное: при грамотной интеграции цифровой протокол становится экономически эффективным инструментом, оптимизирующим производственные процессы и расширяющим спектр услуг.

Одним из наиболее заметных эффектов внедрения 3D-печати является снижение прямых затрат на изготовление изделий. Диагностические модели, временные конструкции, капы и другие изделия, которые раньше



Рис. 1. Пример напечатанных хирургических шаблонов

требовали значительных материальных и трудовых ресурсов, сегодня печатаются быстрее и значительно дешевле. Кроме того, клиники и лаборатории уменьшают зависимость от сторонних исполнителей, сокращая расходы на логистику и аутсорсинг.

Не менее важен рост пропускной способности. Современный фотополимерный принтер способен за несколько часов изготовить объём работ, который ранее занимал несколько дней. Это позволяет увеличивать производительность без расширения штата и без дополнительных вложений в дорогостоящее оборудование. Фактически 3D-печать становится инструментом масштабирования бизнеса даже для небольших лабораторий и частных клиник.

Снижение количества переделок также оказывает прямое влияние на экономическую эффективность. Благодаря высокой точности цифрового моделирования и стабильному качеству печати вероятность брака минимальна, а изделия, соответствующие цифровому проекту, требуют меньше корректировок. Это освобождает время специалистов и оптимизирует рабочий график, что особенно важно в условиях высокой нагрузки.

Внедрение аддитивных технологий открывает доступ к новым клиническим и лабораторным возможностям, ранее доступным лишь крупным специализированным центрам. Навигационная хирургия, цифровое эстетическое планирование, изготовление индивидуальных кап, сложных временных конструкций и точных хирургических шаблонов становятся стандартной практикой как для клиник, так и для лабораторий. Это расширяет спектр услуг и позволяет учреждениям занимать более сильные позиции в конкурентной среде.

Наконец, 3D-печать изменила сами подходы к производственным протоколам. Ряд задач, которые раньше считались слишком трудоёмкими или экономически нецелесообразными, сегодня выполняются быстро и предсказуемо. Это касается как новых направлений — например, изготовления хирургических шаблонов или элайнеров, — так и модернизации традиционных технологий, включая производство базисных протезов и элементов ортопедических конструкций. Индивидуализация, которая ранее была ресурсозатратной, стала основой современной стоматологии и лабораторной практики.

В совокупности эти факторы формируют однозначный вывод: 3D-печать — это не деньги на ветер, а инвестиция, которая усиливает технологическую устойчивость и стратегическую гибкость клиники или лаборатории. Там, где цифровые процессы выстроены системно, аддитивные технологии демонстрируют высокую рентабельность и становятся неотъемлемой частью эффективной современной практики.

Клиническое применение фотополимеров: навигационная хирургия как новый стандарт точности

3D-печать заметно изменила подход к имплантологическим операциям, особенно в сфере навигационной хирургии. Если раньше точность установки имплантов во многом зависела от опыта врача и его способности ориентироваться на глаз, то сегодня стоматологи опираются на цифровые протоколы, позволяющие заранее просчитать каждый миллиметр будущего вмешательства.

Хирургические шаблоны, созданные на основе КТ-данных и цифровых моделей пациента, изготавливаются на 3D-принтерах с высокой точностью и стабильностью (рис. 1, 2). Они обеспечивают строгое направление инструмента, полностью контролируя глубину, угол и позицию сверления. Такой подход даёт специалисту возможность не просто планировать операцию, но и практически «проигрывать» её заранее, уменьшая вероятность ошибок и повышая безопасность процедуры.

Навигационная хирургия на основе аддитивных технологий делает имплантацию менее травматичной, сокращает время вмешательства, ускоряет восстановление и повышает прогнозируемость конечного результата — качества, которые сегодня становятся стандартом современной стоматологии.

Развитие аддитивных технологий в России прошло путь от экспериментальной опции до стандарта современной стоматологии. Доступность оборудования, появление качественных фотополимеров и формирование локальной технологической инфраструктуры создали условия для широкого внедрения цифровых процессов. Сегодня 3D-печать — это стратегический инструмент, обеспечивающий точность, скорость, экономическую эффективность и новые клинические возможности. ■

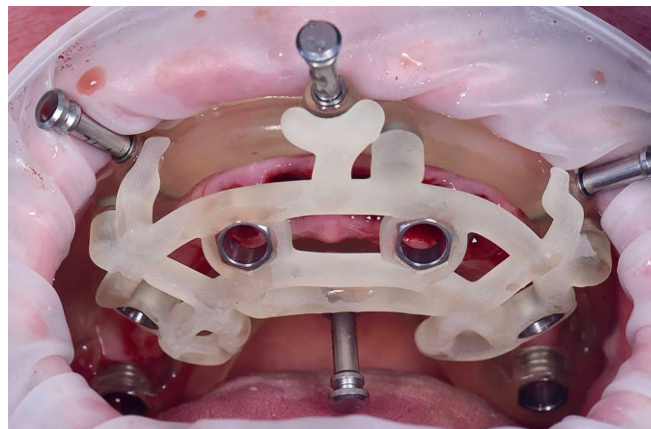
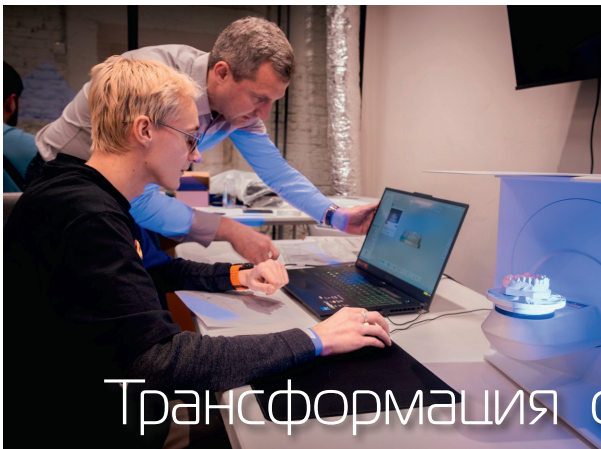


Рис. 2. Хирургический шаблон в полости рта



Трансформация стоматологии

Два дня, 256 участников, девять докладов, клинических разборов, мастер-классов и живых демонстраций — «Цифра Конгресс № 3», организованный Академией аддитивных технологий «Цифра Цифра» и проходивший в Москве 21–22 ноября, стал точкой притяжения экспертов, ведущих клиницистов, молодых специалистов и крупнейших игроков стоматологического рынка нашей страны.

Мероприятие по теме «Трансформация стоматологической практики: синергия цифровых технологий и классических методик в диагностике, лечении и реабилитации пациентов» объединило хирургов-имплантологов, ортопедов, зубных техников и CAD/CAM-специалистов. Сцену конгресса поочерёдно занимали лидеры индустрии — практикующие врачи и техники, представляющие самые современные подходы к лечению пациентов: цифровую навигацию и цифровую реабилитацию в режиме реального времени, использование цифрового протокола изготовления конструкций, биопечать тканей в полости рта и другие. Все выступления сопровождались разбором реальных клинических случаев, демонстрацией авторских методик и междисциплинарных подходов.

Помимо лекционной программы конгресс стал пространством интенсивной практики, где участники смогли применить полученные знания и протестировать современные цифровые технологии.

Совместно с Колледжем зубных техников ПМГМУ им. И.М. Сеченова была проведена CAD/CAM-олимпиада для начинающих специалистов, которые прослушали лекцию по сканированию и 3D-печати; приняли участие в демонстрации оборудования; выполняли сканирование объектов и работу с первичными цифровыми данными; закрепляли навыки работы с современными цифровыми

протоколами и оценивали точность собственных моделей. Олимпиада позволила участникам погрузиться в реальные рабочие процессы лаборатории и получить обратную связь от экспертов отрасли.

Генеральный партнёр конгресса — HARZ Labs — провёл насыщенный практический блок, посвящённый фотополимерной 3D-печати. Участники прошли сквозной путь полного цифрового цикла: выбор и сравнение фотополимерных смол под разные клинические задачи; подготовка цифровых моделей и правильная работа со сканами; настройка параметров печати и оптимизация точности; нюансы постобработки и очистки изделий; включение 3D-печати в существующие CAD/CAM-процессы клиник и лабораторий. Мастер-класс стал одной из насыщенных зон конгресса, позволяя стоматологам и техникам протестировать современные материалы, разобраться в тонкостях технологического процесса и задать вопросы инженерам-практикам.

В экспозиции участники познакомились с новинками цифрового оборудования, CAD/CAM-технологий, систем визуализации, материалов и инструментов, представленных компаниями: Megagen, HARZ Labs, Stom Supply, Dexis, D-tech, Omitec, S.T.I, «Квалитет», ГК «Стомаркет», Золотое Сечение, Green Dent, журнал «Зубной техник», President, «Пикассо Лаб», «РИКОМ», «Ситидент», «Рокада», «Симко Биотек».

Следующий «Цифра Конгресс № 4» состоится 31 октября — 1 ноября 2026 года в Москве. Участников ждёт расширенная программа, акцент на хирургическую стоматологию, цифровизацию клиник и лабораторий, а также внимание к экономике стоматологического бизнеса.



Возможности и перспективы применения биополимеров при лечении заболеваний головы и шеи

Применение 3D-печати биополимерами при лечении заболеваний головы и шеи открывает широкие перспективы в современной медицине. Новые технологии позволяют создавать высокоэффективные решения, направленные на улучшение состояния пациентов с тяжелыми патологиями. Рассмотрим некоторые ключевые моменты и достижения в данной области, представленные на медицинской сессии форума 3D-Tech.

Современные тренды здравоохранения создают необходимость развития новых технологий. В рамках национального проекта «Новые технологии сохранения здоровья» в числе других для развития определены технологии биопринтинга, 3D-печати и 3D-моделирования.



По сообщению **Оксаны Фомичевой**, заместителя директора Департамента науки и инновационного развития здравоохранения Минздрава России, все учреждения, подведомственные Минздраву, принимают участие в этом проекте. Разрабатываются новые идеи и выпускаются готовые продукты для приме-

нения в медицинской практике. Министерство здравоохранения основной своей задачей видит законодательную деятельность в плане применения аддитивных технологий в медицине (это касается прежде всего персонифицированной медицины), уделяет внимание качеству и безопасности материалов, из которых изготовлены медицинские изделия, всегда открыто к диалогу с научным профессиональным сообществом для ведения совместной нормотворческой деятельности.



Владимир Путь, модератор конференции, доктор медицинских наук, заведующий кафедрой стоматологической реабилитации ЧОУ ВПО Московского университета им. Витте, профессор кафедры онкологии, радиотерапии и пластической хи-

рургии МГМУ им. И.М. Сеченова, подтвердил, что аддитивные технологии применяются в клинической практике последние годы и имеют ряд преимуществ, таких как точность изготовления изделий, их стойкость к стерилизации и биосовместимость, возможность переработки и повторного использования материала. Среди применяемых технологий: FDM (изделие формируется послойно из расплавленной пластиковой нити), SJP (единственная в мире 3D полноцветная печать с принципом склеивания порошка, состоящего из гипса), SLS (селективное лазерное спекание), MJM (многоструйное 3D-моделирование с использова-

нием фотополимеров и воска), SLA (послойное отверждение жидкого полимера).

Биотехнологическая модификация тела человека предполагает: простое и эффективное решение для одномоментной замены удаленного органа синтетическим аналогом; замену органа с восстановлением его функции, причем время является ключевым фактором успеха; достижение баланса между синтетикой и органикой. И новые технологии призваны решать данные задачи.

Характеризуя современное состояние развития аддитивного направления в хирургии, Владимир Путь выделил следующие моменты:

- аддитивные технологии пока не имеют широкого применения при лечении травм лицевого скелета, врожденных деформаций и постонкологических дефектов;
- существует проблема удаления рентгеновских артефактов при наличии в организме металлов;
- имеется серийное производство имплантатов для стоматологии (применяются стандартные металлоконструкции);
- после удаления органов или травмы лицевого скелета развивается констрикция тканей, что ограничивает и осложняет дальнейшее лечение;
- технологии временной имплантации и протезирования используются исключительно в стоматологической практике;
- обучение специалистов идет в первую очередь по стандартным методикам и протоколам, имеется недостаток информации в профессиональной литературе.

Касаясь темы материалов в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, он отметил, что металлы, давно нашедшие применение в стоматологической практике, к сегодняшнему дню исчерпали свой потенциал. Например, при сложных случаях, таких как замена челюсти и травма лица, металлические конструкции не позволяют достичь того эффекта, которого ожидают хирурги. В этом направлении ведутся работы по использованию новых материалов полиэфирэфиркетона (PEEK), карбокарбоновых композитов и полилактида (PLA), которые проходят апробацию. В МИСИС созданы уникальные покрытия на основе титана, оксида титана парилена и полипраксилена — биоинертные и высокопрочные, которые можно наносить на биополимеры.

Алгоритм действий инженеров, конструкторов и зубных техников в челюстно-лицевой хирургии и стоматологической реабилитации включает следующие задачи:

- Удаление артефактов в Dicom, переформатирование в STL (или это задача рентгенологов?).
- Проектирование имплантата, согласование со специалистами в цифровом формате.
- Совмещение протеза и модели, выбор формы и зоны фиксации, «конструкционное консультирование» хирургов, стоматологов.
- Печать модели и прототипа из пластика, примерка, согласование со специалистами, доработка.
- Оценка возможности изготовления операционных шаблонов, направляющих и др.
- Оценка возможности изготовления разборного протеза.
- Практическое воспроизведение пластикового и титанового протезов, окончательное согласование вариантов протеза.
- Обратная связь и получение отдаленных результатов.

Три компетенции, необходимые каждому специалисту, — это «знать» (воспроизводить и объяснять полученную информацию с требуемой степенью научной точности), «уметь» (решать типовые задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения и использования информации) и «владеть» (решать сложные задачи на основе приобретенных знаний, умений и навыков с их применением в нетипичных ситуациях).

Для развития направления, по мнению докладчика, необходимо:

- Обосновать применение полимерных индивидуальных протезов, органосохраняющих челюстно-лицевых имплантатов, изготовленных с применением аддитивных технологий при атрофии челюстей, травме лицевого скелета, врожденных деформациях и постонкологических дефектах челюстно-лицевой области.
- Инициировать исследования в вышеуказанном направлении.
- Разработать и внедрить программу реабилитации пациентов с использованием временных полимерных индивидуальных органосохраняющих челюстно-лицевых имплантатов.
- Организовать обучение специалистов.
- Соответствовать требованиям завтрашнего дня и осуществлять эффективное лечение!



Михаил Гладышев, кандидат медицинских наук, сотрудник кафедры стоматологической реабилитации Московского университета им. Витте, продолжил тему и отметил, что сегодня стоматологи пытаются расширить рамки возможностей при лечении пациентов со сложными

дефектами, например, постонкологические дефекты и минно-взрывные ранения. И к имплантату предъявляются определенные требования.

Имплантат, применяемый в стоматологической практике, должен быть гипоаллергенным и биосовместимым, а его масса должна быть не больше заменяемого кост-

ного дефекта. Необходимые требования к механическим свойствам: предел прочности для силовых элементов ≥ 100 МПа, предел текучести ≥ 100 МПа, предел прочности для остеоинтегрируемых элементов ≥ 20 МПа, модуль упругости для суставных поверхностей и поверхностей силовых элементов — 15–30 ГПа, модуль упругости для остеоинтегрируемых элементов — 1–7 ГПа.

Из опыта эксплуатации: титан после нескольких лет использования имплантатов «диффундирует», нарушая эстетику. Поэтому сейчас чаще работают с циркониевыми имплантатами. Кроме того, с неметаллическими изделиями более практично работать в операционном поле. Например, устанавливая протез нижней челюсти из РЕЕК, можно прямо в операционной модифицировать элементы, подтачивать при необходимости зуботехнической фрезой. При установке винтов через РЕЕК можно изменить их наклон. Такое моделирование при титановых каркасах невозможно, нужно перепечатывать весь каркас.

Возможности аддитивных технологий в стоматологической отрасли расширяются с каждым годом. Для того чтобы быстрее ввести новшества в клиническую практику, специалисты проводят опыты на биообъектах, чаще всего на овцах. Эксперименты на биообъектах показывают удовлетворительные результаты, и использование полимерных имплантатов в стоматологии будет расширяться.

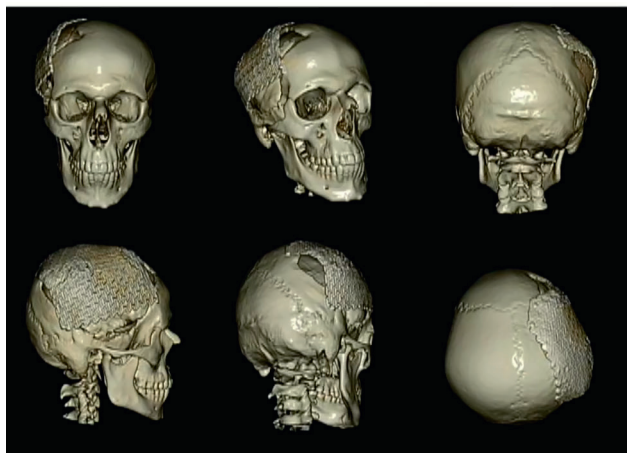


В следующем докладе **Наталья Смирнова**, врач-рентгенолог, заведующая отделением рентгенологии сети стоматологических клиник «Рудента», рассказала о лучевой диагностике патологий головы и шеи, отметив, что диагностика является первым шагом при лечении.

Среди приведенных клинических примеров, которые диагностировались с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), были такие, как искривление носовой перегородки, односторонняя и двусторонняя гипоплазия верхнечелюстных синусов, признаки левостороннего одонтогенного гемисинусита с распространением восходящей инфекции. Лучевая диагностика позволяет обследовать дыхательные пути и то, что вызывает их сужение. Докладчица продемонстрировала снимки рентгенологических признаков изменений среднего уха, диагностирование пансинусита, отита и мастоидита, обнаружения гипертрофии задних отделов нижних носовых раковин и сужение просвета носоглотки и др. Лучевая диагностика позволяет определить положение языка для его возможной корректировки при установлении сложных конструкций в полости рта и определить начальные признаки клювовидной деформации.

Смирнова подчеркнула исключительную важность проведения 3D-рентгенографии перед проведением стоматологического лечения, поскольку 2D-рентген имеет ряд ограничений, которые существенно снижают процент выявленных патологий.

Ручное моделирование титанового импланта



Индивидуальный титановый имплант

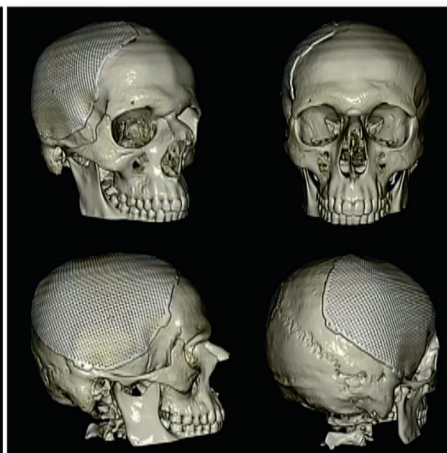


Рис. 1. Опыт замены имплантата, выполненного с помощью ручного моделирования, на индивидуальный имплантат. Фото из презентации И. Краснова



Игорь Краснов, врач-нейрохирург, ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко», связал возрастающее использование 3D-печати в реконструктивной нейрохирургии со сложностью оперативных вмешательств, требующих тщательной подготовки операций, повышением квали-

фикации нейрохирургов, получением определенных свойств материалов. Для 3D-печати в центре часто применяется лазерная стереолитография, которая заключается в создании фотополимерных полномасштабных моделей черепа, имплантатов и фотополимерных пресс-форм для их изготовления. 3D-печать титановых имплантатов выполняется с помощью электронно-лучевого и лазерного плавления металлов. Для компьютерного моделирования преимущественно используются два метода — моделирование 3D-моделей на основе симметрии черепа и моделирование имплантатов с использованием технологии «виртуальный донор». Среди материалов для краниоимплантатов часто в центре применяется титановый сплав BT6 и композиция полиметилметакрилата, а также PEEK, PLA, композиция гидроксиапатита (ГАП) и углепластик. Было подчеркнуто, что на сегодняшний день идеального материала не существует и исследования продолжаются.

Также докладчик обратил внимание на значимость взаимодействия пациента с инженерной командой и оперирующим хирургом при использовании краниоимплантатов в связи с индивидуальными особенностями и вероятностью внесения изменений в материал.

На примере Краснов подчеркнул достоинства индивидуального титанового имплантата, изготовленного с помощью 3D-печати, в сравнении с имплантатом, выполненным посредством ручного моделирования. Как результат индивидуальный имплантат устранил асимметрию и избавил пациента от выраженных головных болей (рис. 1).

Опыт использования краниоимплантатов в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко»: 85 пациентов прооперированы с применением пресс-форм из полиметилметакрилата (ПММА) в 2024 году, 103 пациента прооперированы с применением титановых имплантатов

с 2020 по 2023 год. Возраст пациентов от 20 до 70 лет. Площадь минимального дефекта черепа составляла 58 см², а максимального — 140 см².

Осознавая актуальность новых материалов для производства имплантатов, в компании Bioimplast обратились к поливинилиденфториду (ПВДФ), который давно применяется в медицине: из него изготавливаются шовный материал и сетки для герниопластики. Это стало одной из основных причин, по которым компания Bioimplast использовала ПВДФ для создания имплантатов.



Как рассказал **Александр Просолов**, директор компании, разработка технологии изготовления индивидуальных имплантатов методом FDM-печати в компании велась одиннадцать лет (рис. 2). Процесс включает в себя очистку сырья на стадии порошка, изготовление филамента для

3D-печати из ПВДФ с возможностью создания композитного материала и создание математической модели имплантата с учетом индивидуальных особенностей пациента. Материалы из ПВДФ имеют ряд преимуществ перед титановыми имплантатами — это высокая произ-

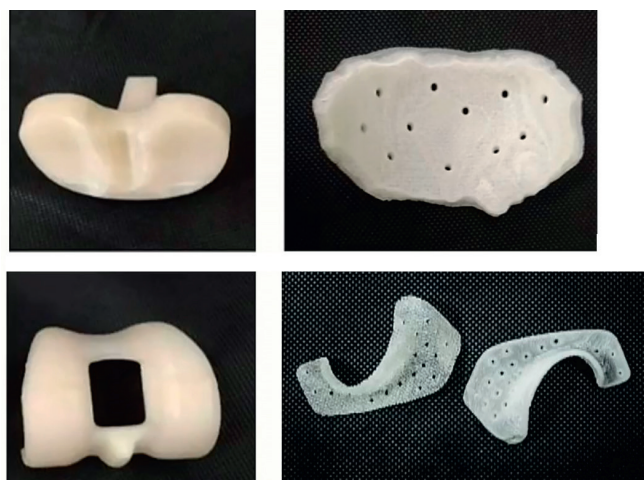


Рис. 2. Имплантаты Bioimplast из ПВДФ. Фото из презентации А. Просолова



Рис. 3. Сравнение модуля упругости популярных стоматологических материалов. Фото из презентации А. Лазарева

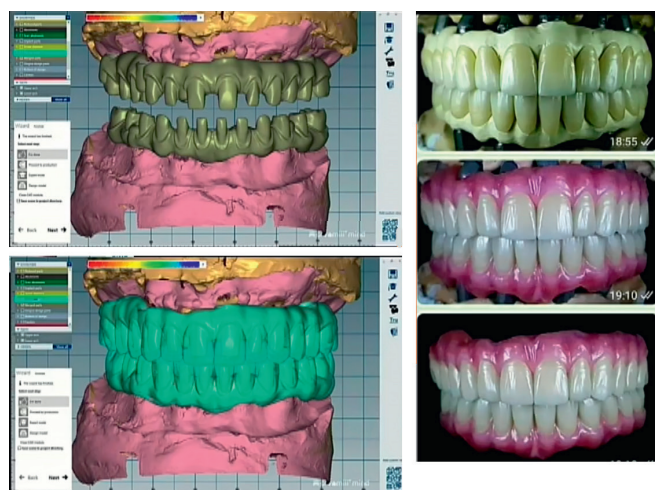


Рис. 4. Использование PEEK для имплантатов в стоматологии. Фото из презентации А. Лазарева

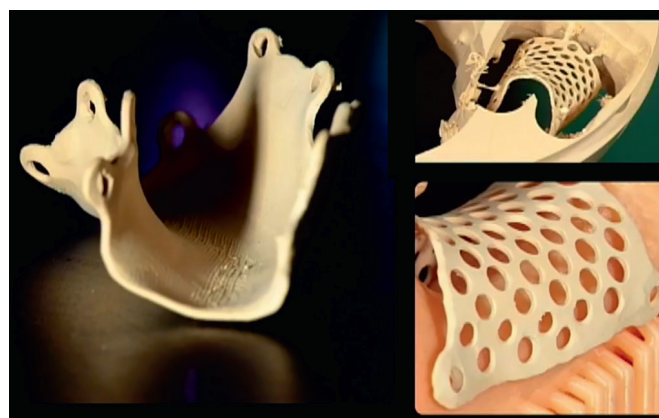


Рис. 5. Применение PEEK для создания различных мембран для проведения костной пластики. Фото из презентации А. Лазарева

водительность технологии, невысокая стоимость сырья и технологического оборудования, отсутствие загрязняющих факторов, высокая биосовместимость и манипуляционные свойства. ПВДФ превосходит материалы из PEEK по эластичности, его механические свойства имитируют свойства костной ткани.

Клиническое применение материалов из ПВДФ в качестве медицинских инструментов обеспечивает высокую анатомическую точность, возможность стерилизации всеми доступными методами без изменения структуры и формы инструмента, высокое качество и небольшую продолжительность оперативного вмешательства. Имплантат из ПВДФ хорошо отображается при лучевой диагностике и не вызывает артефактов.

Докладчик поделился своей точкой зрения о дальнейших перспективах применения материалов из ПВДФ в клинической медицине, предложив производственные площадки индивидуальных изделий разместить рядом с крупными клиническими центрами и переходить к разработке и производству серийных имплантатов в различных сегментах,

а также предположил, что в ближайшее время должно возрасти использование имплантатов из ПВДФ в военной хирургии непосредственно в зоне боевых действий. В настоящий момент ведутся разработки композитных материалов и покрытий на основе ПВДФ для имплантатов, рассматривается совмещение ПВДФ с PEEK и другими полимерами.



Александр Лазарев, директор ООО «Аладент», представил доклад по ортопедической стоматологии для имплантологии, рассказав об алгоритме выбора материалов, применяемых в протезировании.

В стоматологии для изготовления ортопедических конструкций известно применение целого ряда материалов: керамики, титана, золота, эмали, дентина и других. На текущий момент циркон является самым распространенным. Однако если остановиться на задаче изготовления конструкции на имплантатах на нижнюю челюсть при малом количестве опор и оценить все материалы по соотношению их модуля упругости с модулем упругости костной ткани (около 4,5 ГПа), то можно сделать вывод, что выбор циркона в качестве материала несостоятелен (рис. 3). Акрил также не подходит для подобных задач с точки зрения гигиены. Лазарев предлагает решение в использовании материала PEEK, который уже успешно применяют в спинальной хирургии для лечения межпозвонковых грыж.

Основные свойства данного материала — биоинертность, низкая теплопроводность и малая влагоемкость. Материалы PEEK купируют нагрузки на нижнюю челюсть и гарантируют сохранность имплантатов и костной структуры. Сегодня уже существует опыт использования PEEK в области встречного протезирования, PEEK успешно комбинируется с другими стоматологическими материалами. Абатменты и вкладки из PEEK получили хорошие



бионическая структура, обладающая необходимым комплексом медико-технических свойств:

- размер ячеек около 600 мкм
- диаметр балок 300 мкм
- форма ячеек является тетрагональной развита ячейчатая структура для остеоинтеграции с трабекулярной костью
- высокая пористость (более 70%)
- низкий коэффициент упругости (1,5 ГПа* по результатам расчёта на базе расчётного комплекса ANSYS).

отечественном 3D-принтере методом послойного наращивания - селективного лазерного плавления (СЛП) металлических порошковых материалов серия MeltMaster3D разработки ГК «Росатом». порошок на основе титана BT1-00



отзывы у стоматологов (рис. 4). Кроме того, материал применяется при проведении костной пластики для изготовления различных мембран (рис. 5), для воссоздания элементов костной челюсти и основы носа и др.

По мнению докладчика, материалы из PEEK должны использоваться в ортопедической стоматологии чаще циркона, который сегодня применяется в 90% случаев.

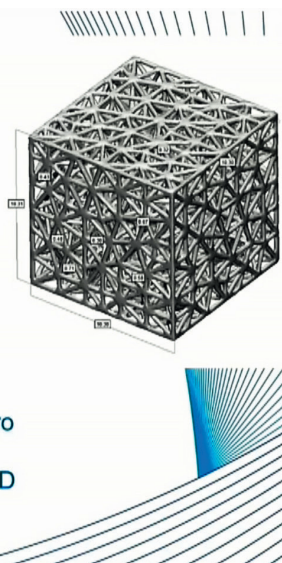


Дмитрий Святославов,

кандидат медицинских наук, доцент кафедры онкологии ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени Сеченова, призвал подходить к выбору материала творчески и не списывать со счетов титан. В университете был проведен эксперимент, в ходе которого было доказа-

но, что созданная сетчатая конструкция (рис. 6) по модулю упругости приближается к кости. И пористый титан может быть использован с целью создания аугментов для замещения костных дефектов, пластин для остеосинтеза, спинальных кейджей и др.

Докладчик привел клинический пример, который включал в себя создание структурной каркасной конструкции из титана для воссоздания тела позвонка, пораженного метастазом. Также был приведен пример, как с помощью технологии стереолитографии у пациента был устранен дефект трахеи с использованием имплантата и пресс-формы из полимера. Кроме того, Святославов



← Рис. 7. Печать шаблонов. Фото из презентации Д. Святославова

Рис. 6. Печать бионической структуры из титана. Работа выполнена с ООО «Наука и инновации» (ГК «Росатом»). Фото из презентации Д. Святославова



Рис. 8. Хирургические шаблоны из материала производства Harz Labs. Фото из презентации Д. Святославова

показал ряд примеров восстановления непрерывности нижней челюсти, печати шаблонов (рис. 7) и устранения травм кисти у пациентов.

В университете имеется опыт эксплуатации отечественных материалов Harz Labs для создания хирургических шаблонов и ненагруженных имплантатов методом стереолитографии (рис. 8), которые соответствуют требованиям ГОСТ Р ИСО 10993.



Юрий Уткин, заместитель генерального директора по медицинскому направлению АО «УНИИКМ» и генеральный директор ООО «Углекон», выступил с докладом о внедрении углерод-углеродных композиционных материалов в медицинскую практику. Он выразил уверенность в том,

что в скором будущем композиционные материалы получат самое широкое применение в медицине, несмотря на то, что сейчас за пределами Российской Федерации они не применяются по причине жесткой регуляторной политики в рамках страховой медицины.

Данные материалы обладают преимуществами, которые обеспечивают эффективность их использования в клинической практике. Это близость к костной ткани человека по своим характеристикам, химическая инертность, остеокондуктивность, повышенная износостойкость, устойчивость к температурным изменениям, рентгенопрозрачность и отсутствие противопоказаний для проведения МРТ.

В ООО «Углекон» разработаны уникальные технологии производства изделий из углерод-углеродных композиционных материалов в таких направлениях, как ортопе-



Рис. 9. Эндопротез ТБС с ножкой из «Углекон-МВ» и чашкой из «Углекон-МТ». Из презентации Ю. Уткина

дия, травматология, нейрохирургия, челюстно-лицевая и военно-полевая хирургия. Уткин привел примеры изделий из композитов, среди которых ножка эндопротеза тазобедренного сустава, углеродный имплантат для замещения тел позвонков, углеродный костезаполняющий имплантат и имплантат для пластики черепа.

По результатам проведенных исследований специалисты ООО «Углекон» пришли к выводам, что при использовании углерода репаративные процессы происходят более интенсивно. После трех месяцев остеогенная ткань полностью замещает дефект, после шести месяцев формируется молодая костная ткань, которая равномерно заполняет дефект от краев до центра. Использование углерод-углеродных композиционных материалов обеспечивает более раннее образование молодой и качественноструктурированной костной ткани.

В рамках НИР в компании были проведены эксперименты и исследования по имплантированию материалов на основе углерод-углеродного композита и полиэфирэфиркетона (PEEK) при закрытии критических дефектов в челюстно-лицевой области овец.

Уткин выразил уверенность, что внедрение УУКМ в практическую медицину позволит улучшить результаты лечения пациентов, снизить процент послеоперационных осложнений, сократить инвалидизацию и продлить срок службы медицинских изделий.

Для упрощения работы докторов, по мнению докладчика, необходимо на официальном уровне создать список разрешенных материалов для применения в медицинской практике.

С 2020 по 2022 год научно-исследовательский центр Военно-медицинской академии имени Кирова (НИЦ ВМед) проводил исследование по созданию 3D-моделей индивидуальных имплантатов для использования в хирургической практике. Главным образом они касались нейрохирургии. По результатам были составлены

методические рекомендации, которые были опубликованы в 2024 году.

Степан Плешок, доктор медицинских наук, профессор НИЦ ВМедА, подготовил доклад



Рис. 10. Эндопротезы челюсти и свода черепа, выполненные из «Углекон-МТ»

о предложениях и дополнениях в методические рекомендации по 3D-печати индивидуальных имплантатов для пластики дефектов черепа.

Индивидуальные имплантаты, изготовленные с применением 3D-печати, создаются тремя способами — с помощью ручного моделирования титановой пластины, с помощью 3D-напечатанной пресс-формы, путем индивидуальной 3D-печати готовых к использованию имплантатов.

Клинические показания для применения технологии цифрового моделирования определяется врачом-нейрохирургом, доктор участвует в процессе разработки конструкции, включая крепления. Особую роль играют результаты компьютерной томографии, при которой важно соблюдать требования методических рекомендаций к области сканирования (таблица 1).

После начала СВО статистика травм головы и дефектов черепа в России сильно изменилась. За 2024 год 70% хирургических травм было вызвано взрывными и осколочными повреждениями. Для минно-взрывных ранений головы характерны многооскольчатые переломы и дефекты костей, которые отличаются от травм мирного времени. В связи с этим возникло предложение изменить содержания методических рекомендаций, которые были приняты ранее.

В изменениях рекомендуется сменить название «3D-печать» на «проектирование и изготовление»;

Таблица 1

№ п/п	Дефект кости	Зона охвата томограммы	Шаг среза томограммы
1	Височная и затылочная области	Здоровые прилегающие области черепа не менее 2 см от края дефекта	1–2 мм
2	Надбровные дуги и верхние края глазниц	Обе глазницы до их нижнего края	1 мм
3	Позвоночник	Прилежащие здоровые позвонки относительно поврежденного сегмента	2 мм
4	Челюсти	Зубные ряды верхней и нижней челюсти полностью для субпериостальных имплантатов	0,5 мм
5	Нижняя челюсть	Часть лицевого черепа до суставной впадины и включительно верхней кромки глазниц	1 мм

включить в качестве соавторов представителей от клинических организаций и производственных площадок; включить в раздел по моделированию имплантатов из титанового сплава описание особенностей зоны реконструкции, зоны нахлеста, элементов крепления; уточнить, что аутсорсинг по изготовлению индивидуального имплантата из порошка титана или титанового сплава предпочтительно осуществлять на производственных площадках, имеющих установки SLM и EBM; добавить в приложение по нормативно-правовым основам название сайта с реестром организаций, осуществляющих производство медицинских изделий по индивидуальным заказам, которые инспектируются Росздравнадзором.

Степан Плешок подытожил, что создание новой редакции методических рекомендаций повысит качество образования врачей, улучшит визуализацию и клинический исход сложных операций, даст возможность персонализированного создания имплантатов и сделает медицинскую помощь более качественной.



Семен Мещеряков, детский нейрохирург, главврач ГБУЗ «НИИ НДХиТ», подробно разобрал достоинства и недостатки использования тех или иных материалов при реконструктивной хирургии повреждений позвоночника у детей.

Реконструкция при лечении позвоночника необходима в случае серьезных повреждений передней колонны позвоночного столба. Они могут возникнуть в результате травмы, разрушения вследствие литического процесса или вследствие объемного образования, из-за врожденных аномалий. Реконструкция может выполняться с помощью аутогенного или аллогенного трансплантата, с применением кейджей различного вида, с помощью материалов из РЕЕК, керамики и др., а также с помощью сочетаний разных материалов.

Аутогенный трансплантат позволяет делать заборы из фрагментов крыла подвздошной кости, ребра и малоберцовой кости. Он обеспечивает полную гистосовместимость, отсутствие рисков заражения, остеогенность, остеоиндуктивность и индуктивность. Материал имеет идеальные механические характеристики и невысокую стоимость. Однако обладает рядом недостатков, среди которых ограниченный объем материала, необходимость дополнительной операции и осложнения, связанные с ней.

Аллогенный трансплантат может использоваться в тех же областях, что и аутогенный, а также в виде деминерализованных костных матриц. При работе с ним не требуется дополнительная операция, материал обладает хорошей остеоиндуктивностью и приемлемой стоимостью. Однако при аллогенном трансплантате повышается риск заражения, а скорость консолидации снижается. Данный материал имеет высокий процент резорбции, его хрупкость повышает риск повреждения при импакции.

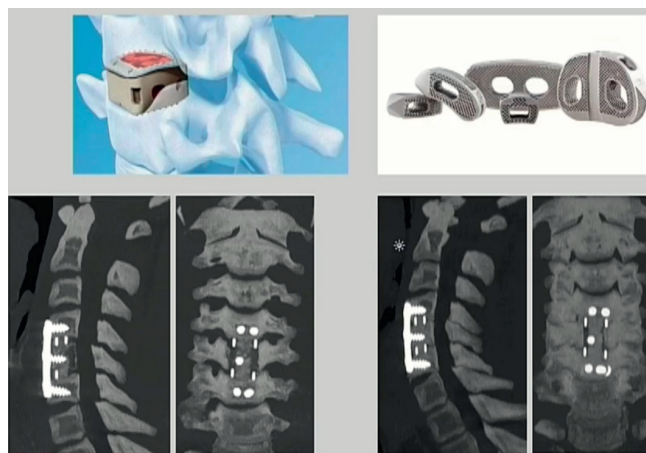


Рис. 11. Замена тела позвонка кейджем из РЕЕК, который был наполнен аутокостью. Снимки через год: формирование хорошего опорного блока, отсутствие потери коррекции. Фото из презентации С. Мещерякова

Металлические кейджи контейнерного типа легко моделируются во время операции, наполняются ауто- или аллокостью, обеспечивают формирование корпоророзеда за счет костной ткани и обладают высокой прочностью. Но их необходимо моделировать по межтеловому промежутку, что вызывает сложности, если замыкательные пластинки не параллельны. Кроме того, данные материалы имеют феномен проседания, под нагрузкой они продавливают тело позвонка, что приводит к потере концентрации.

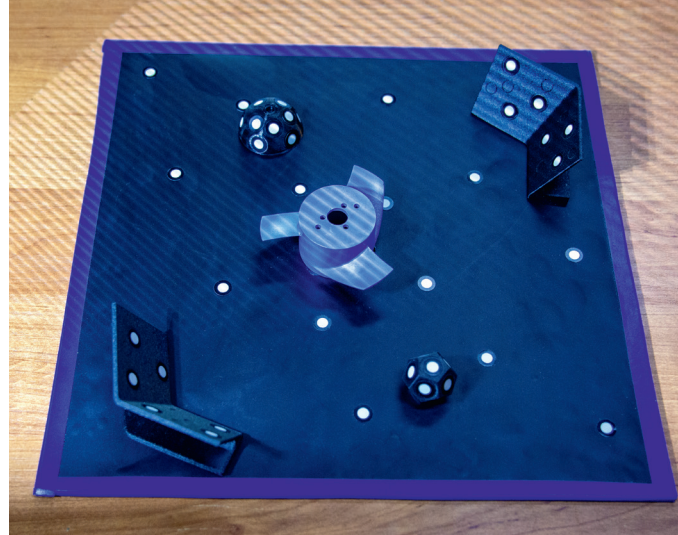
Раздвижные металлические кейджи сокращают время операции, обладают конгруэнтностью с замыкательными пластинами тел позвонков за счет возможности выбора площадок, гарантируют возможность distraction или компрессии. Но они дорого стоят, и при работе с ними необходимо дополнительно укладывать небольшой объем костной массы в межтеловый промежуток.

Материалы из РЕЕК используются для замещения поврежденных позвонков у детей недавно, но уже показали хорошие результаты (рис. 11). Риск заражения у РЕЕК минимален, материалу можно придать любую форму, он относительно остеоиндуктивен, проседание замыкательных пластин тел у РЕЕК меньше, чем у титана. Среди недостатков докладчик отметил высокую стоимость и необходимость дополнения РЕЕК остеогенными и остеоиндуктивными препаратами, тем не менее, по мнению Мещерякова, эти недостатки скоро останутся в прошлом. В заключение Мещеряков отметил, что реконструкцию передней колонны оптимально выполнять кейджами контейнерного типа, будущее за РЕЕК, широкое внедрение аддитивных технологий позволит персонализированно изготавливать межтеловые имплантаты, что сократит время вмешательства и повысит точность.

Представленные на сессии доклады доказали широкое внедрение аддитивных технологий в медицинскую практику. Биополимеры различных видов будут все чаще применяться для лечения заболеваний головы и шеи в ближайшие годы.

Николай Копытин

Как на судостроительном предприятии развивается аддитивное производство



Даниил Ракитин, инженер-конструктор
Игорь Костусев, начальник ПКБ автоматизированных систем управления
Владимир Мокрицкий, инженер-конструктор
Даниил Шушков, инженер-конструктор
Отдел главного конструктора (ОГК) СПО «Арктика»

В ноябре 2023 года на предприятии ОСК «Арктика» в Северодвинске был создан участок аддитивного производства. Инженеры-конструкторы отдела главного конструктора электромонтажного предприятия начали получать заявки на обратное проектирование и 3D-печать практически со всех подразделений предприятия, включая филиалы, расположенные в различных регионах России.

За два года работы было изготовлено свыше 45 тысяч деталей, разработано более 188 3D-моделей, освоены технологии послойного наплавления пластика по технологии FDM, а также SLA, которые обеспечивают высокую точность изготовления деталей. Участок аддитивного производства оказал существенную помощь в технологической подготовке производства.

Кроме изготовления оснастки, ремонта и восстановления оборудования Северное производственное объединение «Арктика» прорабатывает возможность серийного аддитивного производства малых подводных движателей (рис. 1), используемых в подводной робототехнике, кон-



Рис. 1. Малый подводный движатель

струкция которых постоянно совершенствуется. Кардинально меняется технология изготовления движателей: внедряются новые композиционные материалы и осуществляется переход от традиционной механической обработки резанием к аддитивным методам производства [1].

Обзор существующих решений показывает, что традиционные винты для малых движателей, изготовленные методом литья из пластика, обладают высокой прочностью и износостойкостью, однако требуют дорогостоящих технологий запуска производства и сложных процессов обработки. Фотополимерные материалы, особенно при использовании 3D-печати, позволяют быстро создавать прототипы и проводить их тестирование, однако требуют подтверждения их стойкости и эффективности в условиях эксплуатации.

Для изготовления собственного прототипа подводного движателя с помощью аддитивных технологий был проведён анализ российского рынка производителей фотополимерных смол. Свойства выбранной смолы представлены в таблице 1.

Кроме того, детали, напечатанные на 3D-принтере данной смолой, характеризуются гладкой поверхностью, высокой точностью размеров и меньшей усадкой при печати. Данная фотополимерная смола обладает устойчивостью к солёной воде и другим химическим веществам, в том числе к большинству органических растворителей и реактивному топливу.

Были проведены испытания движателя, изготовленного на основе данной фотополимерной смолы, на солёностойкость: за цикл испытаний отмечено лишь незначительное увеличение размеров на критически важных элементах — винтах, которое укладывается в допуски проекта, сохранена геометрия и работоспособность узлов, отсутствовали растрескивания и набухание, а рабочие параметры оставались стабильными в условиях солёной среды. Эти результаты подтверждают соответ-

Таблица 1. Свойства фотополимерной смолы

Твёрдость по Шору (шкала D)	Технология 3D-печати	Ударная вязкость, Дж/м	Усадка при печати, %	Длина волны отверждения (нм)
84 ± 4	DLP, LCD	460	0,07	405

Таблица 2. Параметры гребных винтов

Гребной винт	Траектория потока воды	Тяга гребного винта, кгс
Непрофилированная лопасть	оптимальная	5,9
Профилированная лопасть	оптимальная	9,5

ствие смолы требованиям по размерной устойчивости и химической стойкости к солёной воде.

Для изготовления движителя использовались стандартные методы проектирования — профилирование лопастей, а также упрощённые непрофилированные лопасти.

Для сравнения гидродинамических характеристик изделий был выполнен расчёт простого непрофилированного винта (используется во всех импортных движителях), который работает за счёт угла атаки потока, а не за счёт кривизны лопасти (рис. 2а), и расчёт профилированного винта (рис. 2б).

Далее проводилось компьютерное моделирование условий эксплуатации с использованием модуля для моделирования потоков жидкости в САЕ-системе — гидродинамическое моделирование, позволяющее анализировать поток вокруг винта, выявлять зоны турбулентности и оптимизировать его форму (рис. 3а, 3б). Определённые параметры указаны в таблице 2.

Далее был проведён расчёт профилированного винта. Пример построения профиля лопастей представлен на рис. 4.

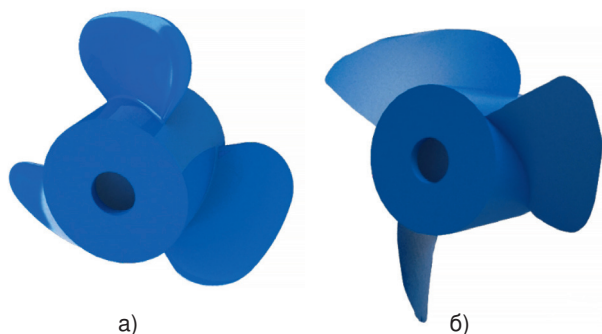


Рис. 2. Общий вида (а) непрофилированного гребного винта и (б) профилированного гребного винта с углом поворота (наклона) 40 градусов

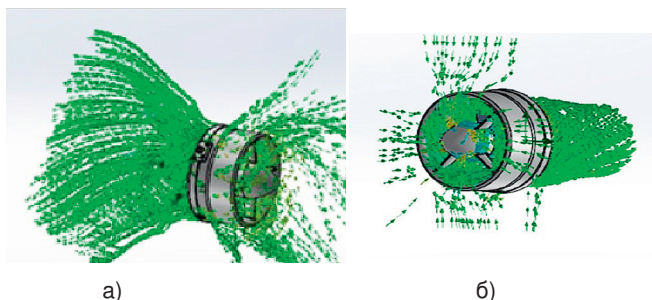


Рис. 3. Анализ траектории потока и определение тяги (а) непрофилированного и (б) профилированного гребного винта

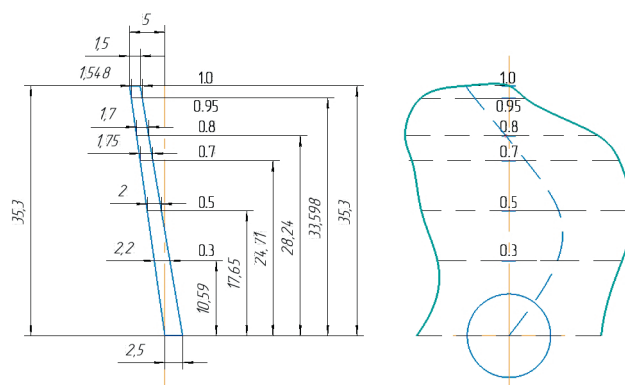
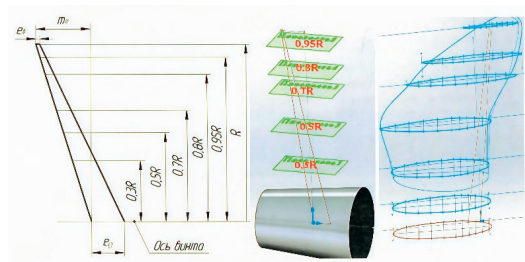


Рис. 4. Пример построения профиля лопастей

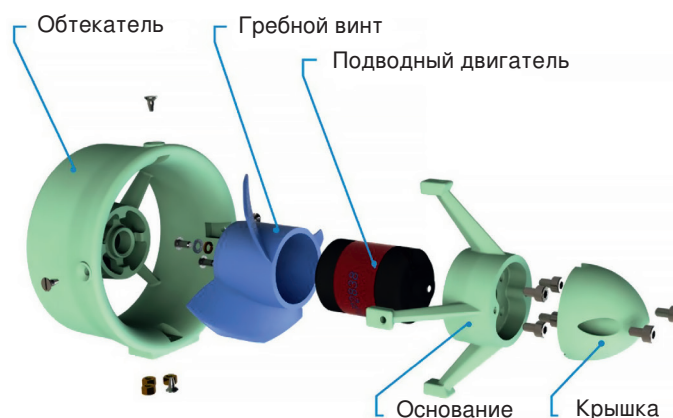


Рис. 5. Общий вид конструкции движителя

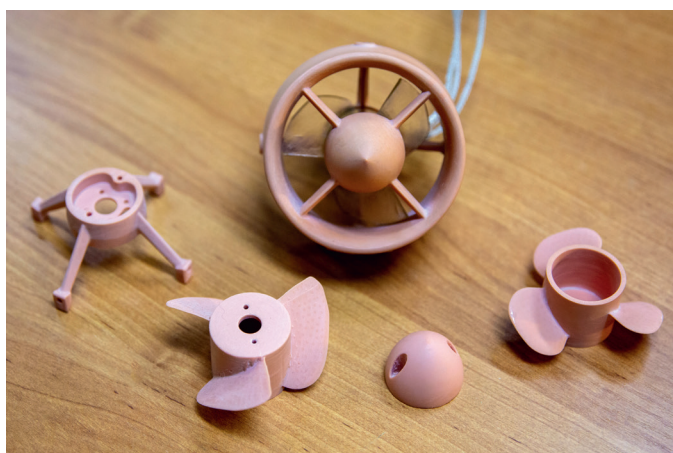


Рис. 6. Напечатанные компоненты движителя

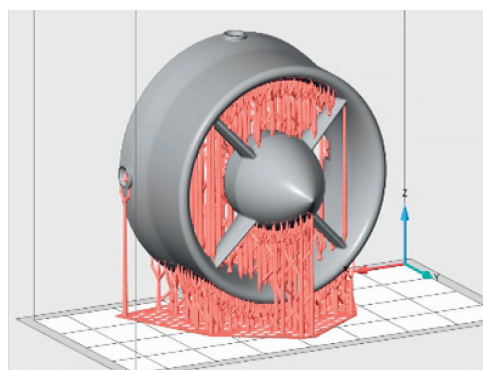


Рис. 7. Пример G-code для обтекателя двигателя, сформированный с помощью слайсера

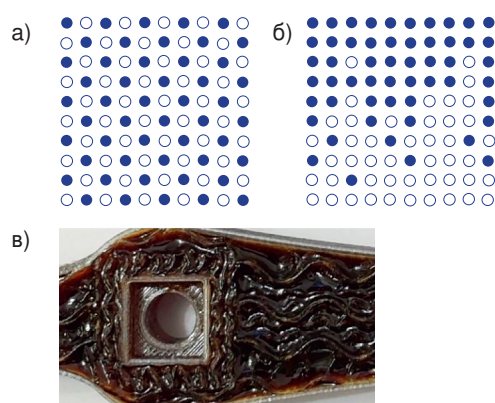


Рис. 8. Распределение материалов в традиционном композите и функционально-градиентном материале (а — традиционный композит; б, в — функционально-градиентный материал) [4]

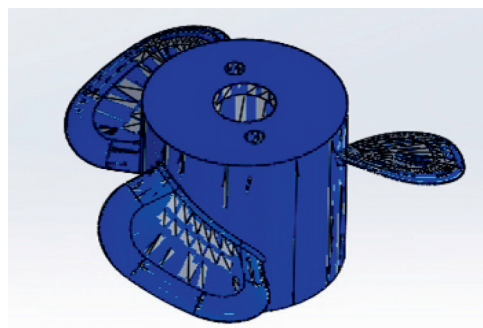


Рис. 9. Контроль размеров с помощью 3D-сканирования

На основе полученных данных гидродинамические показатели профилированного винта превосходят показатели непрофилированного, однако оба варианта соответствуют требованиям. На основе полученного гребного винта разработана конструкция движителя (рис. 5).

Изготовление движителя (рис. 6) осуществляется на 3D-принтере с использованием выбранной фотополимерной смолы. Для подготовки модели к печати создается файл G-code с помощью специализированной программы-слайсера (рис. 7).

Таблица 3. Свойства эпоксидно-диановой смолы ЭД-20

Цвет по железокобальтовой шкале, не более	3
Массовая доля эпоксидных групп, %	20–22,5
Массовая доля иона хлора, %, не более	0,001
Массовая доля омыляемого хлора, %, не более	0,3
Массовая доля гидроксильных групп, %, не более	1,7
Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,2
Динамическая вязкость Па*с при 20°C	от 20 и более
Отвердитель ЭТАЛ-45М, соотношение	1:2
Диэтиленгликоль, пластификатор для эпоксидных смол (ДЭГ-1), соотношение	от 5 до 20 %

Таблица 4. Свойства отверждённого состава модифицированной эпоксидной смолы

Прочность на сдвиг (сталь), МПа	27–41
Прочность на сдвиг (алюминий), МПа	17–31
Прочность на сдвиг (цинк), МПа	14–27
Твёрдость по Шору, шкала D	70–75
Рабочая температура, град.	от – 40 до + 150

После изготовления проводится подготовка некоторых частей движителя к заливке компаундом для герметизации по аддитивно-компаундной технологии. Производится 3D-печать самоармированной пустотелой оболочки, которая заливается наполнителем из эпоксидных смол, свойства применяемых смол с отвердителем и пластификатором приведены в таблице 3. Готовое изделие представляет собой функционально-градиентный материал (рис. 8) [3].

Существует множество модификаций эпоксидных смол, изменяющих предел прочности, вязкости, эластичности, теплостойкости [5]. Пример модифицированной эпоксидной смолы представлен в таблице 4.

После изготовления проводится контроль габаритных размеров и качества с помощью 3D-сканера. Полученные данные сравниваются с исходной расчётной моделью для выявления отклонений и уточнения параметров (рис. 9). В результате контроля обнаружены минимальные отклонения, что подтверждает соответствие изделия заданным требованиям.

Таким образом, в результате проведённых исследований и расчётов был разработан, изготовлен и проконтролирован прототип малого подводного движителя с использованием современных материалов и технологий. Перспективы его внедрения связаны с возможностью быстрого создания серийного образца с улучшенными эксплуатационными характеристиками. ■

Литература

1. Вельтищев В.В. Проектирование движительных комплексов подводных аппаратов: учебное пособие. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2019. 167 с.
2. Игнатюк В.И. Лабораторные работы по дисциплине «Численные методы механики». Брест: БрГТУ, 2020. 69 с.
3. Костусев И.Н. Аддитивно-компаундная технология для производства облегченных композитных материалов с положительной плавучестью на примере «Судового БПЛА». Модификация наполнителя наноматериалом // Судовой электромонтаж. 2023. № 4. С. 79–91.
4. ПНСТ 666-2022 (ISO/ASTM TR 52912:2020) Аддитивные технологии. Функционально-градиентные материалы. Общие положения.
5. Иржак В.И. Эпоксидные полимеры и нанокомпозиты. Черноголовка: Редакционно-издательский отдел ИПХФ РАН, 2021. 319 с.

Аддитивные технологии для производства корпусов режущих инструментов.

Обзор мирового опыта

А.С. Бабаев, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории нанотехнологий металлургии, Томский государственный университет, a.s.babaev@mail.tsu.ru

Е.Н. Больбасов, к.т.н., научный сотрудник Научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга, Томский политехнический университет, ftoroplast@tpu.ru

Д.Д. Митриченко, аспирант, Томский политехнический университет, daniil.mitrichenko.01@mail.ru

А.Р. Семёнов, младший научный сотрудник лаборатории нанотехнологий металлургии Томского государственного университета

Краткий обзор посвящен применению аддитивных технологий, в частности селективного лазерного плавления (SLM/L-PBF), для производства корпусов режущих инструментов. Проанализированы ключевые тенденции: проектирование топологически оптимизированных и конформных каналов подачи смазочно-охлаждающей жидкости с использованием CFD-моделирования, а также создание облегченных структур для улучшения массо-прочностных характеристик. Отмечены преимущества в виде свободы геометрического проектирования и повышения эффективности охлаждения. Выявлены технологические барьеры: необходимость механической постобработки, высокая шероховатость внутренних поверхностей и воспроизводимость свойств. В заключение приведен опыт получения прототипа корпуса фрезы в условиях Центра аддитивных технологий общего доступа Томского политехнического университета.

Введение

Традиционные методы производства накладывают существенные ограничения на возможность создания высокоэффективных конструкций корпусного режущего инструмента. Так, например, путем сверления или фрезерования возможно создавать геометрию внутренних каналов подвода смазочно-охлаждающей жидкости (далее — СОЖ) лишь в виде прямолинейных отверстий. Аддитивные технологии (далее — АТ), в частности методы селективного лазерного плавления (SLM) и стереолитографии (SLA), предоставляют свободу проектирования, позволяя реализовывать сложные, топологически оптимизированные каналы охлаждения. Такие конструкции обеспечивают целенаправленную подачу СОЖ непосредственно в зону резания, что приводит к значительному снижению термомеханического износа.

Также АТ позволяют выйти за рамки простого воспроизведения традиционных конструкций корпусного инструмента. Используя методы топологической оптимизации и решетчатые структуры, формирующие внутреннее заполнение, возможно создание облегченных корпусов инструментов с улучшенным соотношением прочности к массе. Это способствует снижению вибраций и динамических нагрузок в процессе обработки, что особенно критично при фрезеровании тонкостенных конструкций и при работе на высоких скоростях.

Несмотря на значительный потенциал, широкому внедрению АТ в производство корпусов режущих инструмен-

тов препятствует ряд технологических и экономических барьеров. Рассмотрим их подробнее.

1. Ограничения по производительности и стоимости. Процессы SLM, обеспечивающие наилучшее качество для металлических режущих инструментов, обладают относительно низкой производительностью и высокой стоимостью оборудования и расходных материалов (газ, порошок). Это делает экономически оправданным производство только сложных, специализированных или мелкосерийных инструментов, в то время как для массовых изделий традиционные методы могут оставаться более рентабельными.

2. Необходимость последующей механической обработки. Для достижения требуемых параметров геометрической точности и качества поверхности посадочных мест под сменные многогранные пластины (далее — СМП) аддитивно произведенные инструменты (особенно металлические, полученные методом SLM) практически всегда требуют финишной механической обработки. Это нивелирует часть преимуществ АТ, таких как скорость изготовления, и требует закладывания технологических припусков при проектировании.

3. Обеспечение стабильного качества и механических свойств. Получение бездефектных (отсутствие пор, трещин) и плотных ($\approx 100\%$) структур остается сложной задачей. Процессы требуют тщательной калибровки и оптимизации параметров (мощность лазера, скорость сканирования, подогрев платформы) для каждого конкретного материала и оборудования. Воспроизводимость

механических свойств (прочность, ударная вязкость) от партии к партии является критическим вызовом для серийного производства с применением АТ.

4. Дефицит стандартов и квалифицированных кадров. Отрасль АТ испытывает недостаток унифицированных стандартов для аддитивного производства инструментальной оснастки, что затрудняет сертификацию и внедрение в регулируемых отраслях, таких как аэрокосмическая. Кроме того, существует кадровый голод в области специалистов, совмещающих глубокие знания в области резания материалов, проектирования режущих инструментов и аддитивных технологий.

Таким образом, несмотря на существующие сложности, применение аддитивных технологий для производства корпусов режущих инструментов является актуальным и перспективным направлением, способным кардинально повысить эффективность, гибкость и экологичность современных производственных процессов. Дальнейшее развитие будет связано с преодолением технологических барьеров, глубокой цифровизацией и расширением материаловедческой базы. Далее рассмотрим результаты и достижения прикладных научных исследований.

Топология каналов для СОЖ

В исследовании [1] приводятся результаты повышения эффективности подачи СОЖ в зону резания, полученные путем испытания аддитивной корпусной фрезы на стенде. Последний сконструирован таким образом, чтобы обеспечить возможность исследовать влияние вращения инструмента при фрезеровании на параметры свободной струи СОЖ. Экспериментально установлено, что с ростом частоты вращения инструмента значительно возрастает угол отклонения струи СОЖ от оси сопла (с $\sim 8,5^\circ$ при 318 об/мин до $\sim 40^\circ$ при 1592 об/мин). Усовершенствованная конструкция фрезы имела три сопла (два с передней поверхности и одно с задней), сфокусированные на вершине

Дальнейшие испытания при резании с применением аддитивного корпуса с установленными СМП показали, что, несмотря на улучшенное охлаждение, аддитивный инструмент показал на 18% меньшую общую стойкость (8800 мм против 10400 мм пути подачи) из-за преждевременного выкрашивания режущих пластин. Возможные причины: увеличенное биение режущих кромок из-за повышенной амплитуды сил резания (рост на 43%); комбинация высоких циклических механических нагрузок и интенсивного локального охлаждения от сфокусированных струй СОЖ вызвала повышенные термомеханические напряжения, способствующие усталостному выкрашиванию кромок. Практическая значимость работы заключается в определении необходимости учитывать вибрационные и демпфирующие характеристики аддитивных корпусов режущих инструментов, которые необходимо закладывать в конструкцию на этапе проектирования. Также авторы отмечают, что важно учитывать режимы работы инструмента (частота вращения) для разработки стратегий проектирования, которые позволяют компенсировать отклонение струи СОЖ на высоких скоростях резания.

CFD-моделирование для оптимизации внутренних каналов подачи СОЖ аддитивно изготовленной фрезы приведено в работе [2]. Работа демонстрирует высокую эффективность использования CFD-моделирования на этапе проектирования для оптимизации внутренних каналов охлаждения режущих инструментов. Показано, что замена традиционных остrokонечных каналов (полученных сверлением) на каналы с плавными радиусами позволяет увеличить объемный расход СОЖ на 23%. Дальнейшее усложнение геометрии до спирального (винтового) канала дало дополнительный прирост всего в 9% по сравнению с плавным каналом, что указывает на существование оптимума между сложностью и эффективностью (рис. 2).

В исследовании отмечается, что несмотря на свободу геометрического проектирования, текущий уровень развития аддитивных технологий накладывает ограничения: высокая шероховатость внутренних поверхностей каналов ($Ra \sim 9,3$ мкм), которая учитывалась в CFD-модели, являющаяся причиной потери энергии потока СОЖ; недостаточная точность изготовления функциональных поверхностей (посадочных мест под пластины, крепежные отверстия),

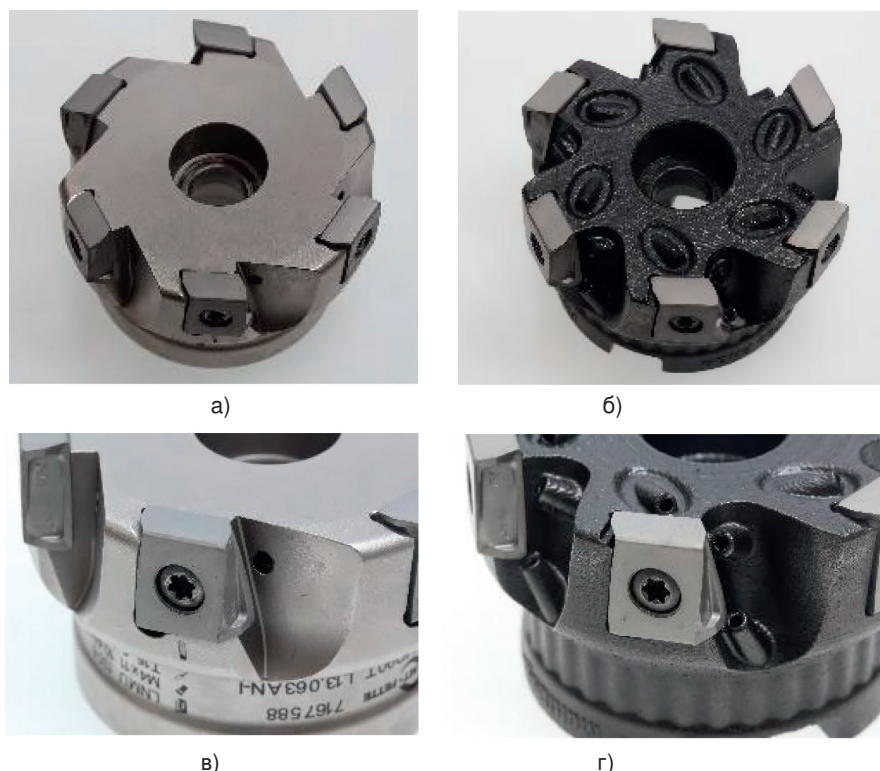


Рис. 1. Конструкция корпусной фрезы: а, в) традиционное изготовление; б, г) с применением аддитивных технологий

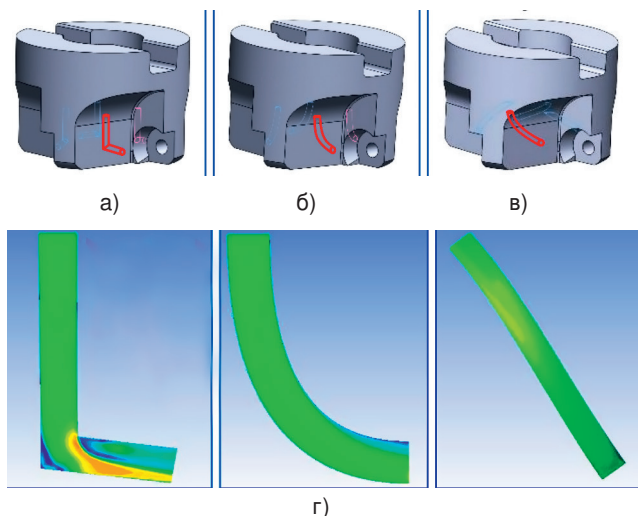


Рис. 2. Геометрия каналов для подвода СОЖ:
а) угловая; б) изогнутая; в) спиральная;
г) распределение скорости потока

что делает обязательной последующую механическую постобработку для достижения требуемых допусков. Также авторами проведена валидация CFD-модели путем сравнения с экспериментальными данными. Расхождение между расчетными и измеренными значениями расхода составило менее 16%, что признано допустимым для проведения сравнительного анализа геометрий. Таким образом, синергия CFD-моделирования и аддитивных технологий позволяет создавать гидродинамически оптимизированные системы охлаждения режущих инструментов, значительно повышая их эффективность.

В исследовании [3] проведена сравнительная оценка жизненного цикла фрезерного инструмента, изготовленного с помощью аддитивных технологий из стали 1.7980 Bainidur, и традиционного инструмента из стали 1.2344 AISI H13. Авторами отмечается, что благодаря использованию аддитивной технологии PBF становится возможным создание инструментов со сложной внутренней геометрией каналов подачи СОЖ. Это позволило снизить объемный расход СОЖ на 51% и увеличить стойкость инструмента на 45% за счет лучшего охлаждения и смазки.

Несмотря на более высокое воздействие на окружающую среду на этапе производства, АМ-инструмент за счет улучшенной конструкции и эффективности в использовании компенсирует этот ущерб и в целом оказывается экологичнее. В этой связи при оценке экологичности режущих инструментов, изготовленных аддитивным способом, необходимо рассматривать полный жизненный цикл. Высокие «экологические издержки» аддитивного и порошкового производства окупаются за счет повышенной эффективности и долговечности инструмента в работе. Это меняет подход к инвестиционным решениям в промышленности.

Исследование [4] показывает, как аддитивные технологии преодолевают ограничения традиционного производства, позволяя создавать инструменты с оптимизированной геометрией для эффективного и экологичного охлаждения, особенно при резании труднообрабатываемых и жаропрочных сплавов на основе титана или никеля.

В работе [5] приводятся сведения об испытаниях инструмента, изготовленного по аддитивной технологии PBF, с внутренними конформными каналами охлаждения, большим количеством зубьев (относительно размера инструмента) и полым сменным корпусом. Сочетание припаянных пластин из поликристаллического алмаза (PCD) с улучшенными трибологическими условиями в зоне резания (за счет улучшенного охлаждения и смазки режущей кромки), а также с увеличенным числом зубьев должно способствовать созданию идеальных условий резания, продлевая срок службы инструмента, предназначенного для автомобильной промышленности, где концепция облегченного дизайна диктует использование таких металлов, как алюминий.

Исследование доказало технологическую возможность изготовления методом лазерного PBF работоспособного корпуса фрезы из нержавеющей стали AISI 316L с комплексной сетью внутренних конформных каналов охлаждения малого диаметра (1,7 мм) и рекордным для его габаритов ($\varnothing 40$ мм) количеством зубьев $z=12$. Такая геометрия была бы исключительно сложна или невозможна для традиционного производства (рис. 3).

Материал аддитивного корпуса имел механические характеристики: предел текучести ~ 470 МПа, предел прочности ~ 630 МПа, относительное удлинение $\sim 45\%$. Однако авторы отмечают, что для проведения экспериментальных исследований таких фрез при резании необходимо: 1 — оценивать износ режущих кромок; 2 — исследовать динамическую жесткость и склонность к вибрациям; 3 — применить компьютерную томографию для оценки геометрической точности внутренних каналов охлаждения; 4 — использовать методы гидроабразивной обработки для снижения шероховатости внутренних каналов.

Положительное влияние целенаправленной подачи СОЖ на переднюю поверхность режущего инструмента приведено в работе [6]. В данной статье проводится сравнение инструмента, изготовленного аддитивным методом, с улучшенными каналами охлаждения, с традиционным инструментом (отверстия получены сверлени-



Рис. 3. Внешний вид аддитивного корпуса фрезы:
а) поперечное сечение каналов охлаждения;
б) расположение каналов;
в) корпус, установленный на оправку

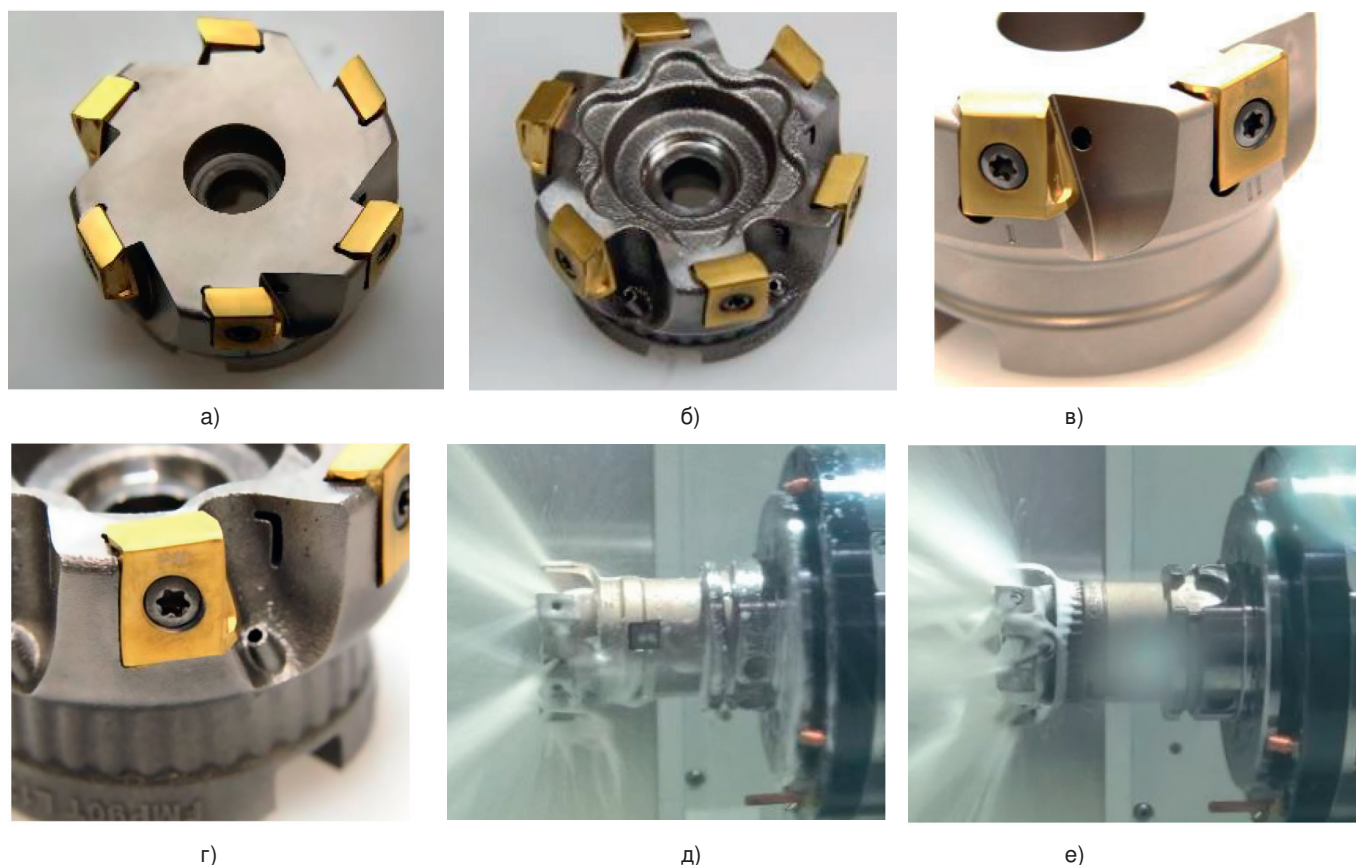


Рис. 4. Корпус фрезы, изготовленный по традиционной (а, в, д) и аддитивной (б, г, е) технологии

ем) при обработке термически обработанной стали AISI 4140. Использование технологии лазерного сплавления порошковых слоев (L-PBF) позволило создать корпус фрезы из инструментальной стали AISI 1.2709 с принципиально новой геометрией внутренних каналов подачи СОЖ (рис. 4).

Вместо традиционных прямых сверленных отверстий в аддитивном инструменте были реализованы L-образные сопла, обеспечивающие распределенную подачу жидкости по всей передней поверхности режущей пластины, а также малое круглое сопло, фокусирующее поток на угол пластины. Аддитивный инструмент продемонстрировал на 67% большую длину пути резания — стойкость до 16000 мм по сравнению с традиционным инструментом

(9600 мм). Амплитуда сил резания у аддитивного корпуса была на 8,5% выше, чем у аналога, при незначительной разнице в абсолютных значениях. Это объясняется различием в свойствах материала и, как следствие, вибрационным поведением корпусов, изготовленных разными методами. В исследовании не было выявлено существенных различий в морфологии и размерах стружки между двумя инструментами. Целенаправленная подача СОЖ, по-видимому, не оказала решающего влияния на процесс стружкообразования в данных условиях.

В исследовании [7] подтверждена технологическая состоятельность SLM для корпусных инструментов. Предложена и проиллюстрирована рациональная концепция гибридного инструмента: массивный и простой хвостовик изготавливается традиционными методами, а сложная сменная головка с внутренними каналами — аддитивно (рис. 5). Это снижает стоимость и сохраняет преимущества аддитивного процесса.

Повышение производительности фрезерования титанового сплава Ti-6Al-4V при подаче СОЖ под высоким давлением описано в работе [8]. Для этих целей разработана и изготовлена методом L-PBF 16-кромочная фреза с 4 рядами сменных пластин, оснащенная оптимизированной системой внутренних каналов подачи СОЖ (рис. 6).

Аддитивное производство позволяет создавать глухие посадочные места под сменные пластины более рациональной формы, без ослабляющих конструкцию дополнительных выборок (карманов), необходимых при фрезеровании. Это повышает жесткость корпуса инструмента. Основным препятствием признается высокая

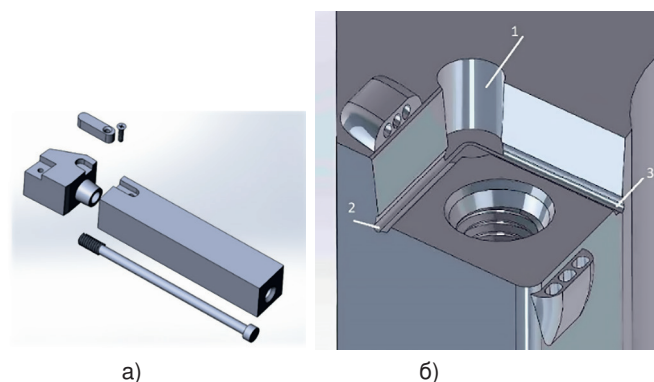


Рис. 5. Сборная конструкция державки токарного резца (а) и отверстия для подачи СОЖ на переднюю и заднюю поверхность СМП

стоимость металлических порошков и эксплуатационные расходы (защитная газовая среда). Поэтому экономическая целесообразность достигается не при прямой замене простых инструментов, а при производстве сложных, высокофункциональных инструментов, где преимущества аддитивных процессов в производительности и стойкости окупают первоначальные затраты.

Инструмент, изготовленный из аддитивного порошка марки Bainidur (сталь 18MnCrMoV4-8-7), успешно выдержал экстремальные нагрузки при полном и частичном фрезеровании паза в труднообрабатываемом титановом сплаве Ti-6Al-4V, подтвердив свою прочность и надежность для тяжелых промышленных условий. Аддитивный инструмент с адаптированной подачей СОЖ показал в среднем на 27% меньший износ по задней поверхности по сравнению с традиционным аналогом. Наибольшее улучшение (до 39%) достигнуто в зонах с наибольшим тепловым и механическим напряжением. Сфокусированная струя СОЖ под высоким давлением привела к сокращению длины контакта стружки с передней поверхностью на ~13%. Благодаря оптимизированной геометрии каналов и сопел объемный расход СОЖ удалось снизить на 25% при сохранении или улучшении охлаждающей способности. Это напрямую ведет к снижению энергопотребления высоконапорной насосной станции.

Для компенсации высокой шероховатости АП-поверхностей внутри каналов выходные сечения сопел в CAD-модели были заведомо увеличены на 15–20%. На передней поверхности аддитивного инструмента с адаптированной подачей СОЖ были обнаружены мелкие адгезионные налипсы материала заготовки. Предполагается, что они вызваны сложным вихревым потоком СОЖ в стружечном пространстве, который может «прибивать» стружку обратно к пластине. Это требует дальнейшего изучения с помощью CFD.

Облегченные структуры и оптимизация конструкции

В статье [9] продемонстрирована успешность методологии, интегрирующей топологическую оптимизацию для снижения массы и повышения жесткости с одновременным CFD-моделированием для проектирования высокоэффективных конформных каналов охлаждения. Последние, в отличие от традиционных каналов, располагаются ближе к поверхности нагрева, что обеспечивает более эффективное и равномерное охлаждение. В результате оптимизации была получена конструкция, которая не просто отличается от исходной, а превосходит ее по нескольким ключевым показателям одновременно (рис. 7):

- масса снижена на ~10%, что способствует снижению инерционных нагрузок и улучшению динамических характеристик на высоких скоростях;
- жесткость увеличена на ~5,6% (максимальная деформация уменьшилась со 160 мкм до 151 мкм), несмотря на снижение массы;
- гидравлическое сопротивление каналов охлаждения снижено на ~12% за счет оптимизации геометрии



Рис. 6. Концевая фреза и расположение каналов для СОЖ

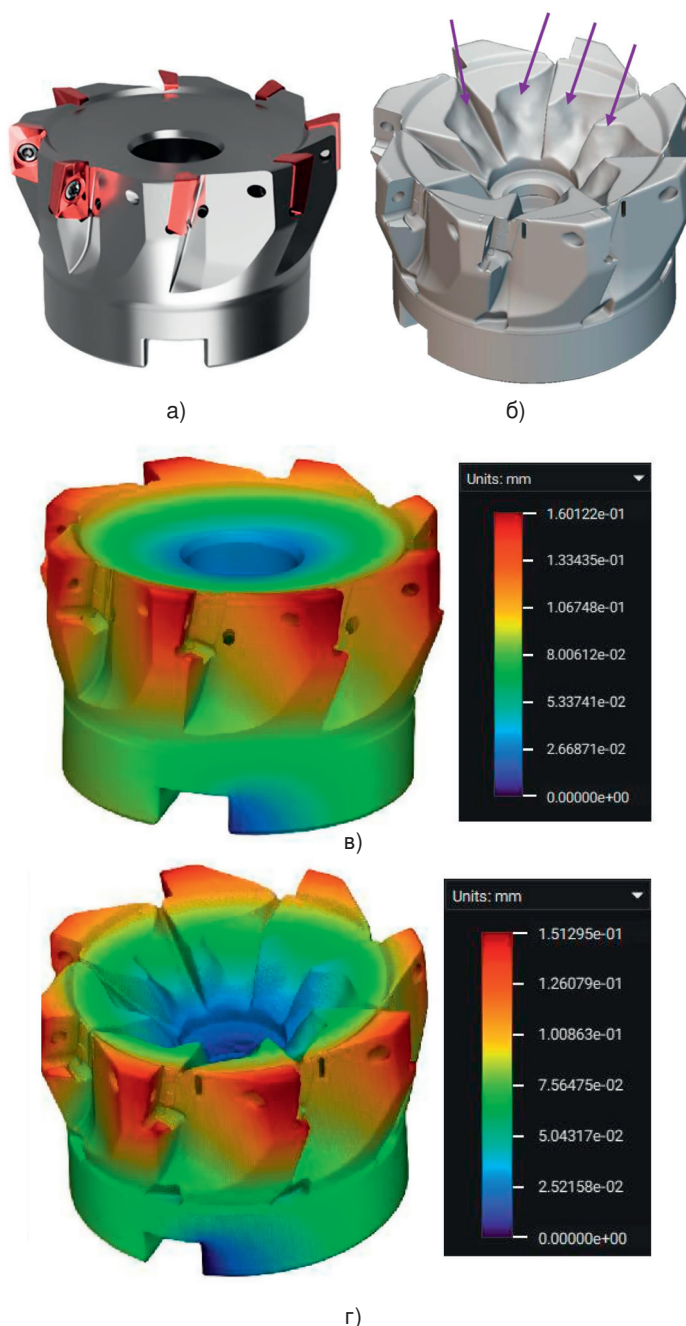


Рис. 7. Цифровая модель и деформации исходного корпуса фрезы (а, в) и его модифицированной конструкции (б, г)

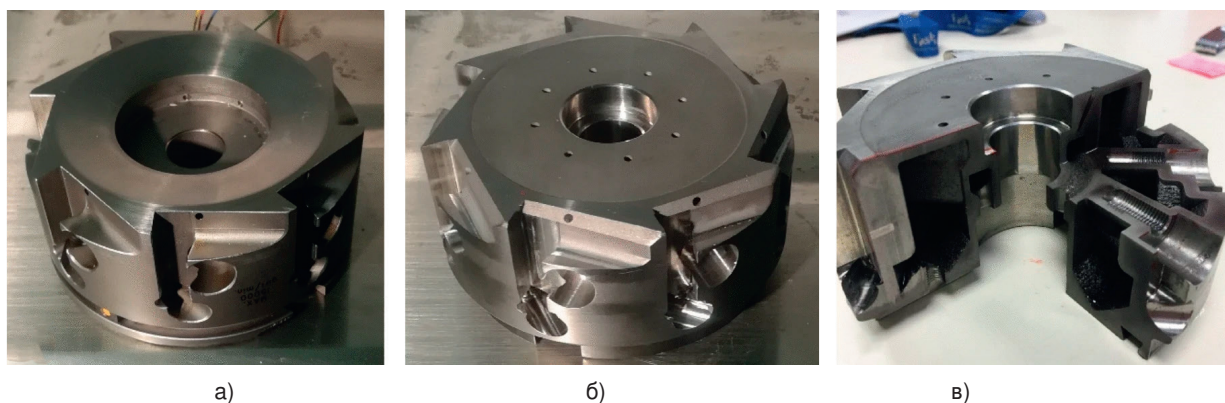


Рис. 8. Аддитивная фрезерная головка: оригинальная версия (а), переработанная упрощенная версия аддитивного процесса (б) и вид поперечного сечения переработанной модели (в)

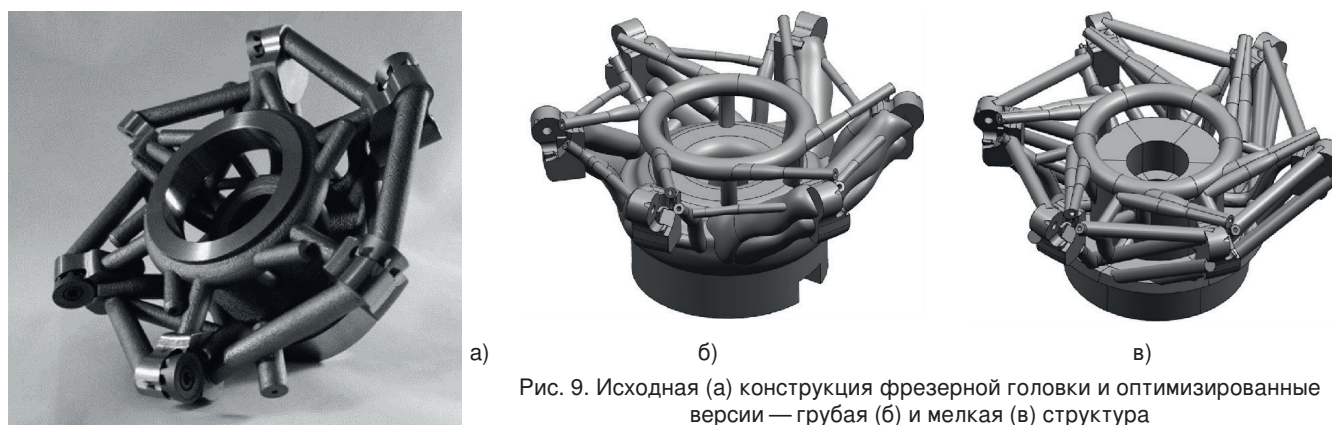


Рис. 9. Исходная (а) конструкция фрезерной головки и оптимизированные версии — грубая (б) и мелкая (в) структура

(плавные изгибы, увеличенное сечение), что улучшает равномерность распределения потока и подачу СОЖ к режущим кромкам.

Исследование подчеркивает важность комплексной симуляционной валидации (FEA + CFD) на ранних этапах проектирования. Такой подход позволяет итеративно улучшать конструкцию, обеспечивая соответствие как механическим (прочность, жесткость), так и функциональным (гидродинамика, теплосъем) требованиям до этапа физического производства.

В статье [10] описывается редизайн торцевой фрезерной режущей головки, специально предназначенной для производства методом аддитивных технологий. Благодаря интеграции корпуса и крышки в единую деталь и оптимизации внутреннего объема масса была снижена на 33,9%. Несмотря на снижение крутильной жесткости на 24,6%, что считается допустимым в соответствии с рыночными аналогами, максимальное эквивалентное напряжение (по Мизесу) уменьшилось на 12,2%. Это связано с устранением концентраторов напряжений и более рациональным распределением материала (рис. 8).

Важно отметить, что локальные перемещения в функциональных зонах (опоры пластин, режущие кромки) уменьшились, что потенциально повышает точность обработки. Замена прямых боковых каналов на параболические и увеличение количества верхних каналов с 4 до 8 привели к значительному улучшению характеристик: достигнута высокая равномерность давления и скорости СОЖ на выходе из всех каналов; повышена эффектив-

ность охлаждения и направленность подачи смазки к режущим кромкам за счет использования центробежной силы при вращении инструмента; увеличенный на 10,4% объем СОЖ с округлой формой улучшил инерционность потока и стабильность подачи.

Проектирование учитывало технологические ограничения L-PBF, такие как необходимость в самонесущих поверхностях (минимальный угол $>45^\circ$), ориентация детали на платформе для обеспечения точности, добавление отверстий для удаления порошка и припусков на последующую механическую обработку критических поверхностей.

Топологическая оптимизация конструкции корпусной фрезы приведена в работе [11]. Исходная масса конструкции составляла 3,98 кг. В результате топологической оптимизации были получены конструкции с целевой массой около 1 кг, что соответствует значительному снижению массы (примерно на 75% от исходного объема). Финальная оптимизированная мелкоструктурная версия имела массу 0,893 кг (рис. 9).

Грубая структура позволила достичь значительного увеличения жесткости (снижение максимального перемещения на 50% — с 0,010 мм до 0,005 мм) и снижения максимального напряжения на 17,1% (со 97,3 МПа до 80,7 МПа) при незначительном увеличении массы на 3,3%. Мелкая структура обеспечила снижение массы на 7,7% (до 0,893 кг) по сравнению с исходным дизайном при одновременном увеличении жесткости на 20% (максимальное перемещение 0,008 мм). Уровень максимальных

напряжений остался практически неизменным.

Все полученные в результате оптимизации геометрии были проанализированы с помощью статического метода конечных элементов, что подтвердило улучшение их механических характеристик по сравнению с исходной конструкцией и обеспечило корректное сравнение различных вариантов (рис. 10).

Работа подтверждает, что топологическая оптимизация является мощным инструментом для проектирования высокоэффективных фрезерных головок, предназначенных для аддитивного производства. Она позволяет целенаправленно управлять распределением материала, предлагая инженеру ряд решений с различным балансом массы, жесткости и прочности, что в конечном итоге способствует созданию облегченных и более производительных инструментов.

Анализ сил резания при обработке фрезерной головкой, изготовленной методом аддитивного напыления, рассмотрен в работе [12]. Проведенная работа демонстрирует принципиальную возможность изготовления функционального металлорежущего инструмента (фрезерной головки) из композитного материала Опух, армированного углеродным волокном, методом аддитивного производства (рис. 11).

Несмотря на существенно более низкие механические свойства по сравнению со сталью (предел проч-

ности при растяжении 36 МПа, при изгибе 81 МПа), головка успешно выдержала нагрузки при фрезеровании материалов POM-C (полиоксиметилен) и дюралюминия.

Измерение компонент силы резания (F_x , F_y , F_z) с помощью динамометра Kistler 9225A показало, что при обработке обоих материалов наблюдаются предсказуемые закономерности: увеличение глубины резания (a_p) и подачи на зуб (f_z) приводит к росту сил резания. Для

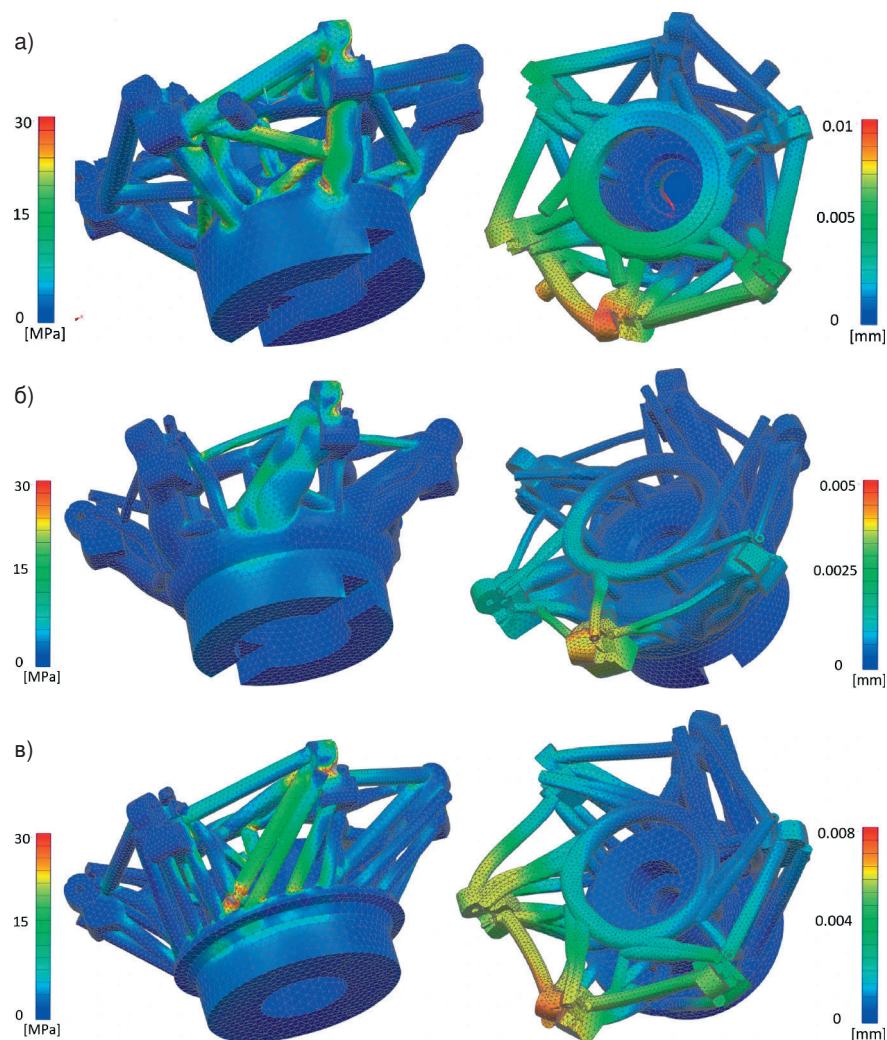


Рис. 10. Напряжения (слева) и деформации (справа) в зависимости от типа конструкции фрезы: а) исходная; б) грубая структура; в) мелкая структура

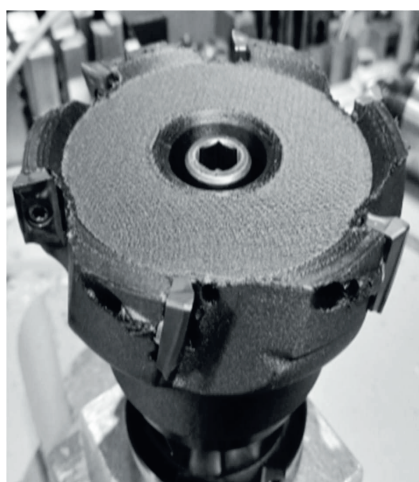
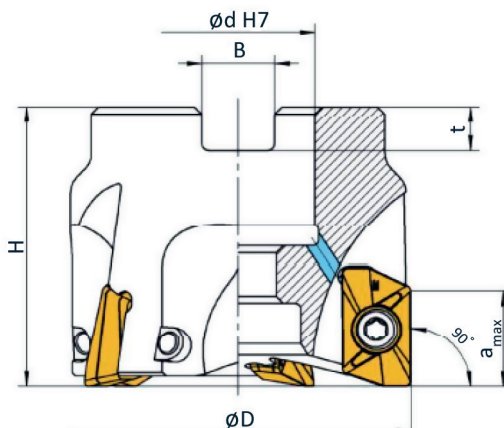
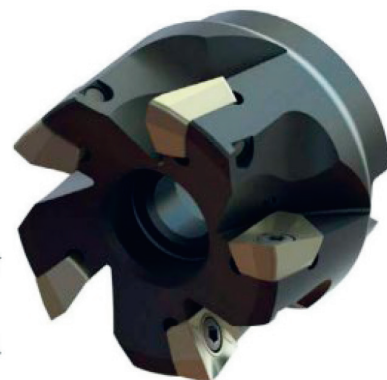


Рис. 11. Корпус фрезы из материала Опух, изготовленный с применением аддитивных технологий



а)



б)

Рис. 12. Конструктивные особенности (а) и внешний вид (б) торцевой фрезы мод. 218-050A16



РОМ-С максимальная результирующая сила резания (582 Н) была зафиксирована при наиболее агрессивных режимах (скорость резания $v = 400$ м/мин, $f_z = 0,25$ мм, $a_p = 3$ мм). Для дюралюминия максимальная сила (252 Н) отмечена на режимах $v = 200$ м/мин, $f_z = 0,25$ мм, $a_p = 2$ мм.

Опыт Центра аддитивных технологий общего доступа Томского политехнического университета

Учитывая производственный и научный опыт, приведенный выше, была произведена геометрическая модификация каналов для СОЖ в корпусе фрезы, выпускаемой серийно. Для этого в качестве базовой геометрии был использован корпус торцевой фрезы модели 218-050A16, предназначенной для обработки уступов и серийно изготавливаемой по ТУ 25.73.40-006-36293294-2018 компанией ООО «ПК МИОН», г. Томск (рис. 12).

Корпус фрезы имел следующие габаритные и присоединительные размеры: наружный диаметр $D = 50$ мм, высота $H = 40$ мм, диаметр посадочного отверстия $d = 22h7$ мм, число зубьев $z = 5$. Получение отверстий для СОЖ в корпусе фрезы выполняют путем сверления под углом.

Для модификации каналов в цифровой модели корпуса фрезы использовали криволинейную траекторию, при которой вектор направления потока СОЖ при выходе из отверстия направляли непосредственно в зону резания (к главным режущим кромкам), определяемую сменной многогранной пластиной АРКТ 11Т308-ГМ (рис. 13).

С применением порошкового материала, формирующего сплав марки 12Х18Н10Т, на установке мод. Rusmelt 310 производства ООО «Росатом Аддитивные технологии» (г. Москва) в ЦАТОД Томского политехнического университета проведено аддитивное построение прототипа по технологии SLM (рис. 14).

При построении мощность лазерного излучения поддерживалась на уровне 270 Вт, а скорость сканирования не превышала 1300 мм/мин.

Удаление поддержек производилось с применением двух методов: путем традиционного фрезерования и точения согласно маршрутному технологическому процессу, а для труднодоступных поверхностей — с использованием ручной пневматической опилоочной машины мод. TLS03 фирмы Turbolap (Япония). Так же, путем фрезерования, обрабатывали посадочные места под режущие пластины, а посадочное отверстие хвостовой части шлифовали.

В ходе использования аддитивного прототипа фрезы в качестве заготовки произведена полная обработка прототипа до полнофункционального изделия с целью подготовки для последующих производственных испытаний на работоспособность.

Заключение

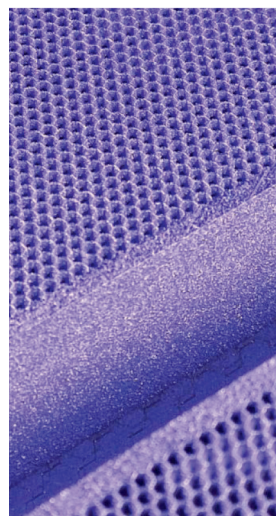
На основе анализа текущих тенденций, изложенных в обзоре, можно прогнозировать следующие направления развития:

ЦАТОД на базе ТПУ

28 июня 2024 года отраслевой интегратор Госкорпорации «Росатом» по направлению «Аддитивные технологии» ООО «Росатом Аддитивные технологии» открыл первый за Уралом Центр аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД) в Томском политехническом университете на базе передовой инженерной школы «Интеллектуальные энергетические системы».

В новом подразделении передовой инженерной школы «Интеллектуальные энергетические системы» будут обучаться студенты и специалисты по направлению «Аддитивные технологии», а также проводиться исследования с использованием уникального отечественного оборудования.

Главные задачи ЦАТОД на базе ТПУ:



- **Разработка** российских материалов и технологий 3D-печати
- **Тестирование** отечественного 3D-оборудования
- **Оказание услуг** 3D-печати из различных материалов
- **Обучение** новых специалистов по направлению «Аддитивные технологии» и проведение курсов повышения квалификации
- **Проведение** НИР и ОКР

Установленное в ЦАТОД оборудование позволяет осуществлять полный производственный цикл — от разработки модели до контроля качества напечатанной продукции.



1. Проектирование корпусов инструментов с внутренними каналами будет неразрывно связано с использованием комплексного CFD-моделирования для оптимизации гидродимических характеристик и FEM-анализа для прогнозирования прочности. Можно ожидать внедрения алгоритмов машинного обучения для автоматического синтеза топологически оптимизированных структур охлаждения на основе заданных условий резания, что позволит создавать высокоэффективные инструменты с минимальным участием человека.

2. Расширение номенклатуры материалов, пригодных для АТ. Продолжится активная работа по адаптации классических инструментальных материалов (быстрорежущих сталей, твердых сплавов) для аддитивных процессов типа PBF (SLM/DMLS) и струйного наплавления (Binder Jetting). Будут совершенствоваться методы послойного спекания керамических материалов (SLA), что позволит массово производить термостойкие и химически стойкие керамические режущие элементы со сложной внутренней архитектурой.

3. Внедрение активных систем охлаждения и мониторинга. Свобода проектирования позволит интегрировать в корпус инструмента не только пассивные каналы, но и датчики температуры и давления для мониторинга состояния инструмента в реальном времени (концепция smart tool). Это откроет путь к системам адаптивного управления процессом резания и прогнозного технического обслуживания. ■

Литература

1. T. Lakner et al. A Novel Test Bench to Investigate the Effects of the Tool Rotation on Cutting Fluid Jets to Improve the Tool Design via Additive Manufacturing // *Procedia CIRP*. 2020. V. 91. P. 9-14. DOI 10.1016/j.procir.2020.02.144
2. C. Zachert et al. CFD simulation to optimize the internal coolant channels of an additively manufactured milling tool // *Procedia CIRP*. 2021. V. 102. P. 234-239. DOI 10.1016/j.procir.2021.09.040
3. T. Kelliger et al. Life Cycle Assessment of Additively Manufactured In-

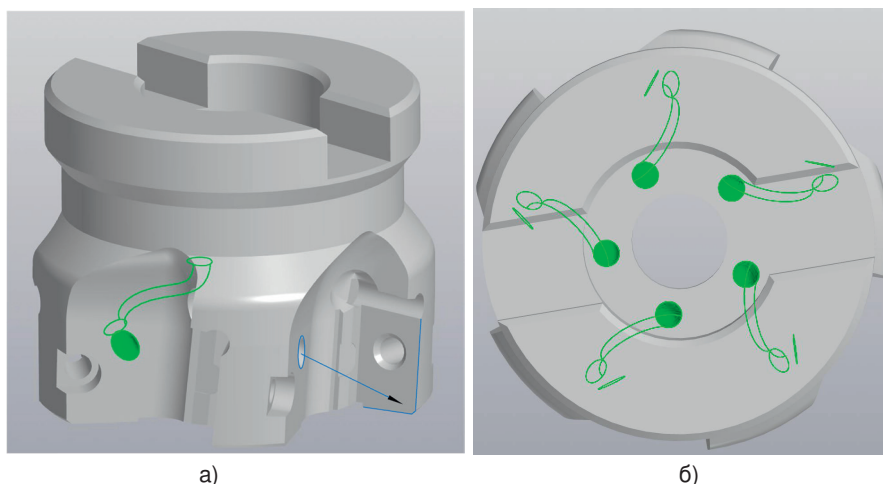


Рис. 13. Внешний вид корпуса фрезы с модифицированной геометрией канала: а) вид сбоку; б) вид сверху

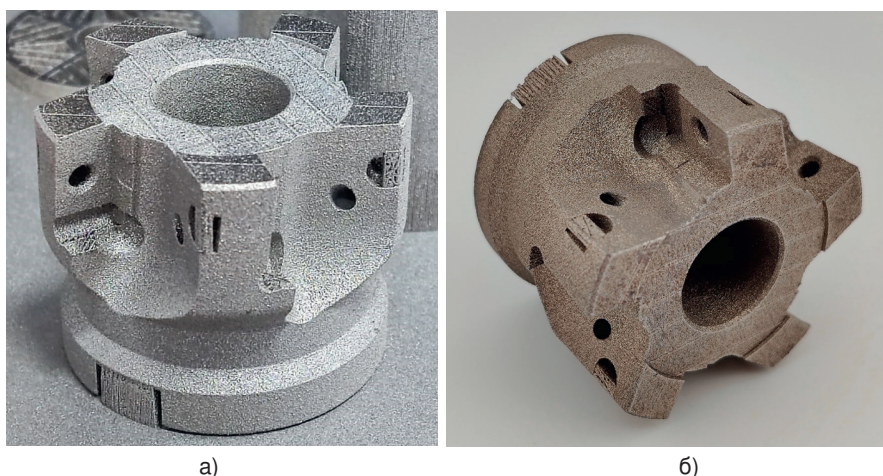


Рис. 14. Внешний вид корпуса фрезы после аддитивного построения: а — на подложке as built; б — перед удалением поддержек

- dexable Milling Tools with Adapted Cutting Fluid Supply // *Procedia CIRP*. 2024. V. 122. P. 671-676. DOI 10.1016/j.procir.2024.01.094
4. A. Srivathsa S S et al. Review on 3D printing techniques for cutting tools with cooling channels // *Heliyon*. 2023. V. 9. I. 12. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22557>
5. F. Matos et al. Additively manufactured milling tools for enhanced efficiency in cutting applications // *Procedia Structural Integrity*. 2024. V. 53. P. 270-277. DOI 10.1016/j.prostr.2024.01.033
6. T. Lakner et al. Additively manufactured milling tool with focused cutting fluid supply // *Procedia CIRP*. 2019. V. 81. P. 464-469. DOI 10.1016/j.procir.2019.03.118
7. S. Kugaevskii et al. The effectiveness of additive SLM-technologies in the manufacture of cutting tools // *materialstoday: PROCEEDINGS*. 2019. V. 19. I. 5. P. 1977-1981. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.055>
8. T. Kelliger et al. Efficient Cutting Fluid Supply in Additively Manufactured Indexable Helical Milling Tools for Roughing of Ti-6Al-4V // *SSRN Electronic Journal*. 2023. DOI <https://doi.org/10.2139/ssrn.4657727>
9. I. B. Costa et al. Topology Optimization of a Milling Cutter Head for Additive Manufacturing // *Metals*. 2025. V. 15(7). DOI <https://doi.org/10.3390/met15070729>
10. G. de Pasquale et al. Functional design and testing of additively manufactured milling cutting heads with enhanced structural and lubrication properties // 2025. V. 10. P. 4165-4184. DOI <https://doi.org/10.1007/s40964-025-01066-9>
11. K. Raz et al. Topological Optimization of the Milling Head // *Proceedings of 5th International Conference on Mechanical, System and Control Engineering*. 2022. P. 171-177. DOI https://doi.org/10.1007/978-981-16-9632-9_19
12. S. Slajcova et al. Analysis of Cutting Forces during Machining with Additive-Produced Milling Head // *Manufacturing Technology*. 2023. V. 23(2). P. 254-259. DOI <https://doi.org/10.21062/mft.2023.020>

16+

Металлообработка. Сварка

международная выставка технологий, оборудования, материалов
для машиностроения, металлообрабатывающей промышленности
и сварочного производства



телеграм-
канал

@expometal



17–20 марта 2026
Екатеринбург

крупнейший специализированный
региональный проект в России

(342) 206-44-17
ochkina@proexpo.ru

metal-ekb.proexpo.ru



Реклама

16+

Металлургия. Литмаш. Металлоконструкции

выставка технологий и оборудования для металлургии,
литейной промышленности и готовой металлопродукции



телеграм-
канал

@expometal



17–20 марта 2026
Екатеринбург

место встречи специалистов в области
металлургии и литейного производства

(342) 206-27-18
bav@proexpo.ru

metalmash.proexpo.ru



Реклама



Расширение формата выставки 3D-TECH by Rosmould в 2026 году

С 16 по 19 июня 2026 года в павильоне 1 МВЦ «Крокус Экспо» в Москве во второй раз пройдет крупнейшее событие для профессионалов рынка аддитивных технологий и 3D-печати — **выставка 3D-TECH**. Мероприятие будет проходить одновременно с промышленными выставками индустрии пресс-форм и штампов **Rosmould** и полимерной отрасли **Rosplast**. Впервые данные мероприятия будут длиться четыре дня; они объединят ключевые сегменты производственной цепочки и различные технологии изготовления изделий на одной площадке. Одновременно с ними также пройдет выставка **Techtextile | Techcomposite | Techpolymer**. Это откроет новые возможности для интеграции индустриальных инноваций и создания межотраслевых деловых контактов.

В 2025 году 3D-TECH успешно дебютировала как самостоятельная выставка, став единственной специализированной выставкой 3D-технологий в России, которая продемонстрировала высокий потенциал и востребованность технологий аддитивного производства в российском промышленном секторе. За три дня 3D-TECH привлекла внимание рекордного количества профессиональных посетителей и окончательно закрепила за собой статус флагманской выставки аддитивных технологий в России.

А уже в июне 2026 года посетителей выставки 3D-TECH ждет еще более масштабная экспозиция промышленного, профессионального и персонального 3D-оборудования (3D-принтеры, 3D-сканеры, оборудование для постобработки, робототехника), расходных материалов для 3D-печати (металлические порошки и сплавы, пластики и композиты, фотополимерные смолы, керамика и другие материалы) и услуг в сфере аддитивного производства (3D-моделирование и 3D-сканирование, услуги 3D-печати на заказ, реверс-инжиниринг, постобработка деталей, испытания и тестирование). На данный момент сформировано более 70% экспозиции; свое участие в выставке подтвердили компании 3D Vision, 3D Control, F2 Innovations, Globatek, Lider 3D, Range Vision, Topstanok, «Диполь Технологии», ИПЗ-Тест, «Онсинт», ПК НИТ, НПО РЭК, «Синкам», «Терем 3D», «Фолипласт» и др.

В рамках деловой программы 3D-TECH традиционно проходит одно из ключевых событий в отрасли — **Форум аддитивных технологий**. Его особенность заключается

в фокусе на практических аспектах внедрения аддитивных технологий в производство и разборе конкретных практических кейсов. Каждый день форума ориентирован на определенное направление: применение технологий в промышленности, в машиностроении или в медицине. В течение дня проходят тематические сессии с участием ведущих разработчиков, представителей промышленных предприятий, вузов, государственных организаций и заказчиков. Детальная программа форума будет размещена ближе к началу выставки.

Будучи единственной специализированной выставкой 3D-технологий в России, 3D-TECH также уникальна тем, что является частью эффективной выставочной платформы **Rosmould | Rosplast | 3D-TECH**, которая воплощает в себе полную производственную цепочку **от идеи до готового изделия** и демонстрирует различные технологии изготовления. В 2026 году синергия отраслей получит дополнительное развитие за счет проведения на одной площадке с **Rosmould**, **Rosplast** и **3D-TECH** 22-й Международной выставки технического текстиля, композитных материалов и оборудования **Techtextile | Techcomposite | Techpolymer**. Такое решение увеличит профессиональную аудиторию: по итогам 2025 года выставку **Techtextile | Techcomposite | Techpolymer** посетили более 6000 специалистов из самых разных сегментов промышленности — от авиастроения и строительства до агросектора и медицины. Ожидается, что в 2026 году общее количество посетителей четырех выставок превысит **18000 специалистов**.

Совместное проведение выставок становится необходимым шагом для рынка, поскольку создает уникальные условия для обмена опытом между компаниями, внедряющими инновационные материалы, цифровые и комплексные технологические решения. В 2026 году совместная экспозиция предложит крупнейшую на рынке комплексную производственную цепочку — от идеи и проектирования до производства готового изделия по различным технологиям.

Зарегистрируйтесь на выставку 3D-TECH by Rosmould на сайте <http://www.3dtech-expo.ru> и получите бесплатный билет по промокоду **RM26-UENKV**.



rosmould

Международная выставка
пресс-форм, штампов, инструмента
и производственных технологий

От идеи
до готового
изделия

4
ТЕПЕРЬ ДНЯ!
16–19.06.2026
МВЦ «Крокус Экспо»
Москва

rosmould.ru

GA GEFERA MEDIA

Реклама



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС**

ПРОХОДИТ В РАМКАХ ВЫСТАВОК ПТЯ И HI-TECH



СЕССИИ:

- ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ СЕКТОР НОВОЙ ЭКОНОМИКИ:
ПРИОРИТЕТЫ И ВОЗМОЖНОСТИ
- ПОДДЕРЖКА БИЗНЕСА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.
ГОСПОДДЕРЖКА НА ПРАКТИКЕ
- ЛАЗЕРНЫЕ И АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
- СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ
И ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛА
- ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
ПРАКТИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

16+

ptfair.ru/promcongress

14–15 АПРЕЛЯ
2026

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»
Петербургское шоссе, 64

РЕКЛАМА



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Восемнадцатая международная специализированная выставка

22 - 24 апреля 2026



Россия, Москва, МВЦ «Крокус-Экспо»,
павильон 3, зал 13

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик, углепластик, графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК) и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Технологии производства композитных материалов со специальными и заданными свойствами
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Сертификация, технический регламент
- Компьютерное моделирование
- Утилизация



Выставка
участник
системы



независимый
выставочный
аудит

Параллельно проводится выставка:



ПОЛИУРЕТАНЭКС

Семнадцатая международная специализированная выставка
www.polyurethanex.ru



Специальный
раздел:
**КЛЕИ И
ГЕРМЕТИКИ**



Информационная поддержка:



Дирекция:

Выставочная Компания «Мир-Экспо»

Россия, Москва, Варшавское шоссе, дом 118, корпус 1, помещение 1/5

Телефоны: 8 800 333-78-25, 8 (495) 137-78-25

E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru

You Tube youtube.com/user/compoexporus



@compoexporus



Telegram-канал
«Композиты»

@compo



Реклама

Организатор:





26-28 МАЯ 2026

**МОСКВА, РОССИЯ
ТИМИРЯЗЕВ ЦЕНТР**

12+

ЛИТМАШ

Международная выставка литейных технологий,
материалов и продукции

МЕТАЛЛУРГИЯ

Международная выставка металлургических технологий,
процессов и металлопродукции

Специальная экспозиция



**ТРУБЫ
РОССИЯ
2026**

**ЗАЯВКА
НА УЧАСТИЕ**



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

Металл-Экспо
Тел.: +7 (495) 734-99-66



ПОДПИСНАЯ КАМПАНИЯ — 2026



Ведущее отраслевое
периодическое
издание в сегменте
металлообработки



www.ritm-magazine.com
info@ritm-magazine.com

Стоимость: 1000 р. за номер.
Периодичность: 8 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

