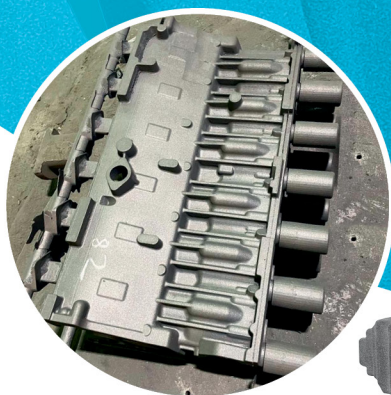
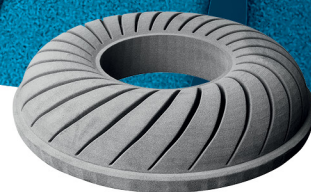
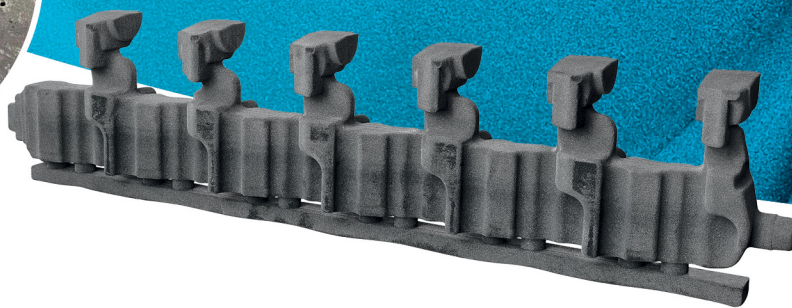


APZIAS
MACHINERYРОССИЙСКИЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ПРОМЫШЛЕННЫХ 3D ПРИНТЕРОВ

- ⊙ Готовые литейные формы за несколько часов
- ⊙ Высокая точность размеров конечных деталей
- ⊙ Возможность печати для крупногабаритного литья
- ⊙ Собственное мощное современное производство

www.zias-machinery.ru

+7 495 970 88 92

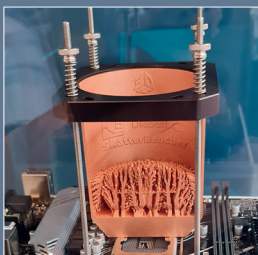
bprint@zias-machinery.com

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



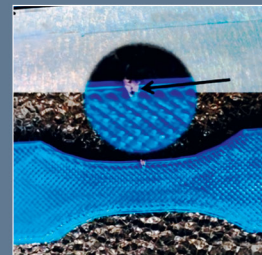
Аддитивная
трансформация
строительной
отрасли:
ожидание и
реальность

27



Картинки
с выставки:
Formnext 2024

43



Механические
и термические
свойства ПЭТГ
пластика для
экструзионной
аддитивной
технологии

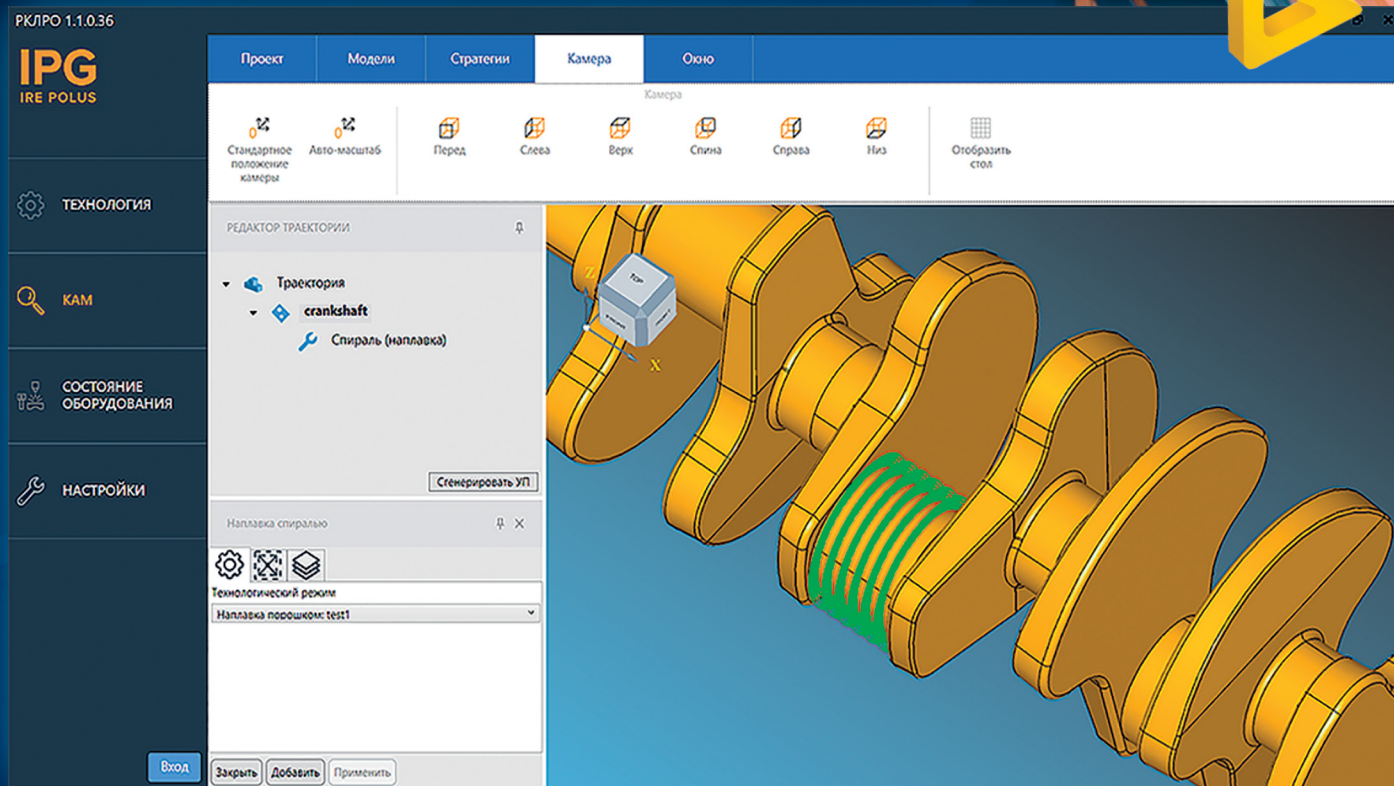
56

УНИКАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЧПУ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Программное обеспечение собственной разработки с **удобным и понятным** пользовательским интерфейсом на русском языке. Все режимы обработки **гибко конфигурируются** под требуемую технологическую задачу.



Установите приложение для просмотра видео в дополненной реальности и наведите камеру телефона на эту страницу

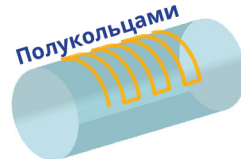
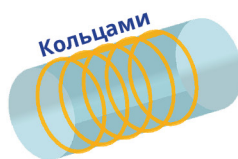
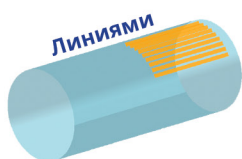


ПРОСТОЕ СОЗДАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ В ДИАЛоговом РЕЖИМЕ

Функциональные возможности

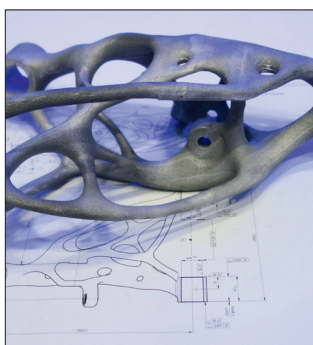
- Задание траектории с HMI-панели, ручного пульта управления либо загрузка траектории из файла
- Задание технологических таблиц с HMI-панели либо загрузка таблиц из файла
- Движение с автоматическим слежением за швом с помощью триангуляционного датчика
- Привязка технологической таблицы с параметрами обработки к каждому кадру траектории
- Управление периферийным оборудованием

Примеры траекторий обработки





8



43



54



Издатель ООО «ПРОМЕДИА»

директор О. Фалина

отдел редакции:

Т. Карпова, Э. Сацкая

С. Куликова

Экспертный совет :

Н.М. Максимов, к.т.н.

основатель и гендиректор

компании Nickatech, LLC

П.А. Петров, к.т.н.,

«Московский политех»

отдел рекламы:

т/ф (499) 55-9999-8

АДРЕС: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 105
т/ф (499) 55-9999-8
(многоканальный),
e-mail: info@additiv-tech.ru
www.additiv-tech.ru

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

Тираж 5000 экз.

Распространяется на выставках
и по подписке.

Перепечатка опубликованных
материалов разрешается только
при согласовании с редакцией.

Все права защищены ®.

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

СОДЕРЖАНИЕ

- 2 Первая всероссийская конференция ЦАТ «Ростех»
- 4 «Цифра Конгресс №2»: масштабное мероприятие по цифровым и аддитивным технологиям в стоматологии
- 6 Аддитивное производство меняет наше восприятие искусства
- 8 Россия — страна возможностей. Знаем по себе
- 10 Для серийного производства аддитивных машин требуются смелые государственные решения
- 12 Кадры для аддитивного производства
- 15 Открыта онлайн-регистрация на крупнейшую в России специализированную выставку 3D-оборудования и аддитивного производства 3D-TECH by Rosmould
- 16 Польза от напечатанных котиков
- 18 Лидер-форум–2024
- 20 Аддитивные технологии для достижения технологического лидерства
- 27 Аддитивная трансформация строительной отрасли: ожидание и реальность
- 34 «Лидер-форум»: аддитивные технологии в медицине
- 40 Аддитивное производство: итоги 2024 года
- 43 Картинки с выставки: Formnext 2024
- 49 Победители премии Formnext Awards
- 52 Лучшие применения 3D-печати на Formnext 2024
- 54 Контроль геометрии отливок
- 56 Механические и термические свойства ПЭТГ пластика для экструзионной аддитивной технологии



Тел.: 8 (4912) 51-19-41

8 (800) 444-29-41

+7 (930) 783-19-41

E-mail: 3d@3d-shop.ru

www.fdm-shop.ru

www.moldcast.ru

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

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



Первая всероссийская конференция ЦАТ «Ростех»

25 октября в павильоне № 57 ВДНХ состоялась первая всероссийская конференция «Аддитивные технологии: барьеры и преодоление». Мероприятие прошло в рамках 17-го Международного форума двигателестроения. Организатором выступил Центр аддитивных технологий при поддержке госкорпорации «Ростех» и Объединенной двигателестроительной корпорации.

Конференция была посвящена развитию и применению аддитивных технологий в российской промышленности. В событии приняли участие представители органов государственной власти и российских госкорпораций, главы крупнейших компаний, известные ученые из ведущих университетов и научно-исследовательских центров, члены делового и экспертного сообществ – ключевые игроки рынка промышленных аддитивных технологий.

С приветственным словом к участникам выступили генеральный директор ЦАТ Алексей Мазалов, заместитель директора департамента станкостроения и тяжелого машиностроения Минпромторга России Александр Львов, генеральный конструктор ОДК Юрий Шмотин, генеральный директор НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ Сергей Яковлев, исполнительный директор Ассоциации развития аддитивных технологий Ольга Оспенникова. На пленарном заседании выступили представители госкорпораций «Ростех», «Росатом», «Роскосмос», а также Курчатовского института и крупных партнерских вузов.

Деловая программа была разделена на несколько тематических блоков: производство, материалы, оборудование и программное обеспечение. Также был проведен круглый стол с участием членов территориально-распределенных центров специализации (ТРЦС), где

отраслевые специалисты рассказали о взаимодействии при проведении работ по проектированию, внедрению и изготовлению изделий с применением аддитивных технологий в контуре ОДК. Они также обозначили барьеры на пути масштабирования применения аддитивных технологий и конкретные предложения по их преодолению. В ходе дискуссий и практических сессий состоялся обмен опытом, демонстрация лучших кейсов и бизнес-практик.

В ходе конференции Центр аддитивных технологий подписал ряд важных соглашений о сотрудничестве с МГТУ им. Баумана, Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого и Самарским национальным исследовательским университетом им. академика С.П. Королева. В сотрудничестве с вузами планируется совместная реализация научно-исследовательских работ, более плотная работа с передовыми инженерными школами. Будут сформированы специальные требования к выпускникам в отношении квалификаций по аддитивным технологиям, реализованы проекты с участием специалистов центра в программах обучения, а также организовано прохождение стажировок преподавателей, научных сотрудников и студентов. Дополнительным приятным моментом стало вступление ЦАТ в «Бауманское братство».

Событие стало масштабной дискуссионной, популяризаторской, научной и бизнес-платформой, которую посетили более четырехсот участников. Оформлено также коммюнике по итогам проведенного мероприятия и собранных предложений.

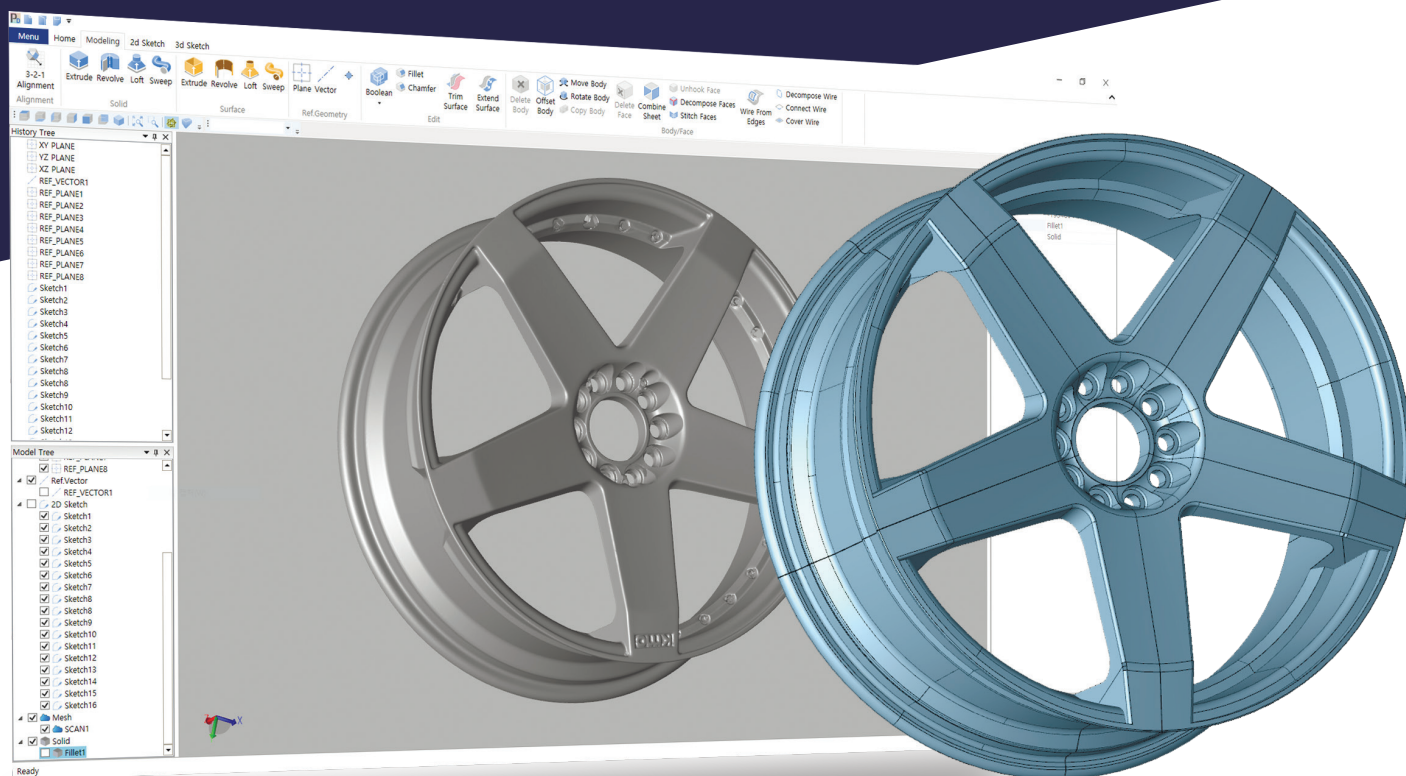
Практика проведения конференций по аддитивным технологиям будет продолжена в 2025 году. ■



Telegram-канал Центра аддитивных технологий Ростеха

PointShape™

Программное обеспечение для обратного проектирования и контроля геометрии



Бесплатные демо-лицензии. Официальные поставки.
Полноценное обучение. Работа с дилерами.
Мы открыты к сотрудничеству!

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



Инспект

ООО «Инспект»

Москва, ул. Золотая, 11, офис 4Б13а

Тел.: +7 (925) 682-19-87

info@inspectus.ru

www.pointshape.online

www.inspect-tech.ru



«Цифра Конгресс №2»: масштабное мероприятие по цифровым и аддитивным технологиям в стоматологии

23–24 ноября в Москве прошел «**Цифра Конгресс № 2**», организованный Академией аддитивных технологий «Цифра Цифра». Событие объединило ведущих экспертов в цифровой стоматологии, врачей, зубных техников, производителей и дистрибьюторов оборудования, чтобы обсудить последние достижения цифровых и аддитивных технологий в стоматологической сфере.

Два дня полного погружения в цифровую стоматологию, десятки уникальных докладов, новейшие технологии и множество практических советов от экспертов — всё это создало невероятную атмосферу, где каждый участник чувствовал, что становится частью будущего.

Доклады охватывали широкий спектр тем, включая: преимущества использования цифровых протоколов в клиниках и лабораториях; прогрессивные методы 3D-планирования и реабилитации пациентов; внедрение аддитивных технологий в стоматологическую практику. Особое внимание уделялось взаимодействию между клиниками и лабораториями — спикеры делились примерами успешного использования 3D-печати для изготовления хирургических шаблонов, временных конструкций и функциональных протезов, сообщали о повышении точности и скорости процессов, основанных на цифровых технологиях.

Важно отметить, что «Цифра Конгресс № 2» стал не только образовательной, но и технологической площадкой. Партнеры мероприятия представили передовые решения, которые задают новые стандарты в стоматологии и зуботехнической практике.

Академия аддитивных технологий «Цифра Цифра» выражает огромную благодарность партнерам мероприятия: «Золотое сечение», Megagen Russia, Harz Labs, Green Dent, ГК «Пумпа», Dexis, AB Dental, TrueSmile, JDental Care, Lider-3D, d-tech, TS Dental Group, «Пикассо Lab», ГК «Риком», Ormco, Ortholight. Вклад партнеров сделал это событие уникальным и незабываемым.

Среди оборудования были представлены **DLP-принтер CARIMA Dental 3D, RayShape Shape 1, Elegoo Mars 5 Ultra, Elegoo Saturn 4 Ultra 12k**, а также профессиональные фрезерные станки, интраоральные сканеры и другие решения для цифровой стоматологии.

По заявлению академии аддитивных технологий «Цифра Цифра», следующий «Цифра Конгресс» обещает стать значимым событием, продолжением начатого пути, которое открывает новые возможности для специалистов, идущих в ногу с прогрессом.

Информацию о мероприятии вы сможете найти на сайте **2cifra-congress.ru**.



Росстандарт утвердил новый ГОСТ Р 71688-2024. Документ посвящен применению искусственного интеллекта в 3D-печати и называется: «Искусственный интеллект. Наборы данных для разработки и верификации моделей машинного обучения для косвенного измерения физико-механических свойств объектов аддитивного производства. Общие требования». Стандарт регулирует порядок выбора методов сбора, анализа и постобработки данных для аддитивного производства; методы контроля качества и полноты наборов данных, используемых для оценки свойств узлов и элементов конструкций; требования к наборам данных, применяемым для разработки и проверки моделей машинного обучения, которые помогают определять физико-механические свойства объектов 3D-печати.

Ранее Росстандарт утвердил предварительный национальный стандарт 955-2024 «Искусственный интеллект в машиностроении. Варианты использования». Он должен помочь участникам отрасли использовать, разрабатывать, контролировать или предоставлять документацию, изделие или услуги, использующие ИИ.

Оба стандарта вступает в силу с 1 января 2025 года и будут действовать на территории всей страны.

На форуме новых материалов и технологий AMTEXPO-2024 19 ноября состоялась церемония вручения наград AMTEXPO AWARDS-2024.

Кубок в номинации «Научные разработки в области новых материалов и технологий» получило ООО «ВСКАМ» за разработку универсальных аппаратно-промышленных комплексов для проведения высокоскоростных съемок.

Победителем номинации «Импортозамещение в области новых материалов и технологий» стало ООО «Стереотек» за разработку технологии многоосевой печати 5Dtech.

Приз в номинации «Уникальные проекты в области новых материалов и технологий» получили сразу две компании — ООО «Карбонтекс» за разработку 3D ткачества: умное армирование композиционных материалов и АО «Препрег-СКМ» за разработку и производство термопластичных консолидированных пластин на основе полиэфирэфиркетона, а также пластин с функциональными покрытиями.

Всего на конкурс поступило 45 заявок от 27 компаний в области новых материалов и технологий.

ФГУП «ЦРП»

Telegram-канал форума AMTEXPO



КОМПОЗИТ-ЭКСПО

Семнадцатая международная специализированная выставка

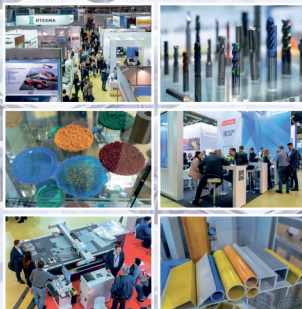
25 - 27 марта 2025

Россия, Москва, ЦВК «Экспонцентр»,
павильоны 1 (1, 2 этажи) и 5

Основные разделы выставки:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: Наполнители и модификаторы
- Стеклопластик (пластик, армированный стекловолокном), углепластик (пластик, армированный углеродным волокном), графитопластик, базальтопластик, базальтовые волокна, древесно-полимерный композит (ДПК), искусственный камень, искусственный мрамор, металлокомпозиты, нанокомпозиты, биоккомпозиты и т.д.
- Полуфабрикаты (препреги)
- Инженерные пластики
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Инструмент для обработки композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование
- Компьютерное моделирование

Специальный раздел выставки:
КЛЕИ И ГЕРМЕТИКИ





ufi
Approved
Event



Expo
Rating

Параллельно проводится выставка



ПОЛИУРЕТАНЭК
www.polyurethanex.ru

Информационная поддержка:



Дирекция:
Выставочная Компания «Мир-Экспо»
Россия, Москва, Варшавское шоссе, дом 118, корпус 11, офис 38 (8 этаж)
Тел.: 8 495 988-1620 | E-mail: info@composite-expo.ru | Сайт: www.composite-expo.ru

YouTube: youtube.com/user/compoexporussia | Telegram: @ocompo | Instagram: @compoexporus

Организатор:



Мир-Экспо
Выставочная компания

Аддитивное производство меняет наше восприятие искусства

27 ноября в Москве состоялся запуск нового цеха компании SLOI, специализацией которой является 3D-печать бетонными смесями.

Гостей торжественного мероприятия приветствовала генеральный директор компании SLOI, архитектор Оксана Гольцева. Она отметила, что ее команда молода, профессиональна, амбициозна и ставит перед собой цель сделать 3D-печать доступной для архитекторов, строителей, ландшафтных дизайнеров, обеспечив комплексный подход к созданию изделий от идеи и моделирования до производства и монтажа. Уверенность в достижении поставленных задач выразили также инвестор и соучредитель компании SLOI Евгений Касоверский и технологический консультант, координатор проекта и партнер Евгений Копылов. Архитектор София Веселова отметила, что параметрическое моделирование и новаторский подход к использованию бетона позволяют создавать пластичные формы, придавать бетону новые свойства, открывают возможности для воплощения смелых архитектурных идей, сокращают сроки реализации проектов. Современный цех в понимании компании SLOI — это производство, где создаются изделия, сочетающие в себе эстетическую выразительность и инженерную точность.

Для оснащения цеха были выбраны новейшие 3D-принтеры отечественной производственной компании «Лерто». Основой оборудования является роборука Scara со встроенной системой автозамешивания бетона и функцией автопромывки, а также ноутбук со всем необходимым программным обеспечением. Предлагаемая автоматизация позволяет не только обеспечить

быстрый и воспроизводимый процесс печати бетонов, но и оптимизировать экономические затраты, снизить количество отходов, поддерживать чистоту и порядок в помещении. Все четыре установленных принтера были запущены в работу и продемонстрировали 3D-печать различных изделий серым и белым бетонами производства компании «Боларс».

На первом этапе компания SLOI предполагает выпускать малые архитектурные формы для интерьерных и экстерьерных решений: скамейки, беседки, фасады, заборы и многое другое, а в последующем масштабировать производство и работать в том числе с префабами, домокомплектами, осуществляя их печать в комфортных условиях цеха, и быструю сборку домов на участках заказчиков.

Кроме того, гостям рассказали и показали, как осуществляется работа 3D-сканера, необходимого для задач моделирования, реверс-инжиниринга. После чего была сделана не групповая фотография участников, а групповая модель на память.

3D-печать в строительстве на текущем этапе развития пользуется большим вниманием, рассматривается как перспективная технология для целого ряда задач и, что важно, набирает обороты. Поэтому есть все основания для оптимистичных прогнозов развития как компании, так и направления в целом. Хочется поприветствовать прекрасную инициативу коллектива компании SLOI словами: «Вы оказались в нужном месте в нужное время, у Вас все получится, Ваши мечты уже становятся былью!»

Татьяна Карпова



<https://sloi.tech>

VII Международная конференция «3D КонЦентРАТ» состоится 31 марта 2025 года в Воронеже.

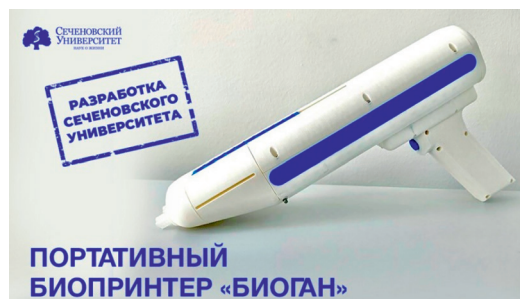
На протяжении последних шести лет конференция «3D КонЦентРАТ» успешно проводится на базе ЦТКАТ, собирая до двухсот высококвалифицированных специалистов отрасли аддитивных технологий. Мероприятие неизменно привлекает выдающихся спикеров и экспертов, представителей государственных органов, государственных корпораций («Ростех», «Роскосмос», «Росатом»), НИИ, крупных промышленных предприятий и ведущих вузов России. Все заинтересованные в развитии аддитивных технологий специалисты приглашаются к участию.

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

Портативный биопринтер

В Клинике кожных и венерических болезней имени В.А. Рахманова, Институте регенеративной медицины и дизайн-центре гибкой биоэлектроники Сеченовского университета разрабатывают портативный биопринтер «Биоган» для биопечати тканевых эквивалентов кожи, которые будут эффективны в лечении незаживающих или плохо заживающих язв, в том числе диабетической природы, сообщает пресс-служба вуза.

Для создания комбинированных биочернил используют гидрогель со сфероидными — агрегатами клеток, которые выступают в качестве строительных блоков, а также внеклеточные везикулы, обладающие выраженным прорегенеративным и противовоспалительным потенциалом. В составе таких чернил клетки развиваются, как в естественной ткани.



3DToday



Павильон из древесных отходов

На фестивале Dubai Design Week японская архитектурная студия Mitsubishi Jisho Design представила The Warp — новый вид чайной комнаты. Инсталляция состоит из почти 900 отдельных панелей, каждая из которых изготовлена с использованием технологии экструзионной 3D-печати. Нить для 3D-печати произведена из древесных отходов, соединенных с PLA-пластиком.

Каждая плитка, уникальная по форме, сцеплена с другими, как кусочек пазла. В результате создается прочная конструкция, легко собираемая и разбираемая вручную. Эта технология делает чайную комнату удобной для транспортировки и повторной установки в другом месте.

3Dnatives

ТЕПЕРЬ В TELEGRAM!  ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ!

РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



t.me/ritm_magazine



t.me/additiv_tech



Центр аддитивных технологий с крупнейшим в России парком собственного оборудования. Интегрируем 3D-установки, используя накопленный практический опыт.

197345, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Оптиков, д. 30, стр. 1, пом. 1-Н
+7 (800) 333 07 58

Отдел услуг: mail@3dvision.su
Отдел продаж: info@3dvision.su
<https://3dvision.su>

Системный подход к развитию аддитивных технологий в России

(Начало в №3 2024)

Россия — страна возможностей. Знаем по себе

Привычными нишами для внедрения аддитивных технологий в России являются авиастроение и ракетостроение, отчасти машиностроение. Развиваются медицинские приложения и биопечать. Все чаще говорят о достижениях в строительстве.



На вопрос о том, насколько возможно инициировать расширение рынка, создать условия для реализации новых проектов, редакции журнала «Аддитивные технологии» рассказал Глеб Туричин, доктор технических наук, профессор, директор Института лазерных и сварочных технологий СПбГМТУ,

ректор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета.

Российский рынок аддитивных технологий небольшой. Какие новые проекты можно было бы предложить, чтобы дать возможность отечественным производителям реализовать свой потенциал и развить свой продукт?

Из потенциально новых ниш — гражданские отрасли, потому что они от слова «совсем» не используют новые аддитивные технологии. Например, китайские компании делают массово формы для обувных подошв, а наши производители обуви — нет. Почему?

Из того, что делаем мы, новая ниша — это тяжелое энергетическое машиностроение, импортозамещение больших турбин. Оказывается, что для них реально многие детали можно производить с помощью аддитивных технологий. А поскольку энергетика у нас в стране большая, то только замена выходящего из эксплуатации оборудования предполагает огромный объем работы.

Железнодорожники в связи с уходом компании «Сименс» также повернулись лицом к аддитивной отрасли. Мы начали работать с группой компаний «Синара» в рамках проектов по воссозданию отече-

ственного производства средне- и низкооборотных больших дизелей. В этом направлении очень многое можно выращивать. Железнодорожная отрасль — хороший рынок, предполагающий постоянный спрос и большой объем производства. В отрасли много высококвалифицированных специалистов, с которыми легко находить общий язык. Работа идет.

Что касается наших новых проектов, мы не работаем в загашник: как только появляется идея, она реализуется. Существующая потребность больше, чем наши возможности. Другие производители оборудования, которые реально работают, живут примерно в таком же режиме.

Государство может стимулировать появление новых ниш, новых задач?

Может, но не будет. Существующая у нас система поддержки отечественного производителя тяжелая и не очень эффективная. Она не ориентирована на коммерческую рентабельность. Но поскольку действующее законодательство и сложившаяся в стране обстановка позволяют людям реализовывать собственные идеи, находить для этого возможности, то те, кто хотят развиваться, это делают. А Россия — это реально страна возможностей, подтверждаем собственным примером.

Использовать или не использовать меры господдержки, каждый решает сам. Мы давно поддержки от Минпромторга не имеем, хотя являемся по объему рынка крупнейшим российским производителем технологических машин, занимая 30% рынка отечественного аддитивного оборудования и производя порядка 20 высокотехнологичных машин в год.

Кто выступает инициаторами и инвесторами проектов?

Инициаторами, как правило, выступает либо производитель-разработчик, либо конечный потребитель, а инвестором в наших проектах — конечный потребитель. Ключевая ставка порядка 21% делает бессмысленным кредитование.

Почему отечественные компании всё делают сами от железа до софта? При этом китайские компании легко входят на российский рынок. Возможно ли объединение усилий российских компаний хотя бы для сложных проектов?

Во-первых, отечественные компании не всё делают сами. У нас, например, развитая кооперация. Часто заказываем у тех, кто лучше и дешевле умеет, условно говоря, сделать мехобработку, или стеклянную колбу, или экран для компьютера.

Что касается конкуренции, для нас российский рынок частично конкурентный. ИЛИСТ — единственный отечественный производитель серийного оборудования прямого лазерного выращивания. Есть примеры других организаций, которые пытались построить подобные машины, некоторые даже построили в количестве одной или двух штук, но есть разница. Когда ты делаешь оборудование серийно, оно получается намного лучше, чем единичные образцы. И второй момент: технологическую машину должен проектировать и строить технолог, а не конструкторы. Мы технологи, мы понимаем, что делаем и для чего делаем. Это редкая ситуация. Я понимаю, какую надо спроектировать машину, потому что придумываю и делаю технологию. И машина строится вокруг технологии, вокруг изделия, а не вокруг мыслей или желания скопировать что-то.

Что касательно китайских компаний, которые легко выходят на российский рынок. Да, легко входят, потому что рынок не заполнен. На него все будет легко входить. Когда плотность своих производителей станет побольше, будет не так легко. Но, с другой стороны, надо понимать, что величина китайского рынка позволяет китайским компаниям при прочих равных побеждать в любой конкуренции. Огромные размеры серийного оборудования для своей страны позволяют очень быстро его разрабатывать и совершенствовать.

Что касается объединения усилий российских компаний для сложных проектов, такие разовые объединения возникают, но, из моей практики, не живут долго.

С одними сделали одно, с другими — другое, с третьими — третье.

А машина, которая была разработана и изготовлена с Госкорпорацией «Росатом», пойдёт в серию?

Данная машина была сделана, с одной стороны, как демонстратор технологии, а с другой стороны — чтобы убедиться, что получится работать несколькими инструментами. Следующая машина, которая, возможно, будет делаться с госкорпорацией, будет основана на тех же принципах, но иметь уже 12 лазеров и 12 роботов. Возможны отличия и в другой комплектации, например, будут использоваться новые высокопроизводительные головки.

Лазерные головки Вашего производства?

Да. Все ключевые технологические элементы наши.

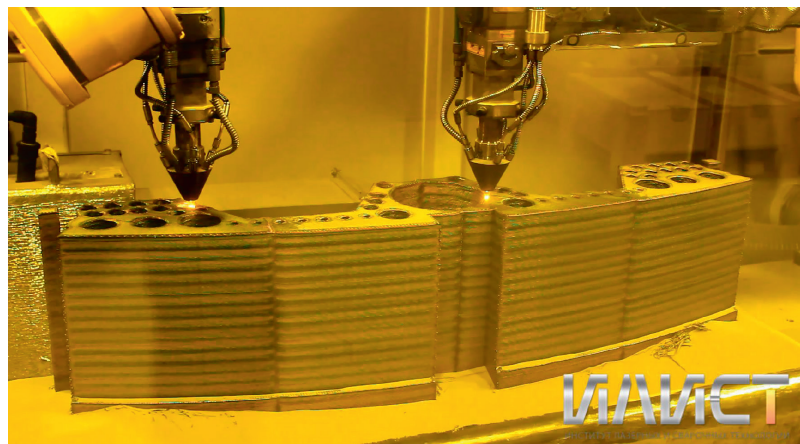
С Госкорпорацией «Росатом» существует довольно много совместных проектов, потому что корпорация большая, ей много всего надо.

Какие меры господдержки полезны для Вас как отечественного производителя оборудования? Нужно ли поддерживать покупателя, чтобы пробовал, экспериментировал и выбирал лучшее, расширяя ниши?

Для нас просто нужен хороший рынок. А вот меры поддержки нашего потребителя очень полезны. Пока они не всегда работают. У нас есть договоренности с Минпромторгом, но речь о кредитных мерах, а они не очень интересны отечественным производителям, которые предпочли бы безвозвратные.

Нужно ли поддерживать? Нужно. Из-за того, что у нас маленький рынок, они на нем «долину смерти», сами не пройдут. У них нет необходимого объема заказов, чтобы пережить время, пока будет освоена технология и появится должный спрос. ■

*Изделия, выполненные ИЛИСТ СПбГМУ
по технологии прямого лазерного выращивания*



Для серийного производства аддитивных машин требуются смелые государственные решения



Своим мнением о состоянии российского рынка аддитивных технологий и путях развития отрасли с редакцией журнала «Аддитивные технологии» поделился **Евгений Пиженков**, заведующий лабораторией Уральского федерального университета (УрФУ).

Казалось бы, никого не надо убеждать в нашей стране в острой необходимости внедрения аддитивных технологий (АТ) во все сферы жизни и производства. И бесспорно, флагманом аддитивного производства сейчас являются SLM-технологии, т.к. позволяют получать самые точные и сложные детали практически из любых материалов во всех отраслях машиностроения.

АТ и SLM в частности весьма активно внедряются в машиностроение развитых зарубежных стран. Россия, к сожалению, находится далеко не в лидерах. Исторически сложилось, что впереди были Европа и США, а затем лидерство (по крайней мере, на рынке России) по производству SLM-машин захватил Китай.

В настоящее время в Россию ввозятся сотни SLM-машин, в то время как количество произведенных в России исчисляется всего лишь десятками. При этом отечественные производители оборудования для аддитивного производства (АМ), к сожалению, ориентируются на конструкции, представляющие гибрид Китая и России в различной пропорции.

Качество китайских принтеров и комплектующих пока оставляет желать лучшего. Ни один из протестированных нами китайских принтеров не может сравниться по качеству с немецким принтером EOS, произведенным еще в 2010 году. Как уже традиционно сложилось, Китай начинает с количества, стремясь наполнить пустой рынок своей продукцией, пользуясь непритязательностью российских потребителей.

Китай копирует (не совсем удачно) технические решения передовых стран, не проводя глубоких исследований процесса и конструкций. А мы в России на этой далекой от совершенства базе пытаемся строить отечественное производство АМ. Это тупиковый путь: идя по нему, мы никогда не будем конкурентоспособны.

Чтобы не быть голословным, приведу некоторые факты. Мной установлены контакты с предприятия-

ми и вузами России, которые имеют отношение к АТ (в том числе используя данные журнала «АТ» № 2 за 2023 г.). При этом особое внимание было уделено производителям и разработчикам SLM-машин. И вот какие выявляются интересные факты.

1. Небольшие частные компании типа On sint, 3DLAM, «Лазерные системы», АМ.ТЕСН, находятся на уровне штучного или мелкосерийного производства.

2. Ведущие вузы страны, такие как МГТУ им. Баумана, МИСиС, УрФУ, СТАНКИН, СП университет, Институт ФМ, УроРАН, пока не берут на себя роль головного в данной тематике.

3. Госкорпорация «Росатом» также не занимает пока роль лидера в разработке и производстве SLM-машин.

А между тем ведущие отрасли машиностроения России, в том числе оборонная, авиационная, космическая, нуждаются в большом количестве качественных SLM-машин российского производства. Каковы причины такого состояния?

Начнем с технических проблем. Для обеспечения качественного SLM-синтеза необходимо иметь:

- порошок сферической формы, тщательно подобранного фракционного состава,
- систему нанесения слоя порошка, обеспечивающую нужную плотность, толщину и отсутствие дефектов,
- лазер нужной мощности и четкой управляемости,
- сканатор, обеспечивающий движение лазерного луча по заданной траектории с высокой скоростью и точностью,
- ПО, позволяющее рационально управлять лазерным лучом и всей машиной в целом.

Из всех названных составляемых наиболее серьезных успехов Россия достигла только в производстве лазеров, остальное мы либо заимствуем у Китая и западных стран, либо делаем сами, но не на высоком уровне.

Следовательно, чтобы производить качественные российские SLM-машины, необходимо весьма серьезно потрудиться ученым-исследователям и разработчикам.

Мое видение решения технических проблем:

1. Отечественные производители порошков должны иметь четкий, научно обоснованный регламент качества порошков и возможность его исполнения и контроля.

2. Задача нанесения слоя порошка китайскими и российскими производителями решается весьма примитивно и требует тщательного изучения. Немецкие производители, например, изначально применяют керамические ракеты, а не резиновые.

3. Качественные сканаторы производятся в Европе и США, Китай пока пытается их производить. В России такая задача по силам предприятиям типа ЛОМО или УОМЗ, но никто пока не представил техническое задание на такое производство и, соответственно, не выделил средства.

4. ПО по управлению лучом требует тщательной проработки, т.к. это многофакторный процесс. В России в основном используется зарубежное ПО по управлению лучом (слайсеры), а нужно свое, основанное на серьезных научных исследованиях.

Как видно из вышесказанного, решение столь сложных технических проблем требует серьезных организационных мер на государственном уровне.

Как указано выше, стране нужны сотни и тысячи аддитивных машин. Каждое предприятие, производящее сложную технику и приборы, должно иметь не одну машину, а целый участок или даже цех. Только в этом случае возможно эффективное использование АТ.

Для обеспечения российского машиностроения необходимо серийное производство аддитивного оборудования нужной конфигурации. Для обеспечения такого производства нужны кадры (исследователи, разработчики, операторы, эксплуатационники), а также научные и производственные базы, то есть нужно научно-производственное объединение (НПО).

В России достаточно предприятий, которые могли бы взяться за решение подобных задач. Такие НПО создавались в России еще в 70–80-х годах, но не все из них выжили в лихие девяностые. Сильнее всего постра-

дала научная база, были упразднены многие отраслевые НИИ.

Сейчас государство обратило внимание на академические вузы, где еще сохранились кадры и экспериментальные базы. Одним из таких вузов является УрФУ. Причем в последние годы здесь сложилась весьма мощная экспериментальная база. Поэтому можно реально рассматривать УрФУ в качестве ведущего вуза по исследованиям и разработкам в области АТ, а мощную экспериментальную базу можно использовать для серийного производства. При этом не потребуются тратить огромные средства и время на строительство зданий и приобретение оборудования. Существующего оборудования и площадей достаточно для серийного производства до тысячи SLM-машин в год. Технико-экономические показатели такого производства весьма высоки.

Предложения по подготовке кадров также обоснованны. В УрФУ существует кафедра ТМСИ, которая одна из немногих в уральском регионе готовит конструкторов по разработке металлорежущих станков и SLM-машин. В 2024 году на бюджетные места были приняты 80 студентов. На кафедре накоплен десятилетний опыт НИОКР по применению SLM-технологий в инструментальном производстве.

Таким образом, имеются все условия для создания НПО по разработке и серийному производству SLM-машин на базе УрФУ. Дело за малым — надо принимать решение и действовать.

Наше время — время смелых решений! ■

The advertisement features a blue and green background with a network of lines and several 3D cubes in blue and yellow. On the left, a dark blue box contains the 'rosmould' logo in white and yellow, a QR code, and the website 'rosmould.ru'. In the center, a white box with a blue border contains the text: 'Международная выставка пресс-форм, штампов, инструмента и производственных технологий', '17–19 июня 2025', and 'МВЦ «Крокус Экспо», Москва'. At the bottom left, a yellow box with a blue border contains '20 ЛЕТ' and 'в отличной форме'. At the bottom right, the 'GEFERA MEDIA' logo is visible.

В настоящее время одна из основных проблем, стоящих перед российской промышленностью, — это кадры. Специалистов катастрофически не хватает, поэтому постоянно звучат вопросы: «Кого, как, в каком количестве следует готовить?» А в случае инновационных областей, к которым относятся аддитивные технологии (АТ), ведутся споры даже про набор знаний и навыков, которыми должен владеть специалист.



На вопросы о развитии аддитивных технологий в России, формировании образа «аддитивщика», об образовательных программах и практиках редакции журнала «Аддитивные технологии» рассказал научный руководитель передовой инженерной школы «Материаловедение, аддитивные и сквозные

технологии» НИТУ МИСИС, доцент кафедры теоретической физики и квантовых технологий НИТУ МИСИС, заместитель генерального директора — директор Института металлургии и машиностроения АО «НПО «ЦНИИТМАШ» Иван Иванов.

Иван Алексеевич, каким должен быть специалист, работающий в сфере аддитивных технологий?

Прежде чем говорить о специалистах, работающих в сфере АТ, следует учесть ограничения, которые мешают широкому внедрению аддитивных технологий в ответственное машиностроение.

Ответственное машиностроение — отрасль, где ценой ошибки является или техногенная катастрофа, или человеческие жизни. В связи с этим одной из важнейших задач, стоящей перед нами, является необходимость доказать, что аддитивные технологии можно применять без ущерба для безопасности.

Другим барьером, снижающим темп внедрения АТ, является ориентация инженеров на традиционные технологии или аналоговое мышление. Но при этом очевидно, что аддитивные технологии не должны и никогда не вытеснят традиционные технологии, а займут свою, недоступную для них нишу. Поэтому основная задача — подготовить специалистов (конструкторов, материаловедов, технологов), специально заточенных на использование аддитивных технологий и имеющих «аддитивное» мышление. Они должны понимать особенности функционирования аддитивного оборудования, знать физику аддитивных процессов

и основы материаловедения, владеть инструментами моделирования и подготовки 3D-моделей к печати. Наиболее важными являются компетенции, позволяющие развивать новые подходы к аттестации и оценке соответствия аддитивных материалов и аддитивной продукции. Отдельно следует подчеркнуть важность изучения технологических тенденций развития аддитивных технологий и оборудования, например, применения систем непосредственного контроля за процессом 3D-печати и систем внешнего воздействия для управления структурой и свойствами синтезируемого материала. Исследование упомянутых направлений решит задачу цифровой паспортизации продукции, откроет новые возможности для обеспечения качества серийного аддитивного производства, возможно, решит задачу переносимости технологий между разными единицами оборудования, ускорит внедрение аддитивных технологий в отечественное машиностроение.

На каком уровне нужно воспитывать это «аддитивное» мышление: детский сад, школа, вуз, переподготовка действующего кадрового состава предприятий?

Идею, связанную со специализированной подготовкой по направлению АТ (да и любому другому) начиная с детского сада, я не особо приветствую. Пусть у детей будет детство — пусть лепят снеговиков или что-то вырезают из цветной бумаги — непринципиально.

Что касается школы, на мой взгляд, специально фокусироваться на изучении аддитивных технологий в ущерб физике, математике и другим естественнонаучным предметам не стоит. Но на уроках труда получать навыки работы с 3D-принтерами и применять их при реализации школьных проектов — считаю важным и нужным. Приведу пример. Мой ребенок взялся реализовать проект по созданию устройства идентификации БПЛА на основе спиральной рупорной антенны сложной геометрии. И именно использование 3D-печати позволило изготовить макет такой антенны. В этом контексте использование аддитивных технологий как инструмента для решения каких-то более общих задач, мне кажется идеальным.

В разрезе высшего образования мы говорим о системной подготовке специалистов, понимающих основы и преимущества аддитивных технологий. Студенты для своих выпускных квалификационных работ или магистерских диссертаций должны выбирать не абстрактные, а конкретные задачи по разработке новых конструкторских, технологических, материаловедческих решений в области аддитивных технологий.



Важнейшим драйвером внедрения аддитивных технологий является дополнительное профессиональное образование (ДПО). Сотрудников предприятий, имеющих за своими плечами богатый конструкторский и технологический опыт, необходимо знакомить с возможностями аддитивных технологий, после чего они смогут начать применять их непосредственно в своей работе. Яркой иллюстрацией этого является программа дополнительного образования, разработанная ООО «НПО «ЗД-Интеграция», целью которой является не просто знакомство с аддитивным оборудованием, а демонстрация физических свойств материалов, полученных с помощью разных АТ. Программа включает в себя изучение технологических особенностей 3D-печати биметаллических изделий методом селективного лазерного плавления (СЛП), сравнение свойств материалов, полученных с помощью технологий лазерного и электронного селективного сплавления, а также использование машинного обучения и искусственного интеллекта для выбора режимов сплавления. Именно такие программы ДПО способствуют использованию АТ для решения задач заказчиков.

На примере НИТУ МИСИС расскажите, пожалуйста, какие знания получают студенты, как формируются практические навыки, на какой базе осуществляются практики.

В 2024 году в рамках образовательной деятельности передовой инженерной школы «Материаловедение, аддитивные и сквозные технологии» (ПИШ МАСТ) запущена программа магистратуры «Аддитивные технологии», руководителем которой является Берюхов Андрей, директор бизнес-направления «Аддитивное производство» компании ООО «Горизонт покрытий». Руководство программой экспертом-практиком позволяет гарантировать соответствие учебного плана требованиям рынка и готовить не абстрактных ученых, а инженеров с релевантным набором знаний и навыков, способных создавать новые продукты с использованием аддитивных технологий.

Важным аспектом любого образовательного процесса является материальная база. В настоящий момент в МИСИС создана «Фабрика для обучения», оснащенная достаточным количеством оборудования, которое позволяет практически полностью закрыть

весь аддитивный передел, от выплавки и получения металлопорошковых композиций до 3D-печати и всей последующей постобработки и контроля качества. Центром «Фабрики для обучения» является уникальная установка МАСТ-300, разработанная на основе результатов комплексной научной программы Госкорпорации «Росатом», которая работает по технологии СЛП. Установка МАСТ-300 создана на базе отечественной системы сканирования лазерного луча с двумя коллиматорами производства АО «НИИ НПО «Луч» (Научный дивизион Госкорпорации «Росатом») и отечественного программно-аппаратного обеспечения. Установка с рабочей зоной Ø 300×300, во-первых, имеет подогрев колодца и платформы построения до 800°C, что позволяет работать с материалами, склонными к трещинообразованию. Во-вторых, она обладает всем комплексом систем непосредственного контроля (контроль температуры жидкой ванны и всей рабочей области, контроль качества порошкового слоя и геометрии изделия), именно это открывает новые возможности в обеспечении качества аддитивного материала и изделий, а также цифровой паспортизации изделий. В-третьих, она оснащена системой воздействия на кинетику фазового перехода, которая позволяет улучшить показатели прочности и пластичности, тем самым повышая сопротивление синтезируемого материала к хрупкому разрушению. Последнее критически важно для ответственного машиностроения. В настоящий момент в НИТУ МИСИС совместно с Научным дивизионом Госкорпорации «Росатом» создаются два специальных научно-образовательных пространства: лаборатория горячего изостатического прессования, основой которой является отечественный лабораторный газостат, и лаборатория лазерно-оптических систем, оснащенная специальным стендом для разработки и отладки алгоритмов юстировки, калибровки и сведения лучей для систем сканирования.

Уже сейчас «Фабрика для обучения» используется как для прохождения студентами практических занятий, так и реализации научно-исследовательских работ. В 2025 году запланирован старт инициативных проектов, где студенты смогут реализовать самые смелые идеи в области внедрения аддитивных технологий, подобрать необходимый материал, получить требуемую металлопорошковую композицию, разработать собственную

аддитивную технологию и изготовить целевое изделие, а также провести полный комплекс испытаний.

В то же время неотъемлемой частью образовательного процесса является прохождение студентами практик и стажировок на предприятиях — лидерах аддитивного направления. Это такие компании, как ООО «Горизонт покрытий», АО «ЦАТ», ООО «НПО «ЗД Интеграция», АО «НПО Систем» и некоторые другие, которые предоставили свои площадки для знакомства студентов с современными видами аддитивного оборудования и технологическими подходами к 3D-печати, постобработке и контролю качества аддитивной продукции.

Стоит отметить, что качество образования заключается не просто в наличии знаний, но и в умении их применять для решения конкретных практических задач. На примере ПИШ МАСТ этому помогает наличие научного руководителя со стороны университета и наставника со стороны работодателя.

Приведите, пожалуйста, пример, как работает институт наставничества.

Институт наставничества играет важнейшую роль в подготовке специалистов. Модель образования ПИШ МАСТ предполагает вовлечение студентов в научную деятельность предприятий начиная с первого семестра обучения для того, чтобы к моменту выпуска они получили навыки, необходимые для решения реальных задач в условиях конкретного производства. Такие студенты как раз и станут проводниками аддитивных технологий, а получаемые знания сразу смогут использовать при решении задач своих работодателей. Приведу пример. Студент второго курса магистратуры ПИШ МАСТ Максим Филимонов обучается по направлению «Аддитивные технологии» и является сотрудником АО ОКБ «Гидропресс» (Машиностроительный дивизион Госкорпорации «Росатом»). В своей магистерской диссертации он решает вопрос не просто разработки технологии 3D-печати элемента системы управления и защиты реактора (СУЗ), а демонстрирует то, что аддитивный материал и само изделие — не хуже аналогичных, полученных традиционным способом. Такие проекты позволят преодолеть барьер недоверия к аддитивным технологиям и ускорить их внедрение в ответственный, в том числе атомное машиностроение.

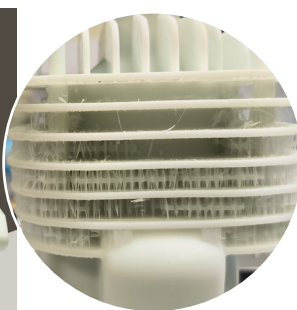
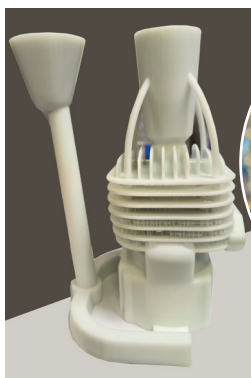
А преподаватели МИСИС сами постигают тонкости аддитивных технологий или проходят какую-то подготовку?

Университет МИСИС имеет многолетний опыт в области реализации научно-исследовательских работ и подготовки кадров по направлениям как напрямую, так и косвенно связанных с аддитивным производством. Так, например, в рамках реализации проекта по изучению влияния концентрированной энергии на структуру и свойства материалов (проект реализуется в рамках комплексной научной программы Госкорпорации «Росатом») удалось пройти путь от идеи акустического воздействия на структуру и структурно-чувствительные свойства до опытного образца промышленной аддитивной установки, реализующей возможность повышения прочностных и пластических характеристик при селективном сплавлении металлических порошков. Участие в таких проектах позволяет считать НИТУ МИСИС одним из научных центров компетенций по направлению АТ.

Аддитивные технологии активно развиваются, появляются современные образцы аддитивного оборудования и новые технологические решения. Поэтому неотъемлемой частью образовательного процесса в данном направлении является прохождение курсов повышения квалификации преподавателями и научными сотрудниками университета в ведущих центрах аддитивных технологий. Например, АО «ЦАТ» (входит в контур Госкорпорации «Ростех») и ООО «Горизонт покрытий» для сотрудников МИСИС разработали специализированные курсы повышения квалификации как непосредственно по направлению АТ, так и для направления «Реверс-инжиниринг».

Иван Алексеевич, какие пожелания к школам, откуда приходят ваши абитуриенты?

С моей точки зрения, надо воспитывать людей, которые хотят решать инженерные задачи и интересуются этим вопросом. Физика и математика — это база для подготовки высококвалифицированных инженеров, в том числе по направлению АТ. В связи с этим пожелание одно — прививать любовь к естественным наукам и воспитывать, как говорил Лев Гумилев, пассионарных людей, готовых и желающих сделать вклад в развитие российской и мировой инженерной мысли. ■





Открыта онлайн-регистрация на крупнейшую в России специализированную выставку 3D-оборудования и аддитивного производства 3D-TECH by Rosmould

Менее шести месяцев осталось до открытия крупнейшей в России специализированной выставки оборудования и материалов для аддитивного производства 3D-TECH by Rosmould, которая пройдет в Москве 17–19 июня 2025 года, и мы спешим сообщить об открытии онлайн-регистрации посетителей. Мероприятие пройдет одновременно с промышленными выставками индустрии пресс-форм и штампов Rosmould и полимерной отрасли Rosplast. Все три выставки займут четыре зала павильона 1 МВЦ «Крокус Экспо». На площадке будет соблюдаться зонирование выставок по залам: 3D-TECH займет зал 2, Rosmould — зал 3, Rosplast — залы 1 и 4.

Напомним, что изначально 3D-технологии были частью выставки Rosmould в виде оборудования для прототипирования и 3D-сканирования. А с 2014 года экспозиция 3D-TECH начала формироваться как отдельное направление выставки Rosmould. За последние десять лет аддитивные технологии стали актуальной и востребованной производственной технологией, что также можно было наблюдать на примере динамичного развития экспозиции 3D-TECH. Так, согласно официальной статистике выставок Rosmould & 3D-TECH и Rosplast, в 2024 году в экспозиции 3D-TECH было представлено 62 компании с 3D-оборудованием и материалами для 3D-печати, что на 30% больше результатов 2023 года, а количество целевой аудитории по сегменту 3D-TECH составило 3 525 уникальных посетителей, что на 45% больше результатов 2023 года. И уже в этом году экспозиция 3D-TECH будет проводиться как отдельная специализированная выставка оборудования и материалов для аддитивного производства **3D-TECH by Rosmould**.

Посетителей выставки 3D-TECH by Rosmould 2025 ждет обширная экспозиция промышленного, профессионального и персонального 3D-оборудования (3D-принтеры, 3D-сканеры, координатно-измерительные машины, оборудование для постобработки, промышленные и коллаборативные роботы), расходных материалов для 3D-печати (металлические порошки и сплавы, пластики и композиты, фотополимерные смолы, керамика и другие материалы, программное обеспечение для 3D-оборудования, комплектующие и аксессуары) и услуг в сфере аддитивного производства (3D-моделирование и 3D-сканирование, услуги 3D-печати на заказ, серийная 3D-пе-

чать промышленных изделий, быстрое прототипирование, реверс-инжиниринг, постобработка деталей, испытания и тестирование).

Также в рамках деловой программы ежегодно проводится знаковое мероприятие отрасли — трехдневный **форум аддитивных технологий**. Отличительной чертой форума является акцент на практическом применении аддитивных технологий и обсуждение реальных примеров из производства. Каждый день форума посвящен отдельной тематике (день технологий, день машиностроения, день медицины) и включает в себя несколько сессий с участием ведущих компаний-разработчиков, представителей заводов, университетов, государственных институтов и конечных заказчиков. Более подробное расписание форума будет опубликовано ближе к выставке.

Являясь единственной специализированной выставкой 3D-технологий в России, 3D-TECH by Rosmould примечательна еще и тем, что она является частью эффективной выставочной платформы Rosmould | Rosplast | 3D-TECH, которая воплощает в себе полную производственную цепочку **от идеи до готового изделия**. Такой комплексный подход дает ряд уникальных возможностей: всего за три дня на одной площадке специалисты смогут ознакомиться как с инновационными решениями в области 3D-печати и аддитивных технологий, так и с традиционными методами производства в области дизайна и проектирования изделий, изготовления технологической оснастки, современного оборудования и материалов для производства изделий из пластмасс; найти новых поставщиков и деловых партнеров под текущие и новые проекты и закрыть широкий спектр текущих производственных задач как минимум на год вперед.

Стремительное развитие выставки 3D-TECH by Rosmould говорит о высокой востребованности данного мероприятия в производственной сфере и его эффективности как главного связующего звена между производителями, поставщиками и пользователями аддитивных технологий.

Подготовьтесь к посещению 3D-TECH by Rosmould уже сейчас — зарегистрируйтесь на выставку на сайте <http://www.3dtech-expo.ru> и получите бесплатный билет по промокоду RM25-HRWY.

Польза от напечатанных котиков



*Как разработать у подрастающего поколения
аддитивное мышление:
«Дом занимательной науки и техники»
показывает на пальцах*

Оказывается, самая главная проблема аддитивного рынка России сегодня — совсем не отсутствие материалов для печати или недостаточное количество 3D-принтеров, и даже не вопрос финансирования для обратного проектирования деталей, а недостаток квалифицированных кадров. Мало в этой сфере людей с аддитивным, креативным мышлением, настроенных на творение и разработку такого, что пару сотен лет назад не снилось бы даже самому опытному инженеру.

Это осознание два года назад, во время московского лидер-форума, сподвигло Дмитрия Иванова и его команду выйти с инициативой подумать, пометчать, связаться с неравнодушными коллегами по цеху со всей страны и получить поддержку в виде экспонатов от многих ведущих компаний России.

И с тех пор родился и успешно работает проект «Удивительный мир 3D-печати». Это выставка-эксперимент, полная всяких чудес из мира аддитивных технологий, вызывающая у посетителей горящее желание и зуд в руках что-нибудь создать с помощью наглядно показанных способов печати из различных

материалов — от титана и керамики до углепластика и строительного бетона. Всего на выставке представлены 21 технология и более 40 различных материалов, которые используются в ракетах и спутниках, машинах и механизмах, приносят новую жизнь телу человека, помогают пчелам и домашним животным.

Проект «Удивительный мир 3D-печати» тесно связан с двумя другими, родом из Казани: «Домом занимательной науки и техники» и центром высоких технологий «АЛГА». «ДЗНиТ» — не музей, а именно дом, в котором представлены уникальные технические экспонаты, настоящие самолеты и космические аппараты. Они не закрыты стеклом, их можно и нужно потрогать руками, повертеть, понюхать, разве что не лизнуть.

Этот метод доверия пробуждает в посетителях — особенно в посетителях юного возраста — интерес к наукам, к исследованиям, к приборам, ко всему, что тикает, тархтит и трезвонит. Именно этим методом сияет выставка «Удивительный мир 3D-печати»: здесь и поражающие своей уникальностью образцы мастерской





печати, единственные в своем роде в нашей стране, и теоретически невозможные геометрические фигуры, и 3D-распечатанные котик из приятно хрустящего свежесделанного пластика, и настоящий принтер, в реальном времени показывающий сам процесс печати — у посетителей загораются глаза, начинают бегать мысли, просыпается оно самое — аддитивное мышление!

Восторженных посетителей этой выставки в Казани оказалось много — более 70 000 гостей со всех краев России: от Калининграда до Южно-Сахалинска. С сентября по декабрь 2024 года с помощью грантовой программы «Энергия добра» благотворительного фонда «Татнефть» дзниковцы смогли показать выездную выставку еще и на площадке Высшей школы нефти в городе Альметьевске. За это время ее успели посетить около семи тысяч школьников, студентов, взрослых, детсадовцев, инженеров и ученых, которые смогли прикоснуться к удивительному аддитивному миру.

И команда «ДЗНиТ» не собирается оставить этот подарок всего лишь нашей любимой Республике Татарстан; мы хотели бы показать ее всей стране и все-

му миру. Поэтому мы вновь обращаемся за помощью к нашим промышленным и академическим партнерам: эксперимент проходит успешно, нашу первую в мире аддитивную выставку для детей и взрослых надо постоянно пополнять и расширять, привозить ее в большие и малые города нашей Родины, выступать с интересными лекциями и рассказами о том, как и кто именно создает новые материалы и необычные применения для технологий печати.

Ведь все-таки аддитивное мышление нужно всем, всей промышленности нашей страны. И пока будут появляться новые технологии, новые материалы, выставка будет только расти, и мы с пылу с жару, как горячие пирожки, в первую очередь будем показывать их подрастающему поколению. Из этих ребят скоро вырастут новые ученые, инженеры и рабочие, которые, столкнувшись с задачей, будут знать, что есть такой интереснейший инструмент, дающий возможность создать любую деталь устройства, самолета, машины или ракеты, стоит только ее правильно придумать и распечатать. Такая вот польза, однако, от напечатанных котиков! ■

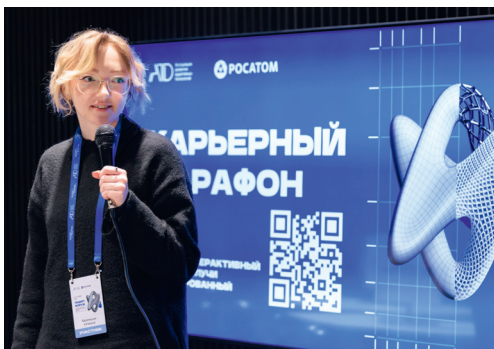
Дмитрий Иванов, Мария Иванова



ЛИДЕР-ФОРУМ

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ —
РЕАЛЬНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЛИДЕРСТВА

12-13 НОЯБРЯ 2024



«**Технологии** — движущая сила прогресса с первых шагов становления промышленности. Каждое новое поколение технологий расширяло границы возможного. Человечество прошло путь от ручного труда и простых механизмов до искусственного интеллекта и высоких технологий, которые проникли во все сферы жизни. 3D-принтеры становятся рабочими инструментами медиков, строителей, учителей, инженеров.

- ✓ Промышленность больше не будет прежней, мы стоим на пороге новой эры. Производство стало быстрее, точнее, эффективнее. Аддитивные технологии позволяют реализовать любые идеи.
- ✓ В строительстве 3D-технологии прокладывают путь к городам будущего, где формы и структуры выходят за пределы воображения.
- ✓ В конструкциях авиадвигателей уже используются элементы с применением аддитивных технологий.
- ✓ И даже на МКС уже печатают на 3D-принтере.
- ✓ Теперь технологии помогают спасать и возвращать людям возможность полноценно жить после тяжелых испытаний. Медицина развивается, позволяя врачам творить чудеса.

Новое поколение уже мыслит аддитивно.

Лидер-форум — место, где мы создаем новую реальность для будущих профессионалов сегодня».

*Ольга Оспенникова, исполнительный директор
Ассоциации развития аддитивных технологий*

*Ассоциация развития аддитивных
технологий при поддержке
Госкорпорации «Росатом»
и Правительства Москвы*



Лидер-форум-2024

12–13 ноября 2024 года на ВДНХ в павильоне «Атом» прошел VI «Лидер-форум. Аддитивные технологии — реальность технологического лидерства» — ключевое мероприятие в области 3D-печати. Его организаторами выступили Ассоциация развития аддитивных технологий и Госкорпорация «Росатом» при поддержке Корпорации развития Зеленограда.

Событие стало самым масштабным за шестилетнюю историю его проведения: свыше 2000 слушателей, 120 компаний, 68 спикеров, в числе которых представители Минпромторга России, Госкорпораций «Росатом» и «Ростех». Аудиторию слушателей значительно расширила всероссийская онлайн-трансляция (доступна для просмотра <https://vkvideo.ru/@leaderforum>).

Участники «Лидер-форума» обсудили состояние и динамику развития рынка аддитивных технологий (АТ), рассмотрели тенденции развития этого инновационного направления, подчеркнули его роль в программах импортозамещения и обеспечения технологического суверенитета страны, отметили достижения и новые возможности применения АТ, акцентировали внимание на барьерах, которые надо преодолеть для устойчивого роста, в специальных сессиях обсудили сферы применения АТ, среди которых машиностроение, ТЭК, строительство, медицина, аэрокосмическая отрасль и другие. Также специальная сессия была посвящена вопросам нормативного регулирования отрасли.

Как отметил Илья Кавелашвили, директор бизнес-направления «Аддитивные технологии» Топливного дивизиона «Росатома», аддитивные технологии играют важную роль для ускоренного развития промышленности России: «Сократить время научно-исследовательских и конструкторских работ, в минимальный срок изготовить сложные детали, избежать экономических издержек из-за простоя технологического обо-

рудования — все это возможно благодаря 3D-печати». Также он подчеркнул, что для технологического рывка критически важно внедрять промышленную 3D-печать повсеместно.

Второй день форума был полностью посвящен научным разработкам и молодежным проектам. Хакатон «Ночь технологий» по 3D-печати собрал 10 студенческих команд, которые за 12 часов прошли путь от идеи до разработки проектов с применением (АТ) и защитили свой проект перед жюри, председателем которого выступил директор департамента поддержки новых бизнесов «Росатома» Дмитрий Байдаров.

Победителем стала команда из МГТУ им. Баумана. Ребята получили сертификат на стажировку в волгоградскую компанию «Стереотек». На втором месте — СПбПУ, студенты отправятся на экскурсию в Центр аддитивных технологий «Росатома». На третьем — Московский Политех, ребятам вручили мерч «Ростеха».

Также в программе второго дня состоялись обсуждения вопросов сотрудничества бизнеса и академического сообщества, подготовки кадров, развития экспертизы в аддитивных технологиях, прошли мастер-класс по 3D-печати, карьерный марафон «Работа в аддитиве». 215 человек участвовали в карьерном марафоне, 400 — прошли аддитивный квест.

В выставочной экспозиции форума на площади 500 квадратных метров 27 компаний продемонстрировали 160 экспонатов. Были показаны: отечественные 3D-принтеры, напечатанные для различных отраслей изделия, инновационные материалы и даже научно-исследовательская платформа по созданию персонализированных костных и хрящевых тканей.

В ходе «Лидер-форума» были подписаны семь соглашений и анонсирована первая всероссийская премия в области аддитивных технологий.

Фото: АРАТ





Аддитивные технологии для достижения технологического лидерства

Представленная в рамках «Лидер-форума» программа настолько многогранна, что всю полученную информацию трудно осмыслить сразу. Панельные дискуссии, заседания, стендовые доклады, конкурс студенческих команд, выставка изделий и оборудования для 3D-печати – все эти ее составляющие направлены на освещение лучших достижений отрасли, подведение итогов прошедшего года, выработку решений для развития рынка аддитивных технологий, эффективное общение специалистов. И, конечно, тон к любому форуму задает пленарное заседание.

В этом году ключевыми вопросами, предложенными к дискуссии на пленарном заседании, стали: текущая ситуация на отечественном рынке аддитивных технологий, ключевые направления развития отрасли и барьеры к достижению высоких результатов, обеспечение суверенитета в области оборудования и программного обеспечения, меры государственной поддержки, стимулы для эффективной деятельности предприятий, возможности международного сотрудничества.

Модерировала пленарное заседание журналист, ведущая телеканалов «Мир» и «Мир-24» **Гузель Камаева**.

Аддитивные технологии: задачи и барьеры

Открыл пленарное заседание **Кирилл Комаров, первый заместитель генерального директора блока по развитию международного бизнеса Госкорпорации «Росатом»**. Он начал выступление с нескольких тезисов, актуальных для развития рос-



сийского рынка аддитивных технологий.

Во-первых, в текущих условиях для экономики страны критически важно повысить эффективность производства и производительность труда. Нужно производить все больше продукции, людей для этого очевидно не хватает, значит, нужно искать иные способы производить даже привычные продукты, не говоря уже о продуктах инновационных. Одна из технологий для решения задачи – повсеместное внедрение так называемого умного производства. Для того чтобы оно приносило результаты, нужны люди с современным инженерным мышлением, которые понимают, что у любой задачи есть много путей решения. Чтобы обеспечить максимальную эффективность, надо искать именно кратчайший путь. Аддитивные технологии – не просто технологии будущего, это решение, которое позволяет повысить эффективность, скорость и задействовать меньшее количество людей.

Благодаря аддитивным технологиям до 90% могут быть снижены издержки производства, в два раза уменьшены затраты, сокращаются загрязнения благодаря отсутствию вредных веществ в производстве, до 75% ускоряется вывод продуктов на рынок. Аддитивные технологии в России уже достигли определенной зрелости. По итогам 2023 года общий рынок превысил 12 миллиардов рублей.

Госкорпорацией «Росатом», на которую в рамках соглашения с правительством возложена общая координация в сфере аддитивных технологий, вместе со всем аддитивным сообществом обозначены на сегодняшний день контуры экосистемы в формате «Власть, госкомпания, наука, Ассоциация развития аддитивных технологий, независимые участники рынка», где все субъекты могут найти свое пространство.

Сегодня в качестве главного приоритета развития аддитивного сообщества Госкорпорация «Росатом» вместе с Минпромторгом видит формирование в первую очередь единой базы данных и свойств материалов аддитивных технологий, потому что именно это может дать большой толчок для всех, чтобы двигаться вперед.

В качестве примера синергии от сотрудничества можно назвать создание национальной сети центров аддитивных технологий (ЦАТОД) общего доступа — проекта, который запустили в «Росатоме» совместно с руководством регионов, ведущими вузами, системообразующими предприятиями. Сегодня открыто 4 таких ЦАТОД: в Ижевске, Красногорске Московской области, Томске, Белгороде, и появятся еще два: в Хабаровске и в Самаре.

Также была отмечена большая роль Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ) в консолидации участников рынка. Сегодня в ее состав входит уже 30 организаций.

На вопрос модератора о барьерах, сдерживающих развитие аддитивных технологий и аддитивной индустрии, Кирилл Комаров выделил три фактора. Первый — это консерватизм. Когда люди привыкли работать определенным образом, им очень трудно перестроиться. И это не просто консерватизм психологический, были инвестированы определенные деньги, созданы определенные производства. И сегодня, когда приходят современные инженеры и предлагают все производить аддитивным способом, непонятно, куда должно деться

все предыдущее. Поэтому необходимо находить прорывные решения, которые бы наглядно демонстрировали, насколько выгоднее производить то или иное изделие именно аддитивным образом, решаться на изменения и, конечно, просить о серьезной поддержке государство, потому что без его поддержки технологический уклад не поменять.

Второй главный барьер — это нехватка квалифицированных кадров. Количество специалистов, понимающих, что такое аддитивные технологии, умеющих применять эти решения в своих разработках, далеко от задуманных идеалов.

И кроме того, важным барьером является несовершенная нормативная база. Ситуация потихоньку меняется, сегодня в России уже действует более 50 стандартов в области аддитивных технологий. Более 28 из них разработаны в корпорации и стали сегодня общенациональными стандартами. Но это недостаточное количество для того, чтобы сделать аддитивные технологии нормой нашей жизни.

Республика Беларусь заинтересована в развитии аддитивных технологий

Виктор Михайлович Каранкевич, заместитель премьер-министра Республики Беларусь, присоединился к пленарной сессии по ВКС. Он отметил высокую роль таких площадок, как «Лидер-форум», для обмена мнениями и поддержания профессионального многостороннего диалога и рассказал участникам заседания, что Республика Беларусь уделяет значительное внимание развитию и внедрению аддитивных технологий в различных отраслях экономики, начиная с промышленности и заканчивая медициной. Данная работа ведется белорусской стороной со стратегическим партнером Госкорпорацией «Росатом», и это одно из перспективных инновационных направлений для взаимовыгодного сотрудничества.



В дополнение к выступлению коллеги **Сергей Шлычков, председатель Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь**, дал подробный экскурс по этапам развития аддитивных технологий в стране.

Он отметил, что практическое освоение аддитивных технологий в Белоруссии, как и во всем мире, началось в 80-е годы. Пионером этого направления в республике стала кафедра технологии машиностроения Витебского государственного технологического университета. С 1992 года аддитивные технологии начали разрабатываться в Витебском отделении Института физики твердого тела и полупроводников. Тогда наряду с лазерными и порошковыми технологиями послойного синтеза также изучались технологии послойного синтеза, основанные на процессах фотополимеризации, в частности, разрабатывались различные варианты масочной проекционной стереолитографии. В начале 2000-х в Полоцком государственном университете началась разработка концептуальных принципов организации интеллектуальных производств на основе использования аддитивных технологий. В ГНПО порошковой металлургии Национальной академии наук Беларуси (НАН Беларуси) была создана экспериментальная установка для получения изделий из порошковых материалов, над которыми был выполнен цикл исследований процессов аддитивного построения.

Важным показателем уровня развития аддитивных технологий являются масштабы их освоения в промышленной сфере. В настоящее время имеется не один десяток белорусских производственных предприятий, которые применяют аддитивные технологии в основном для задач быстрого прототипирования. Среди них и ведущее предприятие по производству бытовой техники «Атлант», которое активно осуществляет 3D-печать из пластика начиная с 1993 года. Изготавливаются изделия сложной формы, штампы для литья пластмассы в интересах машиностроения, сложнопрофильные изделия для медицины, а также изделия специального назначения.

Важным элементом аддитивных технологий является сырье. В институте порошковой металлургии НАН методом вакуумной индукционной плавки и распыления расплава инертных газов производятся порошки сферической формы не только стандартных материалов, это никелевый суперсплав стали 316 или 304, но и сложнотермостойкие порошки, используемые в качестве одного из компонентов при получении высокотемпературных радиопоглощающих материалов. Проводится работа по получению сферических порошков алюминия и сплавов на его основе. Имеются наработки по получению перспективных порошковых материалов, жаропрочных сплавов на основе кобальта.

Группой специалистов НАН Беларуси разработана технология постобработки, которая решает проблемы

по снятию напряжения, уменьшению пористости и увеличению пластичности готовых изделий.

Институтом прикладной физики НАН выпускаются 3D-принтеры для FDM-печати по заказам предприятий с требуемыми габаритами рабочей зоны и высокой производительностью. Есть и другие проекты производства 3D-принтеров.

Наличие отечественного оборудования и филаментов позволяет создавать крупногабаритные изделия из полимерных материалов. Широкое применение в стране получили аддитивные технологии в сфере медицины. В детской хирургии разработан и внедрен метод хирургического лечения врожденных пороков сердца у пациентов детского возраста с использованием технологии 3D-печати. Учеными РНПЦ травматологии и ортопедии для практического использования предложен метод предоперационного моделирования с применением технологий 3D-проектирования и прототипирования при планировании хирургического лечения пациентов с повреждениями и врожденными деформациями позвоночника. В РНПЦ кардиологии проводятся работы по разработке методов хирургического лечения пациентов с обструктивными заболеваниями левого желудочка с использованием напечатанных на 3D-принтере моделей межжелудочковой перегородки сердца. Учеными академии наук разработан и внедрен метод 3D-печати деталей из слоистых и ячеистых материалов для малогабаритных насосов, к числу которых относятся кардионасосы вспомогательного кровообращения.

Большое внимание в стране также уделяется подготовке кадров в области аддитивных технологий. В Витебском государственном университете ведется подготовка студентов по специальности «Производство изделий на основе трехмерных технологий», в рамках которой изучается 3D-печать. Есть и другие вузы, которые готовят специалистов в области 3D-печати.

Совместно с Госкорпорацией «Росатом» в настоящее время ведется работа по созданию Республиканского центра аддитивных технологий общего доступа. Центр будет заниматься разработкой новых методов, материалов для 3D-печати, проведением исследований и обучением специалистов для различных отраслей промышленности.

Аддитивные технологии для ответственных отраслей

Михаил Бакрадзе, заместитель генерального директора, руководитель приоритетного технологического направления «Технологии двигателестроения» АО «ОДК», в своем выступлении сразу подчеркнул, что именно в таких отраслях, как авиастроение, ракетостроение, двигателестроение, атомная промышленность, аддитивные технологии имеют самый большой эффект от внедрения. Именно они являлись



порядка 15 лет назад драйвером роста и развития аддитивных технологий в нашей стране. Детали для наукоемкой техники имеют крайне сложную форму, различные полости, каналы охлаждения, изготавливаются из суперсплавов, испытывают определенные циклические нагрузки, воздействие высоких

температур, различных агрессивных средств. Появление аддитивных технологий дает возможность агрегации деталей, топологической оптимизации, позволяет совершенно иначе посмотреть на конструирование, то есть дает совершенно новый уровень развития. Но при этом эти отрасли крайне консервативны, и, наверное, не только потому, что у нас все построено и заводы работают на технологиях XX века, но и потому, что производства этих отраслей крайне ответственные.

При этом, конечно, надо понимать, что сегодня в нашей стране действуют различные федеральные нормы и правила, которые были созданы еще для традиционных технологий. И это главный барьер для внедрения аддитивных технологий. Если придерживаться текущей нормативной документации, то серийное производство и внедрение аддитивных технологий будут надолго затягиваться. Необходимо создать нормативную базу, с помощью которой можно будет ускоренными темпами решать вопросы об аттестации, сертификации деталей аддитивного производства, внедрения их в технику — уже не в опытные изделия, не на этапе реализации НИОКР, а в серийное производство.

Второй барьер, существовавший до недавнего времени, — это отсутствие отечественного оборудования для аддитивного производства. Однако сегодня очень активно идет развитие сферы производства отечественных 3D-принтеров, появляются новые производители в этой области, государство активно субсидирует разработку отечественного оборудования. Например, в ОДК сегодня активно реализуется дорожная карта с Госкорпорацией «Росатом» по внедрению отечественного оборудования.

И третий барьер, как было ранее сказано, это подготовка кадров.

Новая индустриальная модель для «Роскосмоса»

Евгений Рахмилевич, исполняющий обязанности директора Департамента координации производства предприятий и верификации Госкорпорации «Роскосмос», рассказал, как аддитивные технологии вписываются в концепцию отрасли.

Сейчас перед Госкорпорацией «Роскосмос» ставятся крупномасштабные задачи по созданию серийного



производства космических аппаратов, нового поколения ракетно-космической техники: российская орбитальная станция, ядерный буксир, лунная база, ракетоноситель сверхтяжелого класса, ракетоноситель многоразового применения. Здесь имеют большое значение массогабаритные показатели. Критичным является снижение массы, так как она влияет на стоимость вывода полезной нагрузки; обеспечение надежности; сокращение количества деталей в применяемых узлах; снижение количества сварных швов и паяных соединений; получение деталей сложной конфигурации за одну технологическую операцию. Эти эксплуатационные факторы связаны с экстремальными значениями температур, термоциклическими нагрузками, агрессивными средами. Реализация таких проектов мирового уровня невозможна без применения новых технологий. И здесь, конечно, аддитивные технологии являются стратегическим направлением технологического развития.

В рамках Госкорпорации «Роскосмос» реализуется проект по созданию новой индустриальной модели, где центральным звеном является система обеспечения технологического лидерства. В рамках нее ведется комплекс взаимосвязанных работ по созданию унифицированных технологических решений сквозного цикла, включая материаловедение (разработка новых материалов, сочетаний, материалов, аттестация порошков и их изготовления), отработку технологий, разработку специального технологического оборудования и внедрение этих технологий в производство, формирование научно-технического задела по технологиям использования аддитивных технологий в космическом пространстве. И уже есть результаты по конкретным изделиям: это шар-баллоны высокого давления, основные узлы жидкостных ракетных двигателей, крепежные и корпусные конструкции космических аппаратов. По сути, речь идет не просто о внедрении технологий, а о перепроектировании изделий на новых принципах.

Самые важные результаты, которых достигли за несколько лет, — это создание культуры внедрения аддитивных технологий, когда на стадии технического проекта уже закладываются требования по формированию конфигурации производства с использованием аддитивных технологий. Также сформированы определенные компетенции и коллективы людей, которые нацелены на развитие аддитивных технологий. Они находятся под контролем Госкорпорации «Роскосмос», под контролем генерального директора каждого из предприятий. Соответственно появилась достаточно

большая мобильность не с точки зрения контроля выполнения требований, а с точки зрения коммуникаций внутри отрасли.

Отвечая на вопрос модератора об основных акцентах при внедрении АТ и подготовке кадров, Георгий Рахмилевич отметил, что в первую очередь при внедрении аддитивных технологий делается акцент на уровень готовности и обеспечение технологического суверенитета. Важно не просто внедрять отдельные единицы оборудования, нужно обеспечивать полный комплекс работ: перепроектирование изделия, внедрение оборудования с отработкой режимов и поставку этого оборудования, обеспечение комплектующими, ремкомплектами и всем остальным, подготовку кадров, техническое обслуживание. Для этого в рамках «Роскосмоса» создан отраслевой центр компетенции на базе головного научно-исследовательского института по материаловедению АО «Композит», который осуществляет координацию комплекса работ с предприятиями. Наличие такой площадки, которая готова интегрировать решения под ключ, позволяет снизить и некоторые риски по дефициту кадров.

Следующий уровень решений, который предпринимается для обеспечения кадрами, — это специализированные программы обучения, которые организованы на базе АО «Композит» и корпоративной академии «Роскосмоса». Кроме того, проводится работа с вузами. На базе МГТУ им. Н.Э. Баумана создана Передовая инженерная школа по системному инжинирингу ракетно-космической промышленности. Там запускается комплекс научно-исследовательских работ студентов по проблематике предприятий. Соответственно, на ранних стадиях получается и отработка заделов, и формирование команд, которые в последующем придут на предприятия и будут работать уже над внедрением, над практическим использованием этих технологий.

В перспективе предполагается развитие и тиражирование компетенций, особенно в технологиях, связанных с крупногабаритными сложно-профильными конструкциями (1,5×4 м).

Комплексные инструменты поддержки аддитивной отрасли



Андрей Клепач, главный экономист, заместитель председателя госкорпорации «ВЭБ.РФ», председатель Наблюдательного совета АРАТ, по просьбе модератора рассказал об инструментах поддержки аддитивной отрасли от крупнейшего финансового института.

Докладчик отметил, что проекты в отрасли разные и компании тоже абсолютно разные. Например, есть ОДК, у которой очень крупные проекты, которая действительно является одним из лидеров в применении аддитивных технологий, и есть небольшие компании, например «Моторика», и другие, изготавливающие протезы. Если говорить о «ВЭБе», он работает с крупными проектами от 500 миллионов, за миллиард и выше. В то же время в рамках группы «ВЭБ» есть Фонд развития промышленности, который предоставляет займы от пяти миллионов до пяти миллиардов под 1–5%. При этом ВЭБ здесь действует не только через Фонд развития промышленности, но предоставляет поручительства, гарантии банкам, которые вместе с фондом финансируют и кредитуют те или иные проекты. Также есть инновационный венчурный блок в «Сколково». Некоторые компании являются резидентами «Сколково», соответственно, получают льготы по страховым и другим выплатам. Сейчас создан и начинает свою работу инвестиционный фонд Skolkovo Capital, в который «ВЭБ» планирует инвестировать порядка 25 миллиардов рублей. Другие банки тоже рассматривают такую возможность. И это, по сути, фонд для поддержки венчурных проектов и их масштабирования. Кроме того, наряду с «ВЭБ.РФ» существует проект по развитию станкостроения и робототехники, где есть направление, связанное с аддитивными технологиями. В бюджет в целом заложены средства: на 2025 г. — более 50 млрд руб., на 2026 г. — почти 90 млрд руб., на 2027 г. — около 100 млрд руб. То есть инструменты поддержки имеются.

Комментируя вопрос о барьерах и направлениях развития отрасли, Андрей Клепач поддержал предыдущих докладчиков, отметив, что должна продолжаться работа по разработке стандартов, перестройке культуры инжиниринга, подготовке профессиональных кадров, созданию реестра ключевых технологических решений.

Главная задача — достигать сетевых эффектов



Дмитрий Песков, специальный представитель президента РФ по вопросам цифрового и технологического развития, генеральный директор АНО «Платформа НТИ», по предложению модератора постарался заглянуть в будущее, причем выразил уверенность, что темпы

развития отрасли затрудняют прогнозирование даже на ближайшие 5 лет. Например, производство дронов за год выросло примерно в 1000 раз. Это самая быстрорастущая отрасль в мире сегодня и по темпам развития

производства, и темпам внедрения технологических инноваций, и по сценариям применения. Роль аддитивных технологий в этом гигантская. И стыки технологий очень важно учитывать, иначе все расчеты окажутся нерелевантными.

Что самое главное, по мнению докладчика, в аддитивном производстве? Аддитивное производство позволяет в обычной жизни достигать так называемых сетевых эффектов. Сетевые эффекты — это то, на чем строится основной рост капитализации современных компаний в мире, у которых есть ИТ-составляющая. Но теперь, когда Facebook, Google и другие корпорации стали технологическими, это достижение будет распространяться и на технологическую область. В ближайшем будущем ситуация будет меняться радикально. Если говорить про 2030 год, очевидно, что данные корпорации станут конкурентами «Росатом» на мировом рынке.

Что отличает подход данных корпораций от того, привычного нам? Что нужно поменять, чтобы не проиграть конкуренцию? Очень просто: они делают ставку на создание продуктов, а мы на технологии. Когда речь идет только про технологии, то очень удобно медленно развиваться: создал ассоциацию, разработал набор стандартов, собрал комиссию, обсуждаешь способы подготовки кадров, повышение культуры производства. А когда речь про продукты, то вопрос к ОДК и «Роскосмосу»: «Когда будет Raptor 3 или его аналог у нас, кто его сделает?»

В 2024 году произошло изменение парадигмы аддитивного производства в мире. Создан двигатель, который с точки зрения подхода меняет не только ракетостроение и космос, но и всю транспортную отрасль в мире, включая производство самолетов, автомобилей и другого. Вопрос: «В каких документах, в каких планах, кто и когда сможет этот вызов принять»? Это продукт, он понятный, у него есть характеристики, которые недостижимы обычным образом, в нем заложен радикальный отказ от целого ряда подходов, например, от ремонтпригодности. Ставка делается на цену и масштабирование, то, что позволяет получить сетевой эффект. И этот вызов надо принимать для того, чтобы иметь передовую отрасль.

Что самое страшное? Нишевое мышление. Если рассуждать про 3D-принтеры как место для производства уникальных изделий, место для запчастей и искать ниши для взрывного роста, технологического лидерства не будет. Где оно возникает? Когда аддитивка становится основой производственного цикла и на 3D-принтере делается всё.

По осторожному предположению Дмитрия Пескова, ближайшие лет пять мы будем барахтаться в понимании этого, а потом быстро поедим. Его оптимизм подтверждается результатами в сфере производства дронов. Самые передовые в мире площадки производства дронов с точки зрения подходов работают сейчас

в России. Что помогло перестроиться? Большая цель и отсутствие запретительных стандартов.

Двигаться можно быстрее, если целиться в продукты, проявлять амбиции, понимая, что 3D-принтинг — это не игрушки и не запчасти, а основа нового производственного цикла и новой экономики.

В споре рождается истина

Вокруг выступления Дмитрия Пескова развернулась целая дискуссия.

Кирилл Комаров выразил согласие с тем, что мы сейчас живем в такое время, когда есть не только те основания, что мотивируют нас впереди, но и те, что подталкивают сзади. Если в этих условиях мы не сможем сконцентрироваться и выдать результат, это будет, по меньшей мере, странно, потому что более комфортные и льготные обстоятельства когда-либо вряд ли будут предоставлены.

Андрей Клепач как человек, по его словам, более консервативный, опираясь на собственный опыт, выразил недоверие, что может быть быстро, дешево и хорошо одновременно, особенно в ответственных отраслях. К тому же есть конкурентноспособные и даже уникальные разработки в рамках традиционного подхода. Но и он не мог не согласиться, что нужны смелые, принципиально новые решения, и они должны быть профессиональными, опираться на очень серьезные знания.

Михаил Бакрадзе выразил поддержку мнению Дмитрия Пескова и отметил, что если не будет прорывных задач и предложенного подхода, все будет очень консервативно, долго и тяжело идти.



Анатолий Тулаев, соучредитель и руководитель по развитию компании «Стереотек», в свою очередь в рамках дискуссии обратил внимание на две цифры: 40 тысяч 3D-принтеров, выпущенных по самым оптимистичным прогнозам в России за год, и 1 миллион 200 тысяч 3D-принтеров, выпущенных за это же время одной китайской компанией, и предложил коллегам задуматься, какими инструментами можно воспользоваться, чтобы прийти к такому показателю.

Молодежная программа

Анатолий Тулаев также анонсировал молодежную программу «Ночь технологий». Компания «Стереотек» активно участвует в подготовке этого важного мероприятия в рамках «Лидер-форума».

Продолжая разговор о сетевом развитии, он отметил, что ключевое событие «Ночи технологий» этого года — это 3D-печать детали в Москве и во Владивостоке одновременно по модели, отправленной через центр управления печатью. Эта чудесная материализация, которая демонстрирует, как решается проблема отсутствия логистических затрат, и технология действительно становится важным инструментом для достижения технологического суверенитета страны.



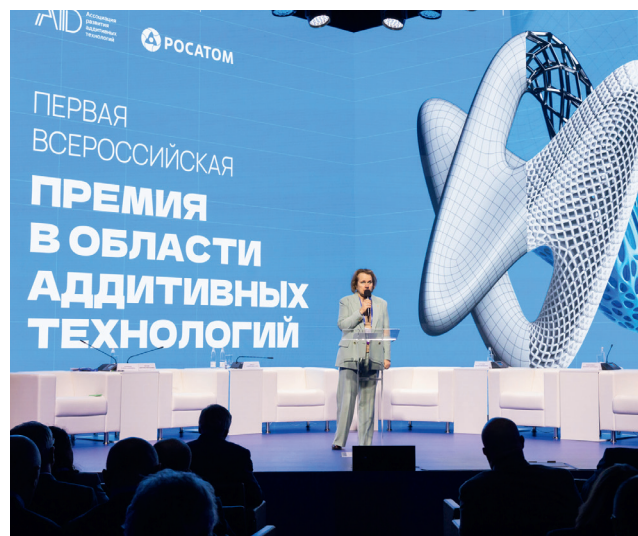
Слово было предоставлено и представителям молодежных команд. **Дмитрий Казанник — студент Томского политеха**, участник команды-победителя прошлого года, рассказал, что «Ночь технологий» дала его команде возможность принять вызов, решить реальную проблему завода, познакомиться со студентами из различных вузов страны. А среди планов на ближайший вечер отметил желания вспомнить эмоции, вывести новую технологию в жизнь и победить. **Ника Латынина, инженер технологического отдела аддитивных технологий ИЛИСТ СПбГМТУ, представитель нового поколения инженеров**, отметила, что участие в таких конкурсах перестраивает мышление на аддитивный лад даже при наличии традиционного бэкграунда.

Пленарное заседание задало тон и другим многочисленным полезным и увлекательным дискуссиям.

Татьяна Карпова

Видео-запись пленарного заседания представлена на странице «Лидер-форума» в «VK видео»:
<https://vk.com/video/@leaderforum>

Использованы фотографии АРАТ



Премия для лидеров, формирующих будущее

Исполнительный директор Ассоциации развития аддитивных технологий Ольга Оспенникова от лица АРАТ объявила об учреждении Всероссийской премии в области аддитивных технологий. Эта премия будет способствовать не только признанию результатов, но и выявлению молодых лидеров и коллективов, которые создают инновационные прорывные решения в области аддитивных технологий. Премия будет направлена на поддержку ключевых проектов в области аддитивных технологий, повышение уровня информированности среди широкой аудитории, развитие новых направлений, стимулирование внедрения аддитивных технологий.

Предложенные номинации:

- Проект года.
- Лучший проект года в сфере автомобильной промышленности.
- Лучший проект года в сфере авиации и космоса.
- Лучший проект года в сфере нефтегазового машиностроения.
- Лучший проект года в атомной промышленности.
- Лучший проект года в сфере строительства.
- Лучший проект года в сфере искусства и дизайна.
- Молодой аддитивный эксперт года.
- Открытие года.

Информация о сроках подачи заявок будет представлена на сайте Ассоциации развития аддитивных технологий <https://aatd.ru/>.

Аддитивная трансформация строительной отрасли: ожидание и реальность



Фото: АРАТ

Аддитивные технологии в современном мире развиваются высокими темпами, позволяя добиться целого ряда преимуществ, в том числе повышения производительности труда, сокращения времени производственного цикла и создания новых сложных изделий, выпуск которых ранее был невозможен из-за ограниченности технологических возможностей. Строительная отрасль не является исключением.

С 12 по 13 ноября 2024 года в Москве состоялся «Лидер-форум. Аддитивные технологии — реальность технологического лидерства», на котором прошла сессия, посвященная использованию аддитивных технологий в строительстве. В ее рамках ведущие представители экспертного сообщества поделились мнениями о готовности строительной отрасли к существенным переменам. Модератором сессии выступил Алексей Адамцевич, директор НИИ СМиТ Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), председатель ПК 7 «Применение аддитивных технологий, робототехники и беспилотных авиационных систем в строительстве» ТК 400.

Участники сессии сразу отметили, что 2024 год является юбилейным для аддитивных технологий в мировом строительстве: десять лет назад в Китае и США независимо друг от друга компаниями Winsun и Total Kustom впервые были напечатаны строительные объекты с помощью 3D-печати. Основываясь на мнении всех спикеров, которые принимали участие в сессии, был составлен список событий, изменивших отрасль российского аддитивного строительства. Первым таким событием стало создание первого серийного строительного 3D-принтера в 2015 году, это способствовало появлению рынка 3D-печати малых архитектурных форм в следующем, 2016 году. В 2017 году в России возникла мобильная 3D-печать и были построены первые два полевых объекта, а именно — офис в Ступино и жилой дом в Ярославле. В 2019 российская компания Apris Cor напечатала крупнейшее здание в мире в Объединенных Арабских Эмиратах, которое попало в Книгу рекордов Гиннеса. Следующим важным этапом стало вступление в действие трех национальных стандартов на материалы для аддитивного строительного производства в России в 2020 году. С 2023 года в России работают профессиональные курсы операторов строительных

3D-принтеров и профессиональная ассоциация аддитивного строительства. Кроме того, в 2023 году было напечатано первое здание за полярным кругом. Последними на сегодняшний день важными событиями в строительной отрасли аддитивных технологий стало вступление в силу изменений по 3D-печати несущих и ограждающих конструкций, а также прохождение первым 3D-объектом государственной экспертизы проектной документации.



Александр Маслов, генеральный директор компании АМТ, человек, который создал первый строительный 3D-принтер в России, вспомнил еще одну юбилейную дату. Двадцать лет назад, в 2004 году, профессор Университета Южной Калифорнии (США) Бехрох Хошневис первым в истории

попытался создать бетонную стену здания с помощью строительной 3D-печати по технологии Contour Crafting, аккумулировав мировой опыт 3D-печати. Что касается 2014 года, то он стал отправной точкой для практиков.

Александр Маслов высказал свое мнение о том, что тенденции развития строительной отрасли аддитивных технологий соответствуют его ожиданиям на 70%. Если десять лет назад при создании первых объектов вероятность использования аддитивных технологий в строительстве вызывала у людей улыбку, то сейчас это серьезная отрасль. Маслов сделал прогноз, что в ближайшем будущем в России должны появиться новые типы 3D-принтеров, которые сделают процесс 3D-печати проще и быстрее. Он отметил, что аддитивные технологии позволяют реализовать модели и объекты

строительства, созданные с помощью BIM-технологий, и рассказал о планах на практике привязать аддитивные технологии к BIM-моделям в совместном проекте с хабаровским Дальневосточным государственным университетом путей сообщения, в рамках которого будет разработана BIM-модель здания, реализованы процессы строительства и контроля, определена смета строительства.

Объявляя следующего докладчика, модератор отметил, что в России в сфере строительства можно выделить следующие основные вопросы, которые требуют решения: низкая производительность труда при постоянном росте потребности в объемах нового строительства, нехватка специалистов. Аддитивное строительство является идеальным способом решения проблем, поскольку позволяет идти по пути автоматизации — автоматизация только бетонных работ позволяет сразу получить весомый вклад в производительность труда. Однако есть определенные особенности. Напечатанные слоистые конструкции работают иначе, чем монолитные. Чтобы строить, как и прежде, надежно и долговечно, эти вопросы нужно изучать и учитывать в нормировании. И они решаются.



В своем докладе **начальник управления нормирования и стандартизации в строительстве ФАУ «ФЦС» Вячеслав Семенов** рассказал о том, что происходит в нормативном обеспечении строительной отрасли аддитивных технологий.

Докладчик упомянул о трех первых национальных стандартах, принятых в 2020 году, которые были разработаны на базе технологического комитета № 182 «Аддитивные технологии»: ГОСТ Р 59095-2020 — «Материалы для аддитивного строительного производства. Термины и определения»; ГОСТ 59096-2020 — «Материалы для аддитивного строительного производства. Методы испытаний»; ГОСТ 59096-2020 — «Материалы для аддитивного строительного производства. Технические требования». А также он остановился на новых стандартах, которые разрабатываются в рамках строительного комитета № 465 и будут регулировать требования к бетонным смесям, конструкциям и процессам их изготовления. Семенов отметил, что в последнее время по результатам НИР часто вносятся изменения в уже существующие нормативные документы. Например,

Рис. 1. Применение BIM-технологий в аддитивном строительстве. Из презентации Александр Маслова, компания AMT



в 2023 году изменения коснулись положения «Несущие и ограждающие конструкции», куда были внедрены положения по приемке конструкций, выполненных с применением аддитивных технологий, обновлены требования к качеству поверхности и внешнему виду монолитных бетонных и железобетонных конструкций, а также расширены применения конструкций, выполненных методом аддитивного производства. Докладчик рассказал о научно-исследовательских работах, касающихся 3D-печати, которые с 2021 года проводятся в таких вузах, как Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Московский государственный строительный университет и Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, и сообщил, что в 2025 году планируется разработка нового ГОСТа для отрасли. В конце своего выступления Вячеслав Семенов призвал представителей отрасли к сотрудничеству по вопросам создания системного свода правил и выразил уверенность в том, что с увеличением объема производства в строительной отрасли аддитивных технологий должна появиться системная база.



В свою очередь **Алексей Адамцевич** дополнил выступление коллеги, рассказав про исследование НИУ МГСУ, выполненное вместе с ФАУ «ФЦС», которое включало помимо прочего изучение строительного рынка 3D-печати и анализ созданных в разных странах мира объектов. Целью

было определение эффектов, которые положительно или отрицательно влияют на экономическую целесообразность применения данной технологии, если их сравнивать с традиционными технологиями строительства. Так, к положительным факторам относятся:

преобладание вертикальных элементов и конструкций, конструкции сложной геометрической формы, отсутствие потребности в арматурных и опалубочных работах, возведение группы объектов в одной локации. Негативными факторами являются: потребность в возведении горизонтальных несущих конструкций до завершения печати, сложные грунты основания, в том числе подверженные промерзанию и морозному пучению, высокий вклад изоляционных и отделочных работ в сметную стоимость, потребность в работе на площадке тяжелой строительной техники параллельно с принтерами. Идеальный проект с точки зрения экономической эффективности, по мнению Адамцевича, — это серия небольших одноэтажных зданий, помещающихся в рабочую зону одного принтера, с фасадами сложной формы и легкой кровлей, возводимых в теплом климате на плитном фундаменте без заглубления, не требующих утепления и отделки.



Представляя следующего спикера, модератор отметил, что этот удивительный человек разрывает все шаблоны. **Роман Павленко, основатель проекта 3D4Art**, в своем выступлении продемонстрировал участникам сессии проект печати самого большого здания в мире, который уже прошел государственную экспертизу.

В настоящее время в селе Мальбагуш в Республике Татарстан проходит завершающая стадия строительства общественно-культурного центра Мелля (рис. 2) размером 1600 м² по пятну застройки (40×40 м длина стен). Докладчик обратил внимание участников сессии на конструктивные особенности здания, среди которых монолитный железобетонный каркас, ограждающие конструкции из монолитного пенобетона в несъемной 3D-напечатанной опалубке, высота стен — 10 м, толщина 3D-печатных стен — 550 мм, железобетонные колонны, использование которых было отработано на НИОКР годом ранее. Объем 3D-печатных стен составил почти 1000 м³. Павленко подчеркнул,

что реализацию данного проекта усложнял климат Республики Татарстан, известной суровыми зимами, тогда как строительство с использованием 3D-печати чаще проходит в теплых условиях.

При строительстве здания 3D-печать выполнялась одновременно тремя строительными принтерами АМТ, два из которых были созданы специально для данного проекта. Было задействовано 24 площадки печати и использовано почти 500 тонн специализированной 3D-смеси 3D4Art с мискантусом. Докладчик отметил, что самые большие сложности при реализации проекта вызвали вопросы охраны труда и техники безопасности из-за сложности работ и большой высоты. Участники сессии подытожили, что данный проект является революцией в отрасли аддитивного строительного производства. И это не первый сложный проект Романа Павленко. Именно благодаря его усилиям за полярным кругом было возведено 3D-печатное здание для ПАО «Газпромнефть» в 2023 году.



Помимо строительной 3D-печати (3DCP) в чистом поле развивается и цеховое аддитивное производство. И первые объекты, возведенные в мире, печатались именно по префаб-технологии. По сути, это две параллельно развивающиеся ветки (рис. 3). По замечанию моде-

ратора, в цеховых условиях можно обеспечить лучшую воспроизводимость технических процессов, круглогодичную печать, можно производить элементы любой серии, любой сложности без опалубки. Сравнила эти два направления **генеральный директор компании «3D-строй» Светлана Шаяхметова**.

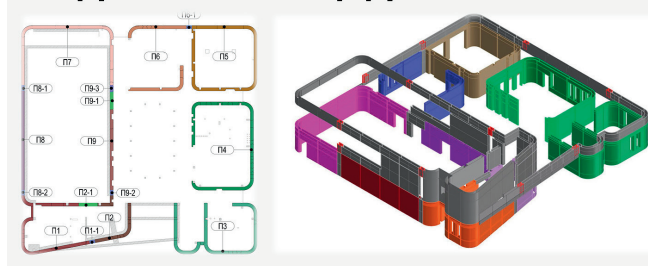
Она рассказала о том, что как коммерсант выбрала для себя индивидуальное жилищное строительство (рис. 4), поскольку в промышленной части в отрасли пока отсутствует стандартизация, что приводит к дополнительным сложностям.

В данный момент ее компания работает над строительством поселка на 3000 квадратных метров в Сочи.

Рис. 2. Общественно-культурный центр Мелля в Татарстане. Из презентации Романа Павленко, компания «3Д Арт»



Модель и площадки печати



И это сложные формы зданий, требующие точности, что обеспечивает печать в собственном цехе. Дополнительным преимуществом строительства в Сочи является возможность круглогодичных работ благодаря теплему климату. И здесь все складывается легче, чем в случае проекта, реализованного в Москве с помощью полевой печати.

В Москве в прошлом году постройка дома 10×14 метров, высотой 7 метров заняла три месяца без учета времени сборки принтера АМТ. Кроме сложных климатических условий для строительства другой проблемой, с которой столкнулась компания, стала нехватка квалифицированных специалистов для работы с оборудованием. Это связано с тем, что цеховому производству намного проще привлечь к себе кадры для продуктивной деятельности. Длительный же выезд бригады каждый раз на новый участок при полевом строительстве более проблематичен.

Еще два важных момента. Быстрая качественная цеховая печать позволяет исключить операцию внешней отделки. Кроме того, компании удалось в условиях цеха решить вопрос трещинообразования в бетонных конструкциях за счет того, что в свеженапечатанные конструкции через несколько часов заливается не пенобетон, а теплый полистиролбетон, у которого высокие демпфирующие свойства. И этот способ оказался особенно востребованным для строительства в сейсмически опасной зоне, к которой относится город Сочи. В ходе доклада также был показан процесс сборки 3D-дома из стеновых блоков (рис. 5)

Кроме того, в компании разработали проект для экономной застройки (по стоимости — порядка 2,5 млн за домокомплект). Постройка одноэтажного дома типа шале площадью 100 квадратных метров занимает 10 рабочих дней, соответственно, на постройку двухэтажного здания площадью 200 квадратных метров уходит 20 рабочих дней. Принтер печатает специальным модифицированным бетоном с фиброй. Заполнение — теплый полистирол-бетон марки D450. Конструктив зданий — монолитный

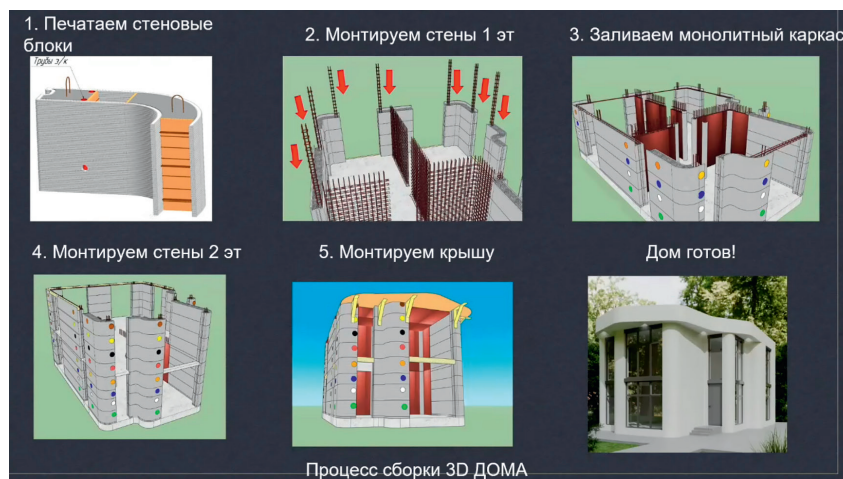
Рис. 3. Рыночные ниши 3D-печати. Из презентации Алексея Адамцевича, СМут НИУ МГСУ



Рис. 4. Галерея объектов компании «3D-строй». Из презентации Светланы Шаяхметовой, компания «3D-строй»



Рис. 5. Процесс сборки 3D-дома из стеновых блоков. Из презентации Светланы Шаяхметовой, компания «3D-строй»



каркас и монолитные перекрытия. Требования к цеху для производства: размер 20×10 м, электричество 15 кВт, 380 В.

В ближайших планах компании реализация договора с компанией «Самолет» о строительстве домов в 2025 году, проект производства домокомплектов на продажу, из которых любая бригада может начать собирать дома, сертификация технологии в Литве. В ходе проводимых работ был разработан собственный 3D-принтер.

Переходя к следующему выступлению, модератор привел данные опроса производителей сухих строительных смесей в России об изготовлении специализированных продуктов для строительной 3D-печати (рис. 6). По результатам можно сделать выводы, что рынок 3D-печати относительно небольшой, но очень быстро развивается: ежегодно показывает двукратный рост; за последние пять лет больше половины всех произведенных материалов для профессионального аддитивного строительного производства было выпущено одной компанией «Вефт» из города Королева. И ее представитель — следующий докладчик, понимая всю ответственность за развитие отрасли, создал и возглавил Ассоциацию профессионалов аддитивного строительства (АПАС).



Генеральный директор АПАС Алексей Гагулаев рассказал о том, что идея создания ассоциации назревала давно. Еще делались первые пробные попытки 3D-печати префабов и малых архитектурных форм силами энтузиастов, но уже присутствовало понимание главной задачи — 3D-печати больших

строительных объектов. А с этой задачей в одиночку не справиться.

Ассоциация была создана с целью разработки единого вектора развития аддитивных технологий в строительной отрасли в 2023 году. В нее вошли производите-

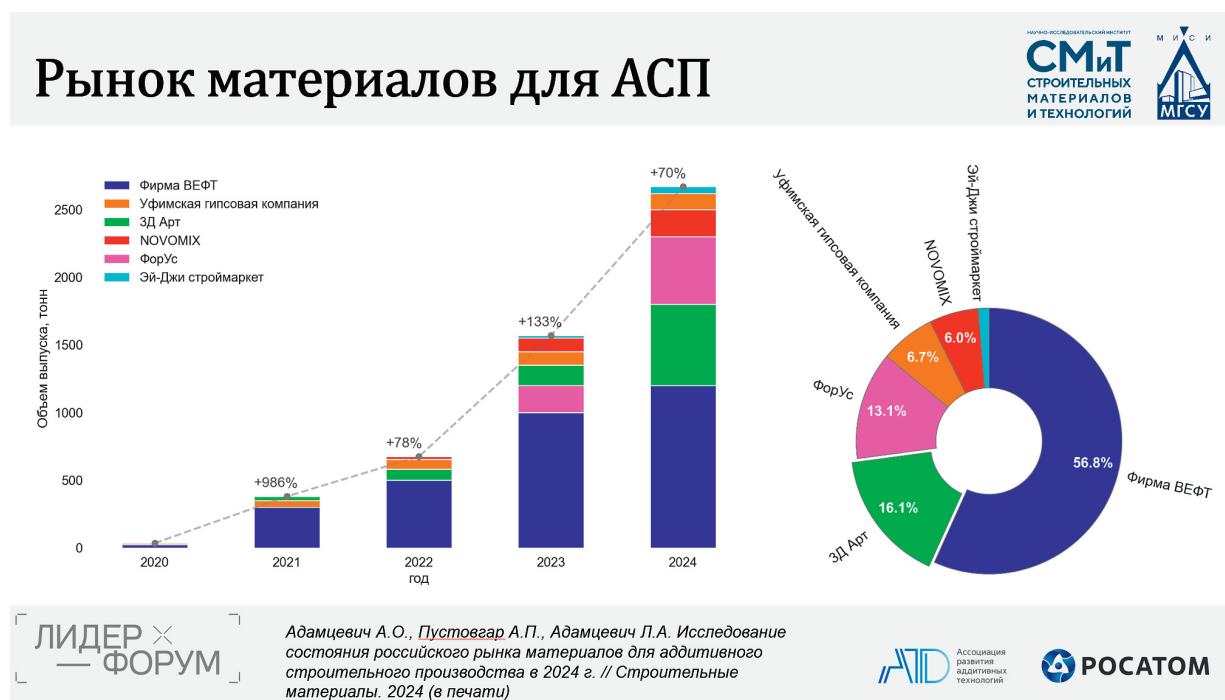
ли принтеров и материалов, строительные организации, государственные органы, компании по моделированию и проектированию, высшие и средние учебные заведения, в том числе Московский государственный строительный университет и Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко, исследовательские центры и научные школы.

Достижения членов ассоциации сегодня — это создание более десяти строительных принтеров различной модификации, строительство более 150 объектов, напечатанных на территории России, объекты на территории Казахстана и ОАЭ, отработка составов для печати с различными техническими характеристиками, исследования материалов для печати на местном сырье, которые проводились на юге России, на Камчатке и в Приморском крае, разработка программы обучения профессионалов по строительной 3D-печати в техникуме имени С.П. Королева и академии ремесленников, создание программы восстановления домов в зоне СВО и разработка убежищ и укрытий в городах, подверженных атакам, и другие.

Докладчик выразил уверенность в том, что задачи, которые сегодня ставит перед отраслью рынок, будет намного проще решать совместно, поэтому он не сомневается в дальнейшем расширении АПАС.

Подчеркнув неуклонный рост индивидуального жилищного строительства, к которому обращаются даже именитые застройщики, модератор передал слово **главному архитектору BQ-studio группы «Самолет» Эмилию Акшову**.

Рис. 6. Рынок материалов для аддитивного строительства. Из презентации Алексея Адамцевича, СМиТ НИУ МГСУ





Докладчик начал с того, что отметил главное преимущество использования аддитивных технологий в строительстве — сокращение производственного цикла. И компания «Самолет» на постоянной основе проводит НИОКРы для того, чтобы внедрить новые практики в производственный

процесс. В качестве примера использования аддитивных технологий для сложных архитектурных форм Эмиль Акшов продемонстрировал проект «Офис будущего», реализованный в Дубае, для которого «Самолет» разрабатывал концепцию. Докладчик поделился опытом использования префабрикации как ускорителя строительных процессов при работе в условиях пустыни, когда нужно быстро ввести готовые объекты на место. Кроме того, компания «Самолет» активно использует в стадии проектирования искусственный интеллект. Акшов отметил, что работа нейросети оптимизирует стадию проектирования на 20%, ускоряя процесс и расширяя возможности строительства (рис. 7).

Докладчик показал еще пару интересных примеров объектов, среди которых проект 3D напечатанного дома в городе Остин, США, спроектированный с помощью параметрического моделирования и BIM-технологий (рис. 8), и проект гостиничного комплекса «Ясно Поле» в Тульской области (рис. 9), где использовалась технология интеграции 3D-печати, перефабрикации, искусственного интеллекта и параметрики, что позволило

Рис. 7. Применение ИИ для моделирования и проектирования. Из презентации Эмиля Акшова, BQ-studio группы «Самолет»



сократить количество отходов, снизить углеродный след и сэкономить ресурсы.

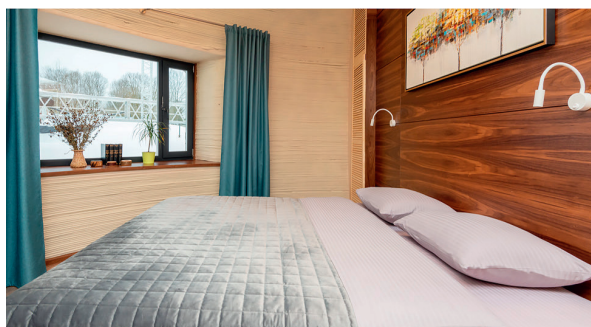
По мнению Акшова, использование данных нововведений одновременно позволяет закрыть слабые стороны каждого из традиционных методов строительства и усовершенствовать конечный результат. Идея укоротить производственный цикл старыми приемами нереализуема, нужно искать новые способы развития и формирования решений, которые создают интересный продукт.

Предваряя последний доклад, модератор остановился на перспективах развития рынка аддитивных технологий. Например, сейчас широко говорят о технологиях освоения Марса, Луны и других объектов Солнечной системы, и специалисты NASA, «Роскосмоса»,

Рис. 8. 3D напечатанный дом в городе Остин, США. Из презентации Эмиля Акшова, BQ-studio группы «Самолет»



Рис. 9. 3D-напечатанный дом в гостиничном комплексе «Ясно Поле». Из презентации Эмиля Акшова, BQ-studio группы «Самолет» →



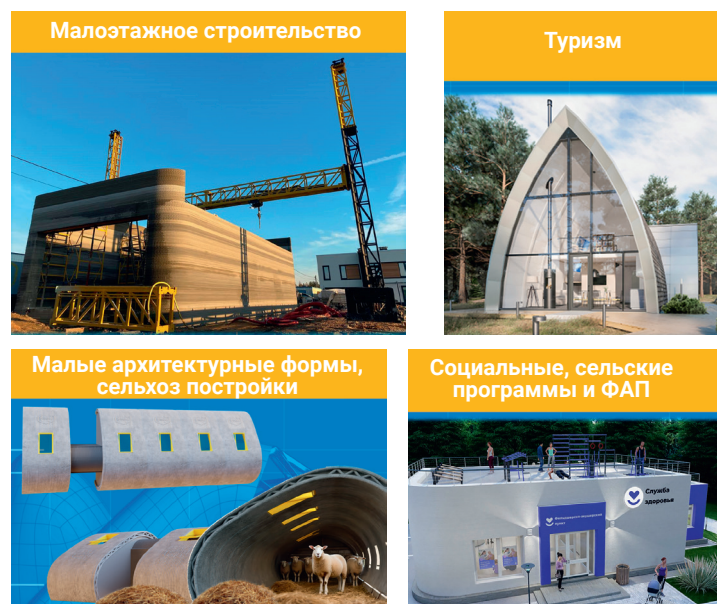
Китайского космического агентства рассматривают аддитивные строительные технологии как безальтернативный способ создания инфраструктуры для размещения колонистов. Да и на Земле предпосылки развития 3D-печати достаточно хорошие. Международные аналитические агентства говорят о том, что ее применение может прирастать более чем на 100% от года к году. И по росту применения материалов для 3D-печати видно, что Россия соответствует этим темпам.



Далее эту тему продолжил **коммерческий директор компании «Смарт Билд Сервис» Денис Белоусов**, представив информацию о перспективах аддитивных технологий в строительной отрасли и потенциале развития аддитивного строительства до 2030 года.

С точки зрения Белоусова для эффективного развития 3D-строительства на федеральном уровне необходимо создание полноценной индустрии строительной 3D-печати и планирования строительных работ. В связи с этим докладчик предложил, во-первых, введение пятилетнего плана на малоэтажное строительство по 3D-технологии в 10 миллионов квадратных метров. Для реализации данного плана, во-вторых, стране нужна всероссийская сеть сервисных центров, центров обучения и продаж 3D-оборудования. Например, компания «Смарт Билд Сервис» строит центры в городском округе Клин Московской области, Ставрополе и Том-

Рис. 10. Примеры строительных объектов, выполненных с помощью 3D-печати. Из презентации Дениса Белоусова, компания «Смарт Билд Сервис»



ске. За счет этого технология будет развиваться стандартизированно, одинаково эффективно, работа будет вестись бесперебойно в любой части страны. В-третьих, развитие отрасли 3D-печати и 3D-строительства будет осуществляться путем накопления общего опыта, развития навыков применения аддитивной технологии не точно, а централизованно и массово.

При выполнении пятилетнего плана малоэтажного строительства экономическая составляющая может быть следующей. На каждые 100 квадратных метров потребуется 5 дней печати (или 9 рабочих смен, если работать круглосуточно), на каждый объект нужна бригада из четырех человек (2 команды по 2 человека), фонд оплаты на одну команду будет варьироваться от 160 до 200 тысяч рублей в зависимости от региона. Получается примерная стоимость на фундамент, стены, кровлю 49700 рублей за м².

Есть и другие ниши для применения строительной 3D-печати — например, использование префабов или малых архитектурных форм в любом сегменте сельского хозяйства или промышленности (рис. 10). Также можно развивать отдаленные поселения посредством строительства фельдшерских и акушерских пунктов. Еще одно из направлений — участие в реновации и социальных проектах. Одним из самых емких направлений для развития 3D-печати является туризм, где необходимо быстрое и эффективное строительство гостиниц, хостелов, глэмпингов и других сооружений.

Белоусов поделился тремя необходимыми составляющими для успешной работы на 3D-принтере: создание высокоточного принтера, разработка рецепта эффективной смеси, адаптация ее с ранее изготовленным оборудованием и формирование архитектурно-строительных направлений. Докладчик подчеркнул, что компания «Смарт Билд Сервис» успешно прошла все три этапа и сейчас адаптирует любые проекты строительства с использованием аддитивных 3D-технологий, а также разрабатывает свои.

В завершение своего выступления Белоусов высоко оценил дальнейшие перспективы использования 3D-печати и аддитивных технологий в строительстве, поскольку, по его мнению, оно сокращает расходы и позволяет получить качественный продукт, который не требует финишной отделки и уже готов к эксплуатации.

В ходе дискуссии, развернувшейся по окончании сессии, было высказано мнение о том, что для массового использования аддитивных технологий в строительстве в числе прочего необходим грамотный и качественный пиар, который смог бы привлечь строителей к 3D-печати, наглядно показав ее эффективность. ■

Николай Копытин

Видеозапись конференции: https://vk.com/video-222997635_456239020

Современная медицина предполагает наличие передового производства персонализированных изделий. Применение аддитивных технологий в учреждениях здравоохранения позволит уже в ближайшем будущем увеличить уровень доступности высокотехнологичной медицинской помощи, повысить эффективность лечения, расширить группу пациентов, которым требуется оказание помощи в области трансплантологии конечностей, челюстно-лицевой хирургии, восстановлении аутентичных мягких тканей, сокращение сроков восстановления дееспособности.

Обсуждению необходимых шагов, которые надо пройти, чтобы продвинуться к решению задачи по 3D-печати человеческих органов, была посвящена дискуссия «Аддитивные технологии в медицине. Клинический опыт применения. Перспективы развития. Биопечать», проходившая в рамках центрального мероприятия по 3D-печати «Лидер-форум».



Открывая панельную дискуссию, **Алексей Дуб**, первый заместитель директора частного учреждения «Наука и инновации» (входит в Госкорпорацию «Росатом»), научный руководитель приоритетного направления научно-технологического развития (ПННТР) «Росатома»

«Новые материалы и технологии», д.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов НИТУ МИСИС, выделил ряд технологических успехов в области внедрения аддитивных технологий, у которых с каждым годом становится всё больше возможностей. В частности, за 2024 год удалось значительно сократить срок изготовления индивидуальных имплантатов. «Сейчас с момента получения данных компьютерной томографии до поставки готового изделия в медицинское учреждение может пройти не более семи дней, хотя еще в начале года у нас на это уходило около одного месяца», — отметил он.

Имплантаты выращивают из металлического порошка в научном институте «Росатома» в Троицке. Благодаря специальному программному обеспечению (ПО), разработанному учеными, можно создавать изделия уникальной формы в соответствии с данными КТ и МРТ пациента. Институт «Росатома» первым в стране получил на подобное ПО и готовые изделия регистрационные удостоверения. Работа над проектом

ведется в рамках Единого отраслевого тематического плана (ЕОТП).



Директор Института кластерной онкологии имени профессора Л.Л. Левшина ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), заведующий кафедрой онкологии, радиотерапии и реконструктивной хирургии Института клини-

ческой медицины имени Н.В. Склифосовского, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН **Игорь Решетов** подробно обрисовал произошедшие изменения, динамику и перспективы в медицинской сфере в части применения аддитивных технологий. Каждый год характеризуется новыми вводными, прежде всего государственного масштаба, самый актуальный пример — национальный проект «Продолжительная и активная жизнь», реализация которого начнется с 1 января 2025 года и будет рассчитана до 2030 года.

Сеченовский университет является мощной базой для реализации стратегии технологической независимости в области здравоохранения, который успешно участвует в выполнении инновационных проектов со многими партнёрами, среди которых «Росатом», «Ростелеком», «Сбербанк» и другие. Здесь реализуется системный подход к лечению заболеваний головы и шеи, в том числе развивается реконструктивно-пластическая хирургия. Примерно семь лет назад началась проработка вопроса отечественного производства аддитивных изделий.

В ходе реализации национального проекта «Здоровье» большинство лечебных учреждений были насыщены компьютерными томографами (КТ) с разрешением не менее 64 срезов, позволяющими для каждого пациента получать DICOM-файлы (Digital Imaging and Communications in Medicine). 64-срезовая томография дает высокое качество визуализации при меньшем времени исследования, а самое главное — позволяет создавать виртуальные модели для производства имплантатов. Сочетание данных КТ и быстрого прототипирования из области технологий CAD/CAM позволяет по-новому работать с анатомическими изображениями и изготавливать искусственные костные трансплантаты фрагментов лицевого скелета.

В результате проводимых работ сформировались условия для создания отечественных 3D-принтеров для медицинских целей; разработано программное обеспечение для воссоздания повреждённых костных элементов на базе данных МРТ и КТ, с помощью которого возможно выполнение ряда последовательных операций (получение DICOM-файла, разработка 3D-STL (Stereo Lithography) модели, заполнение дефекта, цифровое планирование операции); организовано производство на базе аддитивных технологий. На выходе получается высокопористый персонализированный имплантат.



Сергей Виссарионов, член-корреспондент РАН, д.м.н., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, сделал доклад на тему «Аддитивные технологии — инновационный

механизм развития детской ортопедии», в котором изложил Концепцию применения аддитивных технологий.

Прогресс, достигнутый за последние годы, достаточно впечатляющий. Ещё в относительно недавний период продолжительность жизни людей с врождённой деформацией позвоночника и аномалией развития грудной клетки составляла не более 30 лет. Применение современных инновационных аддитивных технологий позволяет восстановить нормальную форму грудной клетки и предотвратить развитие дыхательной недостаточности.

Для проведения оперативного лечения в ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» был создан замкнутый цикл процессов, предполагающий участие команды мультидисциплинарных специалистов: травматолог-ортопед, программист, инженер, биоинженер, сотрудники лаборатории аддитивных технологий.

Так, технологии прототипирования в детской ортопедии позволяют уточнить особенности и детализировать патологический процесс в костных структурах. Технологии 3D-моделирования обеспечивают выбор подхода к хирургическому лечению пациента и оптимальный вариант объёма планируемого оперативного вмешательства. Программа компьютерного моделирования осуществляет проектирование всех уровней и направлений остеотомии костных структур, а также зон установки и вариантов фиксации металлоконструкции. Программа компьютерного анализа позволяет проводить расчёт напряжённых нагрузок на костные структуры опорно-двигательного аппарата при установке металлоконструкции. Результаты компьютерного моделирования и анализа являются основой для создания с помощью

аддитивных технологий индивидуальных навигационных шаблонов-направителей с целью выполнения хирургического вмешательства.

Современные технологии лечения детей с ортопедической патологией позволяют проводить своевременную диагностику патологического состояния, сделать выбор оптимального варианта хирургического вмешательства и предоперационное планирование зон и траекторий установок опорных элементов конструкции, в ходе операции обеспечить корректное выполнение уровней и направлений остеотомий, а также установки металлоконструкции и ее стабилизации. Применение определенной последовательности хирургических манипуляций позволяет достичь полноценной коррекции деформации костных структур, восстановления анатомических и физиологических параметров опорно-двигательного аппарата, минимизации риска развития осложнений.



Павел Ногтев, заведующий отделением анестезиологии-реанимации Сеченовского университета, к.м.н., доцент, описал перспективы использования оксида азота (NO) при анестезиологическом обеспечении общехирургических операций. Нормальная выработка NO обеспечивает

адекватную перфузию тканей, защищает эндотелий сосудов, препятствует агрегации тромбоцитов и выработке лейкоцитами провоспалительных агентов.

Инновационная технология системной органной протекции на основе оксида азота, может улучшить качество лечения и сократить время пребывания пациентов в хирургическом стационаре. Разрабатываемая технология является полностью отечественной (препарат «Оксид азота» и устройство его доставки «Тианокс»).



Дмитрий Святославов, доцент кафедры онкологии, радиотерапии и реконструктивной хирургии Сеченовского университета, к.м.н., предоставил данные о биоинженерных технологиях подготовки цифровых персонализированных моделей.

Основными этапами технологического процесса являются: получение трехмерного изображения участка костной ткани посредством МРТ/КТ-исследования; оцифровка в специализированном программном обеспечении области дефекта для создания формы индивидуального имплантата; расчеты

с помощью модулей CAE (Computer aided engineering) и топологическая оптимизация имплантата. При помощи метода реверс-инжиниринга выполняется создание твердотельной модели имплантата, за этим следует подготовка к изготовлению и непосредственное изготовление методом селективного лазерного сплавления.

Перспективным направлением работы является применение отечественных материалов для создания хирургических шаблонов и ненагруженных имплантатов. Опыт эксплуатации материалов Harz Labs показал, что российская медицина обеспечена отечественными материалами, подходящими для интеграции аддитивного оборудования на уровне медицинских учреждений для самостоятельного создания хирургических шаблонов и демонстрационных моделей с привлечением сторонних, обученных проектировщиков. Материалы Harz Labs соответствуют требованиям ГОСТ Р ИСО 10993, регистрационное удостоверение на медицинское изделие № РЗН 2020/12007.

Применение программного комплекса для аддитивного технологического процесса Voxeldance Additive для моделирования мультимодальных структур первоначально позволяет создать карту структуры, далее даёт возможность объединить структуры для достижения необходимых свойств и, наконец, осуществить переход к периодической геометрии требуемой ячеистости.

Одним из перспективных материалов для использования передовых технологий является РЕЕК (полиэфирэфиркетон). Сравнение РЕЕК с титановыми сплавами в контексте создания постоянных имплантатов показало большую долговечность, коррозионную устойчивость и радиопрозрачность. Вместе с тем РЕЕК характеризуется неполной приживаемостью и низкой теплопроводностью. Поэтому нельзя давать какому-то одному материалу неоспоримые преимущества. Необходимо понимание места и роли каждого материала для достижения конкретной цели.

Печать электронным лучом в вакууме (EBM — Electron Beam Melting) имеет серьёзные технологические преимущества и перспективы в медицине. Благодаря высокой мощности излучателя и максимальной температуре нагрева оборудование может работать с тугоплавкими материалами, суперсплавами и сплавами титана, интерметаллическими соединениями, сплавами циркония, танталом, молибденом, медью и другими. Отсутствие кислорода в зоне печати положительно сказывается на физико-механических свойствах получаемых изделий, не давая материалу окисляться в процессе печати.

Игорь Пономарев, заведующий отделением челюстно-лицевой хирургии клинической больницы № 123 ФНКЦ ФМБА России, выступил с сообщением об использовании имплантатов, полученных с помощью аддитивных технологий, для лечения пациентов —



участников специальной военной операции (СВО).

Он отметил, что активное внедрение в рутинную медицинскую практику аддитивных технологий, 3D-моделирования операций позволит сократить сроки непосредственно оперативного вмешательства, минимизировать возможные

осложнения, ускорить реабилитацию пациентов на всех этапах.

Требуется оперативная разработка и внедрение в клиническую практику челюстно-лицевого хирурга искусственного материала с высокой биосовместимостью, износостойкого, прочного, устойчивого к инфекции, слюне и пригодного для восстановления зубного ряда.



Со схожим по содержанию докладом выступил **Евгений Кукушко**, начальник травматологического (реконструктивно-восстановительного) отделения ФГБУ «ГВКГ им. Бурденко» Минобороны России, который проанализировал возможности применения аддитивных технологий в лече-

нии боевой травмы конечностей.

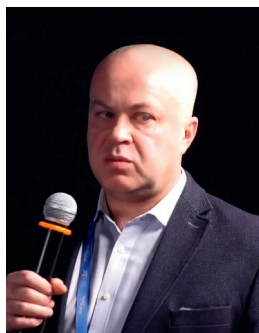
Огнестрельное ранение конечностей имеет свои особенности: первичное инфицирование, наличие зон некроза тканей, формирование сложных по величине и конфигурации дефектов костной ткани, обширные комбинированные дефекты. Существующий выбор методик замещения дефектов костной ткани позволил апробировать и внедрить в практику технологию 3D-моделирования при лечении боевой травмы конечностей. На всех этапах изготовления 3D-имплантата в связке работают хирург, инженер и рентгенолог.

Применение аддитивных технологий имеет ряд преимуществ, в том числе: прецизионность, позволяющую учесть индивидуальные особенности человека, возможность создания металлоконструкций и прототипов любой сложности, одномоментное замещение обширных нагружаемых костных дефектов, сокращение сроков операции, сокращение сроков лечения пациента, экономию материальных средств. В самой ближайшей перспективе можно рассчитывать на снижение себестоимости изделий.

Вместе с тем в применении аддитивных технологий присутствуют сложности, связанные с планированием. По-прежнему время на проектирование может растянуться на неделю, месяц, полгода, и как следствие изменение анатомии в сегменте. Возможны ошибки в процессе планирования, связанные с тем, что размеры

имплантата были определены на основании здоровой конечности. Учитывая сложность в изготовлении окончательной «идеальной» модели, на практике в итоге получается не то, что хотели, «хотя на картинке все красиво». Кроме того, возникают проблемы в ходе операции. Например, винты не блокируются из-за неидеальной нарезки, связанной с нарушениями в процессе постобработки и при нанесении покрытий.

Тем не менее докладчик выразил солидарность с другими выступавшими: аддитивные технологии дают возможность моделировать индивидуальные имплантаты любой сложности, максимально анатомично заместить огнестрельный дефект костной ткани, достигать раннего восстановления функции повреждённой конечности, что позволяет оперативно возвращать военнотружущих в строй.

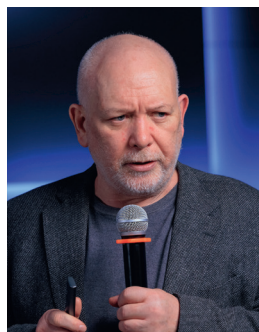


Александр Терсков, главный внештатный специалист по травматологии и ортопедии ФГБУ ГНЦ «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России», изложил видение на сопутствующие, или так называемые сателлитные проблемы оборота индивиду-

альных медицинских изделий.

По словам докладчика, имеется определённый диссонанс, связанный с недостаточной информационной поддержкой врачей и персонала, надлежит создать учебные пособия, провести курсы повышения квалификации по работе с имплантатами.

Требуется дополнительное обучение работников финансовых служб лечебно-профилактических учреждений, нужна ясность в экономической целесообразности применяемых методик. Необходимо провести обучение работников договорных отделов особенностям ведения закупок и ценообразования. Нужно разработать типовые формы основных видов контрактов для закупки. Параллельно требуется детально проработать создание основных логистических цепочек. Требуются типовые финансовые решения для всех участников рынка аддитивных медицинских изделий.



Владимир Дубров, профессор, доктор медицинских наук, главный внештатный специалист, травматолог-ортопед Департамента здравоохранения г. Москвы, заведующий кафедрой общей и специализированной хирургии факультета фундаментальной медицины

ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова», выступивший с докладом «3D-инженерия в медицине. Как создавать индивидуальные конструкции правильно», продолжил тему и предложил подходы в решении существующих проблем, и не только финансовым способом. Он отметил, что при обсуждении вопроса 3D-инженерии необходимо обеспечить рациональный баланс между экономикой и здоровьем, а также на примерах обосновал эффективность тесного сотрудничества между различными специалистами.

По словам докладчика, необходимость в 3D-имплантатах возникает в случае невозможности выполнения лечения штатным методом. Принимая во внимание то, что в травматологии-ортопедии достоверный результат проявляется через 5 лет, необходимо долгосрочное прогнозирование системы «пациент — имплантат».

Первым специалистом, от которого зависит успех операции, является рентгенолог. Для качественного 3D-проектирования в настоящее время пригодны только 15% компьютерных томографов, размер области сканирования ниже требуемой величины, оборудование выполняет недостаточное количество срезов (это снижает скорость исследования, а значит, увеличивает время неподвижного положения пациента в КТ-аппарате).

Функции хирурга во взаимодействии с рентгенологом: постановка задачи (определение области интереса, мотивация на сравнительное исследование для парных конечностей), выбор подхода (виртуальное планирование операции, расчет биомеханической цепи, выбор индивидуального изделия или комбинирование с серийным изделием), определение объема вмешательства. Как правило, врачу приходится настаивать на минимальном шаге измерений для достижения точности, на сохранении оригинальных снимков, как бы не хотелось рентгенологу уменьшить объем полученных больших файлов. Такая коллективная работа позволяет провести эффективное исследование.

После проведения КТ-сканирования к команде подключается биоинженер. В его задачи входит качественное сегментирование полученных сведений, послойное разделение структур тканей с удалением засветок и свободнолежащих осколков или металлических фрагментов путём выделения границ интересующих органов с последующей визуализацией. К сожалению, автоматическая сегментация, которая заложена в программное обеспечение, зачастую непригодна для проектирования. Анализ конструкции предполагает определение параметров нагружения и граничных условий расчётной модели. Расчёт нагрузки на изделие предусматривает построение эпюр напряжений и деформаций на основе приложенных нагрузок. После оценки нагрузок при совместном нагружении системы «кость — имплантат» выполняется анализ результатов и построение графиков на основе серии расчётов для прогнозирования работы конструкции.

Большое внимание Владимир Дубров уделил созданию 3D-моделей из пластика, поскольку они позволяют оценить работоспособность системы, определить амплитуду движений врача, отрепетировать всю операцию.

Также он озвучил вопрос об ответственности за готовый продукт, на который пока нет ответа. Обычно считают, что ответственным должен быть врач, но при этом он ничего не понимает в качестве сплавов, в проектировании, технологии изготовления, в то время как промышленные компании имеют большие лаборатории и способны оценить усталостные свойства того или иного имплантата при изменении его технических характеристик.



Андрей Рудык, доцент, к.м.н., заведующий кафедрой челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии Казанской государственной медицинской академии, в своём выступлении изложил региональный опыт применения аддитивных технологий при реконструктивных операциях в челюстно-лицевой

области. В ближайшей перспективе, по его словам, будут развиваться методы 4D-печати, где четвёртым измерением является время, в иных терминах эти технологии называются биопринтингом. Предполагается, что созданные биопечатью структуры смогут формировать собственную сосудистую сеть, продуцировать биоактивные вещества и интегрироваться с окружающими тканями при имплантации.

Наиболее важными вопросами для развития на сегодняшний день, по мнению докладчика, являются недостаток кадровых ресурсов, продолжительность времени планирования, длительность срока изготовления и доставки, продолжительность операции, дефекты изготовления аддитивных изделий, с которыми приходится встречаться в клинике, финансовые расходы.

В последнее время приобрела актуальность тема локализации производства аддитивных имплантатов, но одновременно зародился вопрос: в каком медицинском учреждении экономически обоснованно наладить выпуск собственной продукции? Делать это силами самого лечебного учреждения или передать изготовление сторонней компании на аутсорсинг?

Андрей Рудык поддержал предыдущего докладчика, отметив, что особенно важным является взаимодействие между хирургом и инженером-конструктором, которое часто ограничивается разговорами по телефону или перепиской по электронной почте. Необходима разработка специального программного обеспечения, которое позволило бы врачу и инженеру в режиме реального времени обмениваться важной информацией,

объяснить с одной стороны требования к изделию, а с другой стороны — реальные возможности материала, после чего совместно спланировать операцию в течение одного-двух часов.



Анна Угодчикова, научный сотрудник лаборатории аддитивных технологий и биоинжиниринга Научно-производственного центра медицинских изделий в институте «Росатома» в Троицке, объяснила необходимость нанесения биопокрытий на имплантаты, а также дала характеристику материалам и способам их применения.

На сегодняшний день металлы и сплавы являются наиболее привлекательными материалами для изготовления медицинских имплантируемых изделий. Титан и его сплавы имеют высокую прочность, коррозионную стойкость, являются биоинертными, однако имеют слишком большой модуль упругости. Перспективными также являются магниевые сплавы благодаря низкой плотности, модулю упругости, сопоставимому с естественной костной тканью, отличной биосовместимости, а самое важное — способности к биорезорпции (рассасывание в организме и постепенная замена на натуральные ткани). Однако магний слишком быстро растворяется в организме, демонстрируя тем самым низкую коррозионную стойкость. Модифицированием поверхности, а именно нанесением биосовместимого покрытия, можно, с одной стороны, улучшить биоактивность титановых имплантатов, а с другой стороны — повысить их коррозионную стойкость.

Материалы на основе фосфатов кальция $\text{CaO-P}_2\text{O}_5$ являются естественными компонентами минеральной фазы костей и зубов и давно используются в медицинской практике. Недавно было обнаружено, что материалы CaO-MgO-SiO_2 активно индуцируют процессы минерализации и формирования костной ткани и проявляют более высокую биоактивность.

Среди множества методов получения биосовместимых покрытий, таких как плазменное напыление, золь-гель, магнетронное распыление, электрофоретическое осаждение, наиболее перспективным является метод микродугового оксидирования (МДО), поскольку позволяет получать биосовместимое покрытие толщиной до сотен микрометров на имплантатах сложной геометрической формы, имеющих сложную ячеистую структуру, полученную методом 3D-печати.

Владислав Парфенов, руководитель группы реализации научных проектов управляющей компании научного дивизиона Госкорпорации «Росатом» АО «Росатом наука», в своём сообщении очертил пер-



спективы подходов к биофабрикации тканевых конструкций.

Тканевая инженерия использует принципы конструирования и научные знания о жизни для разработки эквивалентов тканей или органов. В биофабрикации важна синергия и междисциплинарность на пересечении химии, физики, биологии, инженерии, информационных технологий и материаловедения.

Основными подходами в тканевой инженерии являются: выращивание 3D-клеточных структур, заселение скаффолдов (Scaffold — строительные леса, каркас — сложная интегральная многофункциональная система, задачей которой является не только доставка веществ, но и обеспечение оптимальных условий для регенеративного процесса), биопечать органов и тканей, In situ биопечать кожных покровов.

Дорожная карта 3D-биопринтинга включает в себя печать плоских органов (кожа, хрящ), формирование полых трубчатых органов (сосуды, трахея), создание полых нетрубчатых органов (мочевой пузырь), изготовление солидных органов (почка, печень). Главный вызов, стоящий перед разработчиками, — переход от микро- к макроуровню. Большая работа по биофабрикации была проделана в условиях микрогравитации на Международной космической станции (МКС).

Для управления клеточным материалом актуально применение искусственного интеллекта и нейронных сетей.



Егор Кормазов, руководитель проекта лаборатории аддитивных технологий и биоинжиниринга научного института «Росатома» в Троицке, изложил опыт разработки и работы своего предприятия по типовому протоколу изготовления и поставки имплантатов с аддитивного производ-

ства. Как и остальные докладчики, он подчеркнул, что используемый SLM-метод аддитивного производства титановых имплантатов позволяет достичь исключительной точности при создании сложных геометрических форм. Технология даёт возможность производить индивидуальные изделия, адаптированные под анатомические особенности каждого пациента, пористые титановые структуры обеспечивают улучшенную остеоинтеграцию и сращивание с костной тканью.

В настоящее время в медицине применяется три основных вида биосовместимых материалов: биотолерантные, биоинертные, биоактивные. В качестве покрытий на титановые имплантаты в Троицком институте «Росатома» используют биоактивные материалы. В качестве сырья применяются отечественные титановые порошки, которые изготавливаются в периметре Госкорпорации «Росатом».

Основа создания пористых имплантатов имеет четыре важных аспекта: геометрия (повторяется из DICOM-файла), зона остеоинтеграции (глубина прорастания кости 4–5 мм, размеры остеобластов 50–150 мкм, прорастание мягких тканей), силовые нагрузки и система крепления (нагрузка 500 Н, срок службы не менее 7,5 млн циклов, предел прочности не менее 100 МПа), система интеграции (для зоны остеоинтеграции создана ячеистая структура с размером 600 мкм, для зоны интеграции мягких тканей — два вида структур с отверстиями и тетраэдрами размером 3–5 мм).

Для автоматизированного воссоздания поврежденных костных элементов используется программное обеспечение, созданное в периметре госкорпорации, позволяющее изготавливать 3D-модель, полностью повторяющую нативный костный каркас. В производимую линейку предприятия входят: пластины для остеосинтеза; кейджи из пористого титана для спондилодеза поясничного отдела позвоночника; аугменты из пористого титана для замещения костных дефектов. Изделия прошли весь комплекс испытаний, которые подтвердили качество продукции.

Выступившие в ходе панельной дискуссии специалисты условно разделились на оптимистов и пессимистов. Единство позиций состояло во мнении о том, что для технологического рывка, выхода на опережающие темпы развития и достижения технологического суверенитета необходимо повсеместное освоение промышленной 3D-печати.

Подводя итоги обсуждения, **Алексей Дуб** привёл интересный пример: за последние полвека срок работы корпуса атомной станции увеличился с 30 до 80 лет только за счёт появления новых технологий и инструментария, при этом материалы остались неизменными, поменялись детали. Подобную аналогию можно имплементировать в медицинской сфере. С течением времени технология будет совершенствоваться, а современные трудности, вызывающие пессимистические опасения, отойдут в прошлое. С развитием аддитивной технологии уточняются показания по её применению, поэтому 3D-печать имеет большие перспективы не только в травматологии и ортопедии, но и в области лечения и восстановления мягких тканей. ■

Владимир Сорокин

Видеозапись сессии: https://vk.com/video-222997635_456239020

Аддитивное производство: итоги 2024 года

Семен Попадюк, блог компании iQB Technologies

<https://blog.iqb.ru/3d-industry-2024-results/>

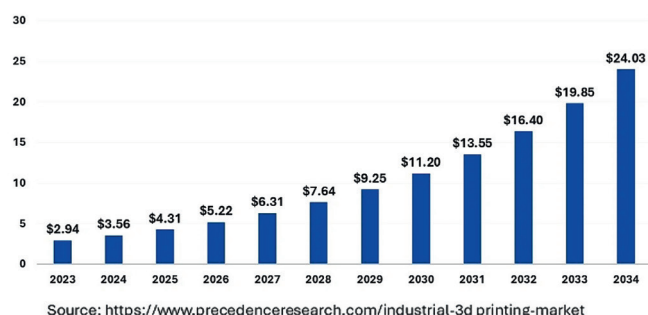
2024 год закончился, и вместе с анализом итогов года эксперты и профессионалы 3D-индустрии делятся прогнозами и обсуждают пути развития отрасли, которая продолжает быть драйвером кардинальных изменений в мировой промышленности.

Глобальный рынок в цифрах

Объем глобального рынка аддитивного производства в последние годы растет в геометрической прогрессии. Компания Research and Markets приводит такую динамику: с 16,14 млрд долларов США в 2023 до \$19,74 млрд в 2024 при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 22,3%. В ближайшие несколько лет ожидается экспоненциальный рост рынка: в 2028 г. он, как ожидается, достигнет \$41,69 млрд при CAGR 20,6%.

Исследование Precedence Research, опубликованное в ноябре, оценивает объем мирового рынка промышленной 3D-печати в 2024 году в \$3,56 млрд. (рис. 1). В 2025 году предполагается рост до \$4,31 млрд, а к 2034 году, по прогнозам, превысит \$24,03 млрд, то есть среднегодовой темп роста в течение десяти лет составит 21,04%.

Рис. 1. Объем рынка промышленной 3D-печати в 2024–2034 гг., млрд долларов



Согласно новейшему отчету компании Additive Manufacturing Research (AM Research), по результатам третьего квартала 2024 объем рынка достигнет 3,47 миллиарда долларов, что на 9% больше, чем в прошлом году. Это свидетельствует об устойчивости отрасли, в первую очередь за счет роста 3D-услуг, которые выросли на 14% по сравнению с предыдущим годом. Рост при этом происходит, несмотря на замедление продаж оборудования.

Об этом же говорят данные компании Context: притом что продажи 3D-принтеров начального уровня переживают взрывной рост, доходы от реализации промышленных систем снизились на 17% (во II квартале 2024). Однако уже в декабрьской сводке Context прогнозирует, что поставки промышленных 3D-принтеров стоимостью от \$100 000 восстановятся ко второй половине 2025 года.

Факторы роста рынка промышленной 3D-печати

Промышленные аддитивные установки становятся все более функциональными, поскольку для 3D-печати разрабатываются новые высокопроизводительные материалы, включая металлы, полимеры и композиты.

Производство по требованию, ставшее возможным благодаря промышленной 3D-печати, может значительно минимизировать перебои в цепочке поставок. Возможности распределенного производства, быстрого прототипирования и снижения затрат на складское хранение позволяют лучше реагировать на волатильность рынка. Рынок расширяется благодаря тому, что аддитивное производство снижает эксплуатационные расходы по сравнению с традиционными технологиями (например, сокращает количество отходов материалов).

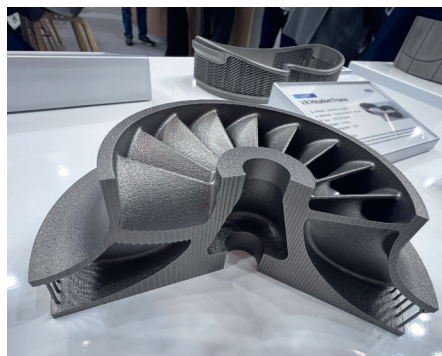
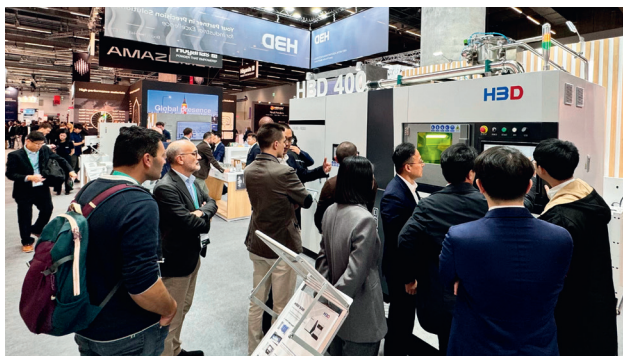
Formnext камертон мировой 3D-индустрии

Formnext — не просто всемирная выставка аддитивного производства, проходящая в конце каждого года в сердце Европы, но и главный хаб промышленных 3D-технологий и умных производственных решений нового поколения. В 2024 году мероприятие состоялось 19–22 ноября, показав очередные рекорды: на 54 000 кв. м выставочной площади расположились 864 компании, а число посетителей составило почти 34,5 тысячи.

По итогам Formnext-2024 аналитики ведущего отраслевого ресурса VoxelMatters выделили главные тренды.

1. Крупнейшие игроки рынка аддитивного производства, в первую очередь специализирующиеся в 3D-печати металлами, укрепили свои позиции и продолжают развиваться. Многие из них за последние годы преодолели трудности, прошли через серьезную реорганизацию и сегодня имеют четкое видение будущего.

Рис. 2. Китайская экспансия на выставке Fortnpext 2024: стенд компании HBD и один из представленных образцов SLM-печати — лопатка турбины. Фото: HBD



2. Лидеры рынка полимерной 3D-печати сосредоточены на развитии своих наиболее эффективных решений — в основном это изготовление прототипов и оснастки. При этом наблюдается тренд на освоение альтернативных процессов (SLA, печать металлом и др.).

3. Огромные стенды компаний из Китая отразили новую расстановку сил в АП. Если Индия обычно рассматривается западными компаниями как партнер, то Китай — как угроза. Таким игрокам, как EOS, Nikon SLM Solutions, Colibrium Additive, 3D Systems и Stratasys, сложно конкурировать с ведущими китайскими производителями (HBD — рис. 2, BLT, Farsoon, Kings3D, UnionTech и т.д.).

По словам представителя HBD, сила китайских компаний в том, что, несмотря на агрессивную конкуренцию внутри страны, они поддерживают друг друга в своем стремлении завоевать западные рынки.

4. В то время как некоторые крупные игроки переориентируются и меняют стратегии, ряд небольших компаний, вышедших на рынок несколько лет назад, продолжают стабильно развиваться. Их рост основан на проверенных решениях по производству очень крупных или миниатюрных деталей.

5. Аддитивное производство продолжает демонстрировать хорошие результаты в некоторых ключевых нишах, таких как техническая керамика и высокоэффективные термопласты.

6. При оценке будущего роста АП не стоит недооценивать еще один аспект: влияние, которое оказывают и будут оказывать настольные системы (как было сказано выше). Не надо забывать, что в мире продаются миллионы таких 3D-принтеров.

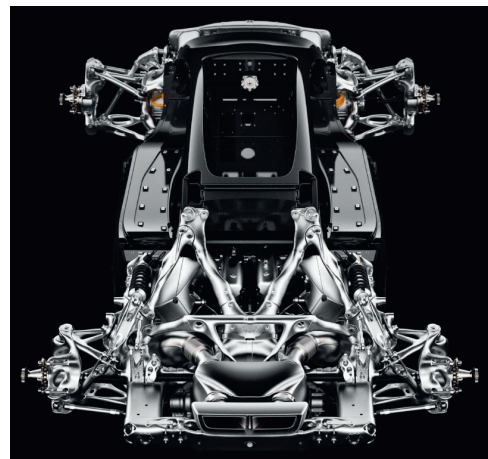
7. И не очень приятная новость: нескольких крупных групп производителей материалов приняли решение о частичном или полном уходе из 3D-отрасли (BASF, Mitsubishi Chemical, SABIC). Они вложили значительные средства в разработку материалов для АП, но не получили ожидаемых результатов.

Вывод: в ближайшее десятилетие отрасль может вырасти как минимум в десять раз: в ней найдется место для каждой стратегии.

ИИ проникает в аддитивное производство

В этом году мы увидели немало любопытных и даже поражающих воображение кейсов, которые демонстрируют возможности 3D-технологий. Двигатель нового поколения Raptor 3 от SpaceX, аддитивные эксперименты в космосе, прототип термоядерного реактора, стеклянные кирпичи для строительной печати, новые достижения биопринтинга, полностью 3D-печатные бюджетные кроссовки Adidas, массовое аддитивное производство компонентов для смарт-устройств (Apple) и автомобилей (Renault)... Но самый, пожалуй, неорди-

Рис. 3. Czinger 21C — первый в мире гиперкар, созданный с использованием ИИ и 3D-печати Фото: Czinger Vehicles



нарный и вызвавший полемику проект года — совместная разработка компаний Eplus3D и LEAP 71 — «самый большой в мире» жидкостный ракетный двигатель (высота 1,3 м, тяга 200 кН), спроектированный без участия человека с помощью большой вычислительной модели на основе искусственного интеллекта Noigon RP и напечатанный целиком на металлическом 3D-принтере. Создание модели двигателя заняло всего несколько минут!

Подобные разработки (рис. 3) задают новый тренд: вычислительные модели, использующие ИИ, способны проектировать сложное оборудование под 3D-печать быстро и автономно, без использования САПР.

Российский рынок 3D-печати может
вырасти почти втрое к 2027 году

Глубокий анализ отечественного рынка АП представлен в комплексном маркетинговом исследовании Д. Трубашевского и Е. Смокоты, опубликованном в журнале «Полимерные материалы» (№ 9/2024).

Общий объем рынка в 2023 году составил почти 15,5 млрд руб., что более чем в два раза превышает объем 2021 г. Прогнозируемый объем российского рынка к 2027 году может достигнуть более 46 млрд руб. (при среднегодовом темпе роста 31,5%). Компромиссный сценарий показывает более умеренный среднегодовой темп роста — 21,6%, достигая 34,7 млрд руб. к 2027 г. Наконец, согласно негативному сценарию, предполагается рост на уровне 12,4% в среднем в год с объемом рынка в 26,6 млрд руб. к 2027. Но в любом случае речь идет о росте российского рынка АП.

Свыше трети рынка приходится на ТЭК

По данным Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ), структура отечественного рынка аддитивного производства в целом отличается от мирового, где доминирует объем услуг 3D-печати, — в России это в первую очередь оборудование и материалы. Из технологий преобладает SLM-печать — около 65%, примерно 35% приходится на прямую лазерную наплавку (DED).

«Основные российские потребители аддитивных технологий сконцентрированы в авиационной и космической отраслях, ОПК, на которые приходится почти половина всего российского рынка, а также в медицине и машиностроении, где наблюдается рост применения 3D-печати», — отмечает операционный директор АРАТ Антон Барданов.

Также АРАТ приводит статистику, что свыше 30% всего российского рынка аддитивного производства сосредоточено на сегментах топливно-энергетического комплекса. При этом доля атомной отрасли составляет около 13% всего рынка 3D-печати, а нефтегазового и энергетического машиностроения — почти 20%.

Аддитивные технологии дают возможность производить и восстанавливать такие крупногабаритные изделия, как газовые турбины большой мощности и другие компоненты газотурбинных установок, детали насосного оборудования, крыльчатки охлаждения и прочие. Если раньше в случае поломки или износа оборудования в труднодоступных регионах доставка комплектующих занимала месяцы, то сегодня от запуска печати до замены детали проходит несколько дней. Эти преимущества аддитивного производства можно экстраполировать и на другие ведущие отрасли промышленности.

Внедрение 3D-технологий в России: каковы риски?

Нельзя обойти вниманием и риски, связанные с внедрением аддитивных технологий в России. На эту тему на страницах журнала «Риск-менеджмент. Практика» (№ 4/2024) рассуждает директор по стратегическому планированию компании iQB Technologies Андрей Трофимов.

«Основной риск — недостаточная оценка экономической целесообразности внедрения аддитивного производства на конкретном предприятии. Это обуславливается прежде всего отсутствием или ошибками в оценке себестоимости продукции, производимой новым способом.

Есть два способа предотвращения подобных рисков. Первый — обретение сотрудниками предприятия компетенций в области аддитивного производства и самостоятельное преодоление пути от первых экспериментов до осознанного определения тех изделий, производство которых целесообразно с применением аддитивных технологий. Причем нужно заранее планировать время и бюджет для решения этих задач.

Второй путь — партнерство с предприятиями — поставщиками решений с применением аддитивных технологий. В этом случае на стадии первичного внедрения можно опереться на опыт и компетенции специалистов, знакомых с особенностями соответствующей технологии. Ряд задач, связанных с постановкой экспериментов, а также НИОКР, может быть решен в сотрудничестве с таким партнером, что сократит время опытного внедрения и позволит избежать уже известных ошибок. Однако важно понимать, что в любом случае ключевой составляющей успеха является процесс планирования на самом предприятии с учетом стоящих перед ним производственных задач.

Необходимо появление специалистов, способных эксплуатировать аддитивные установки, настраивать их, обслуживать и ремонтировать. Перед предприятием встает важная задача определения своей кадровой политики: учить собственных специалистов или привлекать готовые кадры на рынке труда». ■

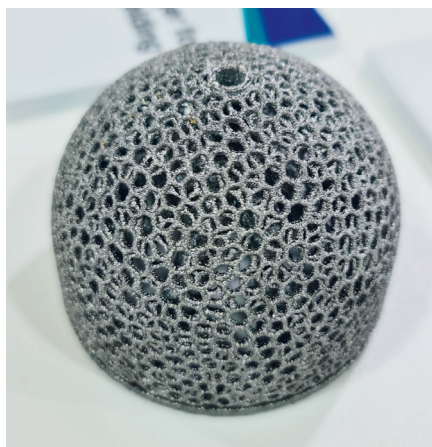


Рис. 1



Рис. 2

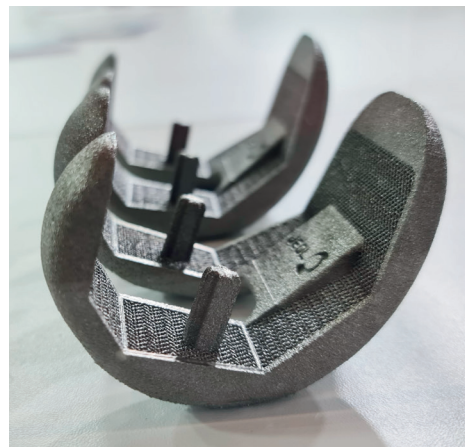
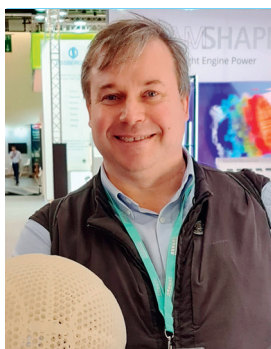


Рис. 3

Картинки с выставки Formnext 2024



Дмитрий Иванов, Центр высоких технологий «АЛТА»
dmitri.g.ivanov@gmail.com

Ведущая мировая выставка аддитивных технологий Formnext, прошедшая в ноябре во Франкфурте, собрала более 34 500 участников со всего мира. Это крупнейшее событие стало не только демонстрацией инновационных решений, но и форумом для обмена опытом и обсуждения перспектив развития аддитивных технологий в различных отраслях. Разнообразие представленных технологий и материалов поражает, и в этом обзоре я постараюсь показать самые яркие и интересные решения, реализованные аддитивным способом, которые привлекли внимание участников.

Среди множества представленных технологий особенно выделяются разработки, основанные на использовании металлов, таких как вольфрам, титан и медь. Японская компания Jeol продемонстрировала электронно-лучевую технологию печати из порошка вольфрама, которая используется для создания теплообменников, защищающих от радиации (рис. 1). Это решение, по сути, открывает новые горизонты для производства защитных компонентов в ядерной энергетике и космических технологиях. Интересно, что корпус электронной пушки принтера напечатан из титана на том же принтере (рис. 2), что и медицинские протезы коленного сустава (рис. 3).



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8



Рис. 9

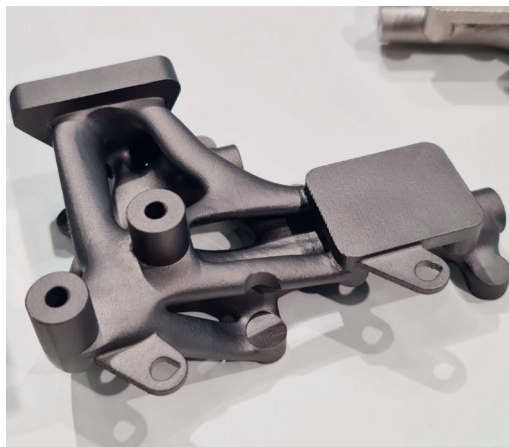


Рис. 11



Рис. 10



Рис. 12



Рис. 13



Рис. 14



Рис. 15

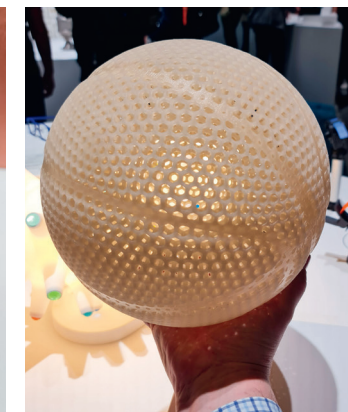


Рис. 16

InssTek из Кореи продемонстрировала интересное DED-решение для ремонта турбинных лопаток (рис. 4), а китайская Eplus3D – сложный кронштейн для вертолета (рис. 5), решив проблему повышенной вибрационной нагрузки на конструкцию, что имеет большое значение для вертолетостроения. На рис. 6 показан большой ракетный двигатель в человеческий рост, созданный с использованием искусственного интеллекта (ИИ). Другим ярким примером использования ИИ является камера сгорания из медного сплава от немецкой компании AMCM (рис. 7). Разработки такого рода подчеркивают все более высокие требования к прочности, долговечности и надежности напечатанных изделий.

На большом стенде немецкого концерна Siemens показали электронно-лучевую наплавку титановой проволокой (DED) на принтере Sciaky массивных переходников (рис. 8), и предложили комплексный подход к постобработке деталей с автоматизированным удалением поддержек, что значительно упрощает производство сложных деталей (рис. 9, 10, 11).

На выставке были продемонстрированы детали из цинкового сплава Zamak 5 от немецкой компании Protiq, мирового пионера печати из этого сплава, который обычно используется в серийном литейном производстве (рис. 12). Это достижение имеет большое значение для массового производства, так как позволяет интегрировать аддитивные технологии в традиционные производственные процессы.

Компания EOS продемонстрировала впечатляющие наработки в области серийной печати головок цилиндров из алюминиевого сплава для моторов Husqvarna (рис. 13) и сложную сборку микрореактивного двигателя с гидравлическими подшипниками вращающихся частей, выполненную в сотрудничестве с университетом Технион в Израиле (рис. 14). Кроме того, были показаны детали горелки из медного сплава системы CuCrZr (рис. 15), которая позволяет экономить топливо и на 12000 тонн снизить выбросы CO₂.



Рис. 17

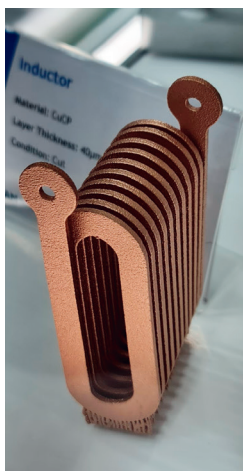


Рис. 18

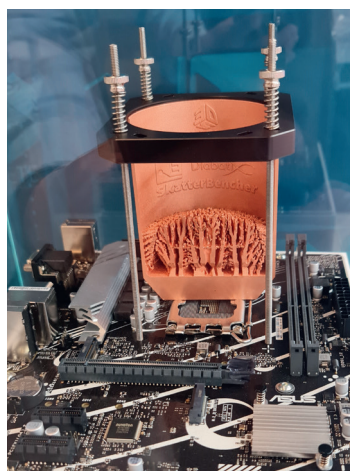


Рис. 19



Рис. 20

Спортивная тематика была представлена баскетбольным мячом Wilson из запатентованного полимерного материала (рис. 16), который нет необходимости накачивать. Отдельного внимания заслуживают разработки для медицины, например, кастомизированные титановые имплантаты лопатки, рассчитанные под механические нагрузки индивидуального пациента (рис. 17).

Обширное развитие получает использование чистой меди для применений в качестве индукторов (рис. 18), теплообменников (рис. 19) и целых ракетных двигателей, например, на стенде Eplus3D, и других главных производителей SLM-принтеров (рис. 20). Но не только в SLM-технологиях возможно использовать этот древнейший конструкционный материал, но и при печати методом холодного газодинамического напыления металлического порошка. Например, такая технология была использована при изготовлении биметаллического медно-никелевого сопла ЖРД от компании Impact Innovations из Германии (рис. 21).

Заметной тенденцией стало растущее использование многоматериальных решений. На стенде китайской компании BLT была представлена деталь, выполненная из четырех различных металлов — жаропрочного

сплава, нержавеющей стали, меди и титана (рис. 22). Такой подход позволяет использовать сильные стороны каждого материала для создания деталей с уникальными эксплуатационными характеристиками.

Также на стенде BLT были представлены образцы деталей парового сопла (рис. 23), позволяющих конкурировать по цене с серийными деталями, изготовленными по технологии MIM, указана достигнутая при изготовлении экономия стоимости в 31%.

Отдельного внимания заслуживают заявленные качественные параметры печати, позволяющие добиваться точности геометрии до 0,05 мм и шероховатости напечатанной поверхности в диапазоне 2–3 микрон, с достижением Ra 1,2 после пескоструйной обработки. Оборудование для такой автоматизированной 5-осевой пескоструйной обработки деталей (рис. 24) было представлено, в частности, на стенде компании Addiblast.

Постобработка изделий, являющаяся одним из важнейших элементов аддитивных технологий, о котором недостаточно говорят, была широко представлена различными технологиями удаления поддержек, улучшения шероховатости и полировки напечатан-

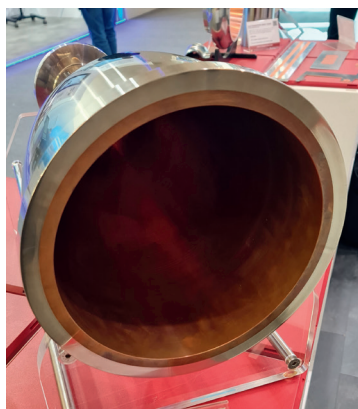


Рис. 21



Рис. 22



Рис. 23



Рис. 24

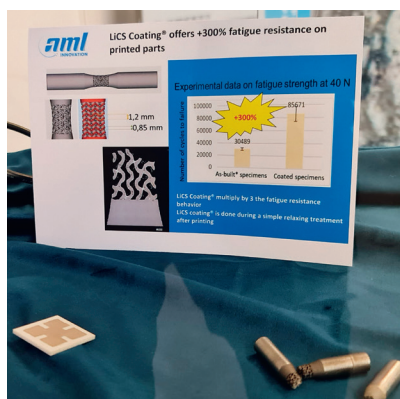


Рис. 25

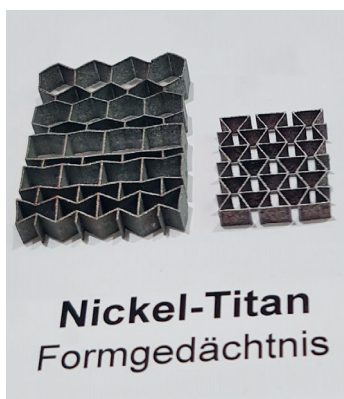


Рис. 26



Рис. 27

ных поверхностей, нанесения специальных покрытий. Интересно направление нанесения покрытий LICS французской компании AMI Microtec (рис. 25), позволяющее при циклических испытаниях улучшить прочностные свойства напечатанных изделий в 3 раза.

На стенде немецкого центра BIAS из Бремера были представлены детали с памятью формы из нитинола (рис. 26), а на стенде израильского производителя принтеров xJet детали из керамики и металла, изготовленные методом NanoParticle Jetting, некоторые из которых печатаются тиражами до 500 000 штук в год (рис. 27, 28).

Кроме красивой демонстрации использования печати в ракетном двигателе (рис. 29), на стенде компании TRUMPF было представлено много интересных разработок по медицинской тематике. Например, по запасным частям для позвоночника и тазобедренного сустава человека (рис. 30, 31). Особое внимание привлекло решение печати жидкостно-газового коллектора из нержавеющей стали 316L для уникальной литографической машины голландской компании ASML (рис. 32), продолжающее тему объединения сборки из



Рис. 28

многих деталей в одну напечатанную деталь. Интересно исследование по печати заготовок фрез с твердосплавными пластинками (рис. 33).

В австрийской компании TRIVION не забыли про братьев наших меньших, показав корпус нейроинтерфейса и реконструктивные имплантаты из титана (рис. 34, 35). В целом на выставке многие разработки посвящены ветеринарии.

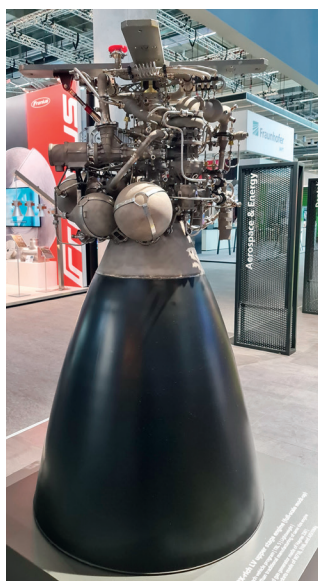


Рис. 29



Рис. 30



Рис. 31

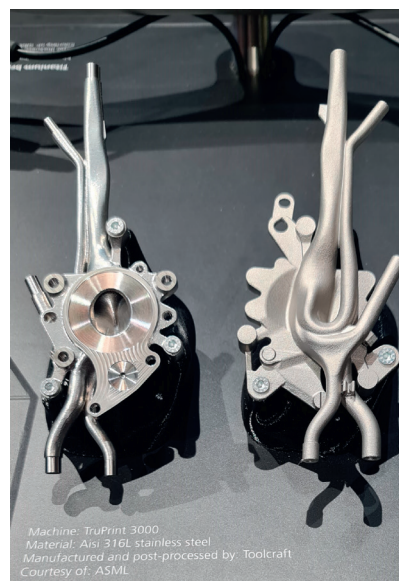


Рис. 32



Важнейшими элементами выставки Formnext являются встречи и выступления мировых экспертов аддитивной промышленности. Большое внимание привлекло выступление признанного гуру АТ Терри Волерса, в котором он отметил значительное влияние автомобильного сектора на расширение областей использования печати и представил прогноз пятикратного увеличения объема мирового рынка АТ в ближайшие 10 лет, с достижением отметки в 97 миллиардов долларов (рис. 36), а также наглядно показал эволюцию роста размеров деталей, напечатанных на SLM-принтерах в мире (рис. 37). Интересным было выступление доктора Лорен Эдни, которая рассказала о работе прошедшего в рамках выставки саммита инноваций и стандартизации в аддитивной промышленности (рис. 38), подчеркнув основные моменты сотрудничества в связке технических комитетов ASTM и ISO (рис. 39). В выступлениях обоих заслуженных спикеров особо была отмечена важность популяризации аддитивных технологий для более широкого применения и работы с подрастающим поколением для привлечения талантов в отрасль.

В заключение хотелось бы отметить присутствие прекрасного в экспозиции — от напечатанных ювелир-

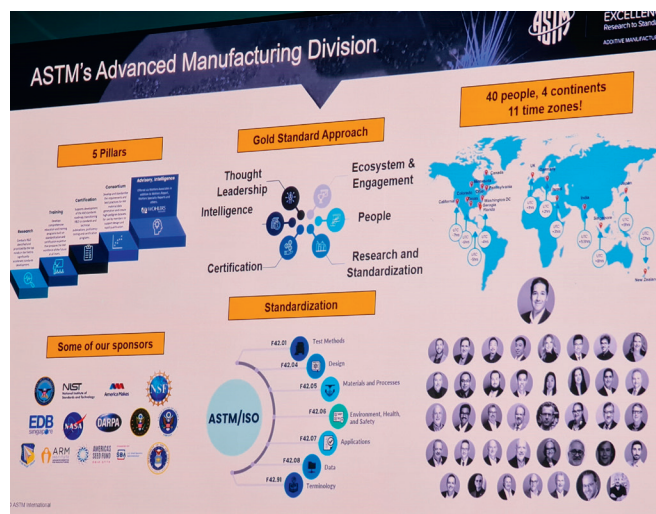
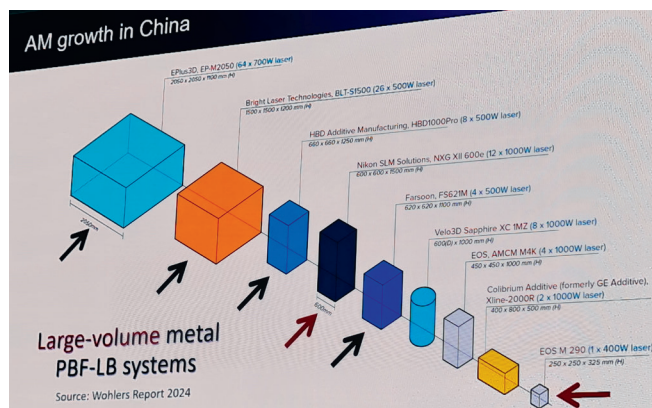




Рис. 40



Рис. 41



Рис. 42



Рис. 43

ных изделий из титана, золота и палладия (рис. 40, 41, 42) на стенде итальянской компании SISMA до скульптур творческого дуэта SUTOSUTO из Гамбурга (рис. 43), которые были представлены на тематической площадке AM Art Space выставки.

Размер статьи не позволяет рассказать о многих других технологиях проектирования, сканирования

(рис. 44), производства сырья, интересных участниках выставки, встречах и дискуссиях. В очередной раз Formnext собрал профессионалов высокого уровня и неравнодушных друзей из многих стран мира, которые общими усилиями двигают вперед наше аддитивное будущее. ■



Рис. 44



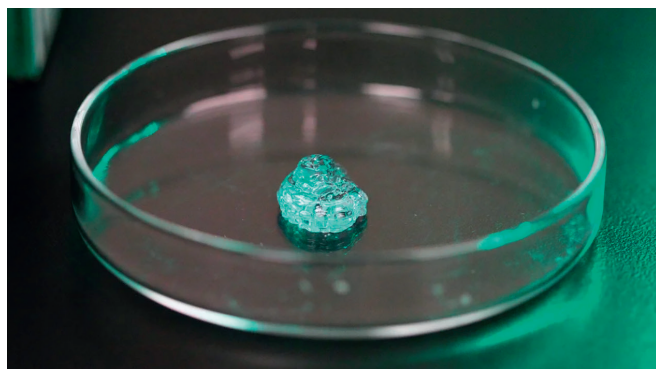
Победители премии Formnext Awards

В аддитивном производстве (АМ) работает много талантливых, мотивированных и одаренных людей, которые продвигают вперед технологию и, следовательно, всю отрасль. Они заслуживают того, чтобы их идеи получили должное внимание для перспективного развития современного промышленного производства. Начиная с этого года на выставке Formnext, проходившей в Германии, увеличилось количество конкурсных номинаций до шести, чтобы отметить компании, представляющие вдохновляющие продукты и проекты.

Премия Startup Award при поддержке AM Ventures

Премия, которая присуждается молодым компаниям с жизнеспособными бизнес-моделями и впечатляющими результатами, досталась компании Axolotl Biosciences. Эта канадская компания разработала TissuePrint — биочернила исследовательского класса для 3D-печати моделей человеческих тканей (рис. 1). Компания утверждает, что ее чернила можно использовать с массивом чувствительных клеток, 90% которых будут способны сохранять жизнеспособность после печати.

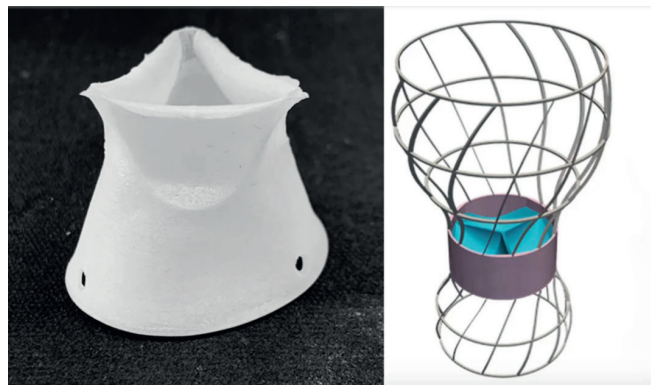
Рис. 1. Биочернила для печати человеческих тканей



Премия для новичка Rookie Award

Премия Rookie Award присуждается людям с перспективными бизнес-идеями, которые еще не основали компанию или запустили ее менее года назад. В этом году ее получила молодая команда Oryx Medicals, которая разработала 3D-печатный аортальный клапан, который призван произвести революцию в лечении стеноза аортального клапана (рис. 2). Это продукт, который сочетает прочность обычных механических клапанов с преимуществами минимально инвазивной транскатетерной имплантации.

Рис. 2. Аддитивно изготовленный сердечный клапан



Премия за устойчивое развитие Sustainability Award при поддержке Renishaw

Премия за устойчивое развитие присуждается приложениям и продуктам АМ, основанным не только на производственных процессах, но и жизненных циклах. В этом году награду получила компания Ceratizit, специализирующаяся на режущих инструментах и решениях для стойких материалов, которая разработала уникальную процедуру аддитивного производства твердых металлов на основе связующих веществ и спекания (рис. 3). Ceratizit подсчитала, что эта технология позволяет сэкономить 91% сырья, обычно необходимого для традиционного производства, а также сократить углеродный след на 95%.

Рис. 3. Деталь, напечатанная с помощью FFF-технологии



Премия Evolution Award при поддержке 3D Printing Industry

Премия Evolution присуждается исключительным, новаторским продуктам, технологиям или услугам, которые предлагают особую добавленную стоимость для пользователя. В этом году ее получил Институт литья, композитных материалов и технологий обработки Фраунгофера (IGCV).

Новая запатентованная технология IGCV по обработке трех материалов с использованием сплавления порошкового слоя позволяет производить корпуса аккумуляторных элементов из алюминия, меди и керамики — все в рамках одного производственного этапа (рис. 4). Этот инновационный подход позволяет создавать геометрически сложные корпуса, предлагая непревзойденную гибкость в проектировании и производстве.

Премия Ambassador Award

Премия присуждается выдающимся личностям или организациям, которые оказали уникальное влияние на отрасль и пользователей посредством инновационных подходов к обучению и образованию или личной пропаганды. В этом году победителем в номинации стал Университет Штутгарта. Совместно со стоматологами из университетской клиники Фрайбурга он разработал инновационные методы трансплантации костной ткани (рис. 5). Также проект включает в себя разработку новых смол с керамическим наполнителем и проектирование высокоточных костных имплантатов, оптимизированных для стереолитографии DLP. Он также включает в себя постобработку и очистку сложных трабекулярных пор, которые необходимы для производства безупречных керамических имплантатов.

Премия Design Award за дизайн при поддержке CIRP

Премию за дизайн получил исследовательский консорциум Siemens/3D-Process, куда вошли: Evonik Operations GmbH, Hanau, Siemens AG, Ineratec GmbH, Karlsruhe Institute of Technology.

Рис. 4. Корпуса аккумуляторных элементов из трех материалов, изготовленные аддитивным способом

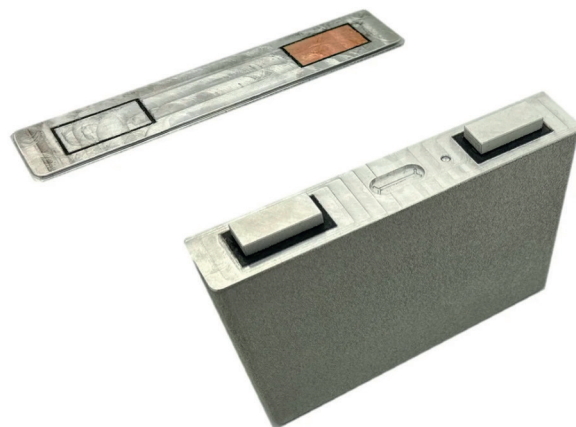


Рис. 5. Разработка высокоточных костных имплантатов, оптимизированных для DLP-стереолитографии



Рис. 6. Ускорение разработки химических реакторов за счет автоматизированного проектирования: быстрое создание и оптимизация геометрии за 45 минут, успешный синтез метанола при давлении H_2/CO_2 50 бар на установке KIT-IMVT (проведены испытания под давлением до 105 бар). Изображения: KIT-IKFT



Генеративный дизайн
(~ 45 минут)

Производство
и постобработка
(~ 1,5 дня)

Испытание на
герметичность и
под давлением для
устройств < 2 литров
(~ 2 часа)

Подготовка к
испытаниям синтеза
метанола (~ 1 день)

Быстрое прототипирование ~ 3 дня

Рис. 7. Реакторная система для синтеза химикатов для активных фармацевтических ингредиентов, управляющая высокоэкзотермическими реакциями с температурой охлаждения около -20°C вместо -70°C , что приводит к экономии энергии до 50 % и требует примерно на 50 % меньшего количества растворителя, чем при традиционном процессе. Фото: Evonik Industries →

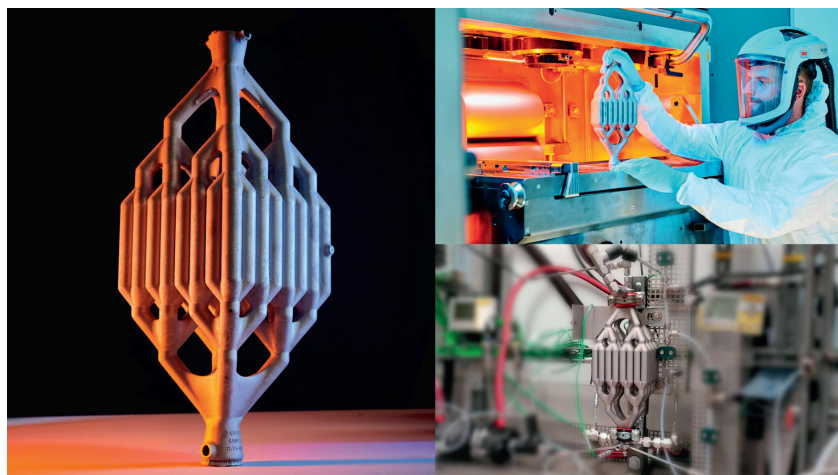
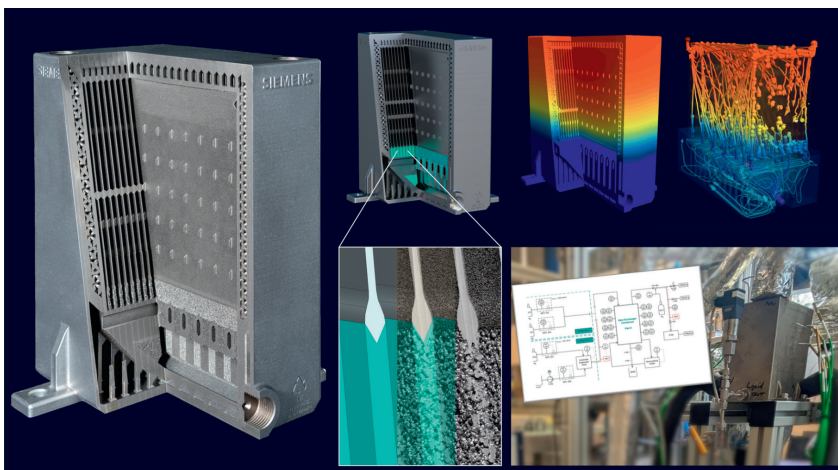


Рис. 8. Энергоэффективное разделение материалов за счет конденсации из потока горячего газа: интеграция теплообмена с повторным нагревом, охлаждаемый пористый сепаратор аэрозолей, разделение газа и жидкости и переохлаждение в одном компоненте для разделения метанола/воды и H_2/CO_2 при давлении 50 бар (испытано давлением до 300 бар). Изображения: Siemens AG; KIT-IKFT →



Консорциум представил примеры инновационных конструкций реакторов для химической промышленности (рис. 6–9), изготовленных аддитивным способом.

Применение в различных областях химических процессов демонстрирует универсальность и эффективность компонентов, изготовленных аддитивным способом:

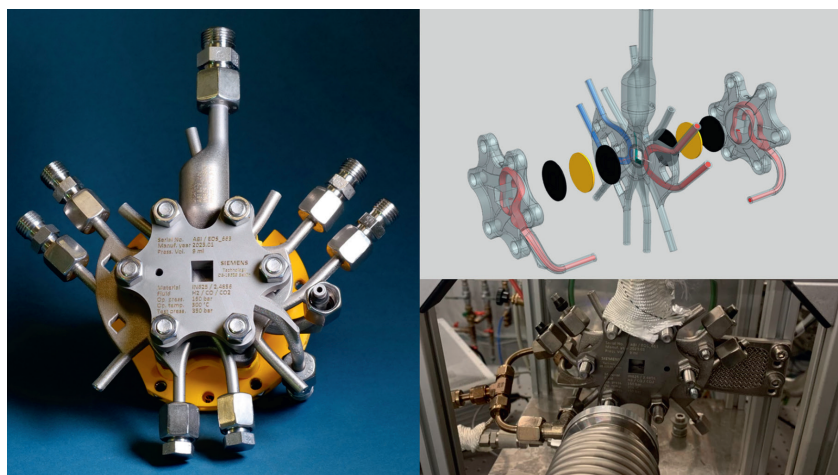
- При использовании программных генераторов геометрии с механизмами генеративного проектирования и оптимизированными параметризованными моделями САПР индивидуальные детали создаются всего за несколько минут (рис. 6).

- Химический синтез сложных молекул, например активных фармацевтических ингредиентов, становится все более устойчивым (рис. 7).

- Новые энергетические приложения, такие как синтез топлива и химического сырья в процессах высокого давления с использованием зеленого водорода, выигрывают от высокоинтегрированной функциональности (рис. 8).

- Сложные научные устройства, напечатанные на 3D-принтере, позволяют наблюдать за катализаторами во время реакций при высоких температурах и высоком давлении (рис. 9).

Рис. 9. Многофункциональный реактор для определения характеристик катализаторов в условиях чередующихся реакций с использованием рентгеновской спектроскопии для анализа тонкой структуры (EXAFS). Работает при температуре до 250°C / 90 бар H_2/CO_2 в немецком центре физики частиц DESY в Гамбурге и Европейском центре синхротронного излучения ESRF в Гренобле (проведены испытания под давлением до 350 бар). Изображения: Siemens AG; KIT-IKFT



Лучшие применения 3D-печати на Formnext 2024

Редакция медиа-ресурса 3Dnatives выделила на выставке Formnext, проходившей во Франкфурте с 19 по 21 ноября, восемь удивительных приложений, представленных компаниями на своих стендах (порядок произвольный).

Многокомпонентное ракетное сопло на стенде InssTek (рис. 1)

Трехтонное ракетное сопло (с размерами 301×201×567 мм, изготовленное за 600 часов) и удлинитель (432×270×169 мм, изготовленный за 64 часа) были созданы с использованием 3D-печати Directed Energy Deposition в партнерстве с Корейским институтом аэрокосмических исследований (KARI). Внутренняя часть сопла изготовлена из алюминиевой бронзы, а внешняя — из Inconel 625, для удлинителя использовался C-103 — один из самых интересных материалов в космической промышленности. Двигатель прошел тщательное тестирование, включая успешные испытания на сгорание.

3D-печать металлической рамы электромотоцикла премиум-класса (рис. 2)

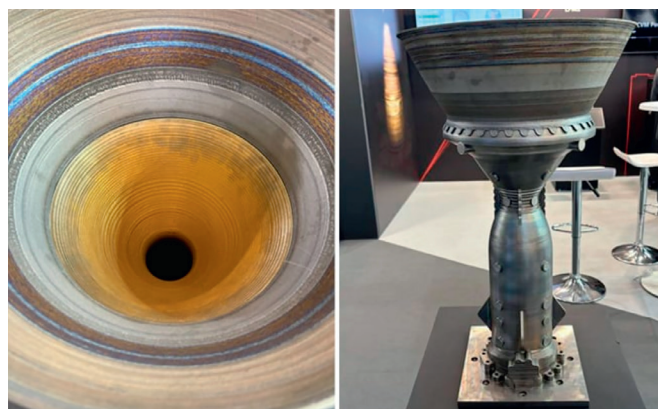


Рис. 1. Фото: <https://www.3dnatives.com>



Рис. 2. Фото: <https://www.3dnatives.com>

Азиатская компания Farsoon объединила усилия со Stark Future и выполнила полную раму мотоцикла из титанового сплава на 3D-принтере Farsoon FS721M-H-8-CAMS, имеющем объем сборки 720×420×650 мм и оснащенном восемью волоконными лазерами мощностью 1000 Вт. Оборудование также включает в себя решение для непрерывного аддитивного производства (CAMS) Farsoon, которое использует уникальную конвейерную систему и стратегию сменных картриджей для поддержания непрерывного процесса печати.

Fidentis и его многокомпонентные металлические зубные протезы (рис. 3)

Стартап Fidentis (отделился от Fraunhofer IGCV) разработал роботизированное решение для лазерной порошковой сварки нескольких материалов, которое особенно хорошо подходит для создания зубных протезов. Представленный на выставке протез изготовлен из CoCr с золотом, наплавленным на поверхность трения. Компания отмечает, что данный процесс в 20 раз быстрее и на 60% дешевле традиционных методов. Fidentis стал финалистом новой премии Rookie Award на Formnext 2024.



Рис. 3. Фото: Fidentis

Внутриушные мониторы для музыкантов

На стенде Bright Laser Technologies (BLT) показали внутриушные мониторы, изготовленные с использованием металлического 3D-принтера BLT A160. Разработанные компанией Earfit, они имеют размер 160×160×160 мм и обеспечивают персонализированный высококачественный, кристально чистый звук.

Велосипед Renishaw, завоевавший олимпийскую медаль (рис. 5)

Британский производитель Renishaw продемонстрировал трековый велосипед, разработанный для



Рис. 4. Фото: <https://www.3dnatives.com>



Рис. 5. Фото: <https://www.3dnatives.com>



Рис. 8. Фото: <https://www.3dnatives.com>

British Cycling совместно с Lotus Engineering и Hope Technology, который помог завоевать восемь медалей на Олимпиаде в этом году. Он особенно интересен тем, что включает детали, напечатанные из титана на 3D-принтере с использованием RepAM 500Q компании Renishaw. Речь идет о подседельном штыре и шатуне, хотя были также изготовлены и более мелкие компоненты, такие как мостик седла и дропауты. Если говорить о шатуне велосипеда, то он был изготовлен из Ti6Al4v и включал внутреннюю решетчатую структуру для поддержания прочности детали при одновременном соблюдении требований к весу велосипеда.

Самая большая в Финляндии металлическая деталь, напечатанная на 3D-принтере (рис. 6)

Представленный сосуд под давлением не только является крупнейшим в Финляндии изделием, выполненным с помощью металлической 3D-печати, но интересен тем, что был испытан в соответствии со стандартом сосудов под давлением EN 13445-3.

Деталь весом 300 кг была изготовлена с использованием технологии WAAM из кислотостойкой нержавеющей стали, имеет диаметр 900 мм и высоту 1600 мм и в ходе испытаний смогла выдержать давление до 111 бар, что является невероятным достижением, учитывая, что изначально была рассчитана на рабочее давление



Рис. 6. Фото: <https://www.3dnatives.com>

Рис. 7. Фото: Eplus3D (<https://3dprintingindustry.com/>)



10 бар. Это результат сотрудничества между Andritz Savonlinna Works Oy и экосистемой Fame, а также Университетом LUT, проводившим неразрушающие и разрушающие испытания.

Крупнейший в мире ракетный двигатель, напечатанный из металла (рис. 7)

Как заявляют компании E-Plus и LEAP 71, это самый большой в мире металлический 3D-напечатанный ракетный двигатель. Его мощность 200 кН. Он был изготовлен как единая деталь и имеет высоту более 1,3 метра. Двигатель, работающий на криогенном жидком кислороде и керосине, является усовершенствованием ракетного двигателя Noignon TKL-5, который LEAP 71 успешно испытал в июне, но, по-видимому, он в 40 раз мощнее. Он был изготовлен с использованием AlSi10Mg, высокопроизводительного алюминиевого сплава, на принтере Eplus3D EP-M650-1600 Metal Powder Bed Fusion.

Пятивыходная насадка для коксовых батарей (рис. 8)

Специально разработанное сопло с пятью выходами, изготовленное ArcelorMittal и TheSteelPrinters, объединяет пять отдельных сопел в один компонент с целью уменьшения объема обслуживания детали. Она не только была выполнена по индивидуальному заказу и сократила время производства до 3 недель по сравнению с 4 месяцами, но и изготовлена из материала, заслуживающего внимания. AdamIQ3167L был разработан TheSteelPrinters, поставщиком услуг 3D-печати по металлу, оптимизирован для LPBF и начинает выводиться на рынок. Полученная деталь весит 8 кг и имеет размеры 73×300×228 мм.

<https://www.3dnatives.com/en/the-coolest-metal-applications-at-formnext-2024-201120244/#!>



Контроль геометрии отливок



Евгения Тверская, инженер по развитию компании Top 3D Shop

Контроль геометрии отливок — один из важнейших этапов производственного процесса, который гарантирует соответствие детали заданным допускам.

Существует множество методов контроля, которые зависят от точности, размера, материала и сложности отливки. В статье представлены основные подходы и методы.

1. Визуальный контроль — это метод, который позволяет выявить видимые дефекты, такие как трещины, пористость или неровности формы или отделки отливки.

Процесс производят в два этапа: 1) Предварительный осмотр выполняют по завершении выбивания отливки из литейной формы. 2) Повторный осмотр происходит вслед за заключительной очисткой отливки от литников и облоя.

Также используют шаблоны с контурами отливки для быстрого сравнения формы и размеров. Фото- и видеофиксация позволяет документировать дефекты и отслеживать динамику их появления.

2. Измерения с помощью ручного инструмента

- Штангенциркуль: для измерения линейных размеров, толщины стенок, диаметров.
- Микрометр: для более точных измерений, особенно малых размеров и толщин.
- Угломер: для измерения углов между поверхностями.
- Глубиномер: для измерения глубин отверстий и канавок.
- Радиусные шаблоны: для контроля радиусов скруглений.
- Резьбомеры: для контроля резьбы (диаметра, шага).
- Калибры: проходные и непроходные для быстрого контроля размеров (отверстий, валов).

3. Координатно-измерительные машины (КИМ)

3D-измерения: КИМ позволяют проводить высокоточные трехмерные измерения сложных деталей, а именно:

- проверку соответствия изделия CAD-модели;
- осуществление контроля формы;
- проведение контроля геометрии в труднодоступных местах;
- обнаружение минимальных отклонений геометрии объектов, таких как производственные дефекты или брак;
- повышение точности изготовления отдельных элементов.

4. Оптические методы

- Оптические компараторы используются для сравнения профиля отливки с шаблоном, проецируемым на экран.
- Проекторы позволяют увеличивать изображение отливки для детального осмотра и измерения.
- Цифровые микроскопы используются для детального осмотра поверхности отливки, выявления дефектов и измерения микроразмеров.

5. Рентгеновский контроль

- Внутренний контроль: рентгеновское излучение позволяет обнаруживать внутренние дефекты, такие как поры, раковины, трещины и включения.
- Неразрушающий контроль: этот метод не повреждает отливку и позволяет проверить её без разрушения.

6. Ультразвуковой контроль

- Выявление дефектов: ультразвук используется для обнаружения внутренних дефектов, таких как поры, трещины и несплавления.
- Контроль толщины стенок: ультразвуковой контроль позволяет измерять толщину стенок отливки.
- Неразрушающий контроль: метод не повреждает отливку.

7. Компьютерная томография (КТ) — эффективный метод контроля качества отливок. Он позволяет получить трёхмерное изображение внутренней структуры отливки и детально проанализировать её внутренние особенности.

Некоторые возможности КТ-контроля отливок:

- Выявление трещин, пустот, пор и включений. Также с помощью КТ можно визуализировать и проанализировать пустоты и включения.

Рис. 1



- Расчёты пористости (площадная пористость, объёмная пористость, распределение пор по размерам и т.д.).
- Расчёт морфологических параметров для каждой поры, трещины или включения (объём, эквивалентный диаметр, направление).
- Автоматизированная оценка толщины стенок литой детали.
- Выделение контура литой детали и его сопоставление с контуром 3D-модели детали для сравнения её заданных и фактических параметров с моделью, разработанной в САПР.
- Контроль степени износа литевых форм при серийном выпуске деталей.
- Оценка прочностных характеристик готового изделия с применением математического моделирования.
- Контроль качества внутренних полостей.

8. Лазерное сканирование — это метод контроля геометрии, набирающий популярность, так как позволяет быстро и с метрологической точностью получать данные о размерах и геометрии отливки (рис. 1). Краткое описание процесса:

- Сканирование: 3D-сканер (лазерный, структурированный свет, фотограмметрия) захватывает данные с поверхности объекта, создавая облако точек.
- Обработка данных: облако точек преобразуется алгоритмами программы в полигональную модель (или сетку).
- Сравнение с CAD-моделью: полученная 3D-модель сравнивается с эталонной CAD-моделью или техническим чертежом.
- Анализ отклонений: программное обеспечение анализирует различия между отсканированной моделью и эталоном, выявляя отклонения в размерах, форме, положении и ориентации.

Преимущества использования 3D-сканирования для контроля наружной геометрии отливок:

- Скорость сканирования: лазерные сканеры позволяют быстро собирать данные с поверхности отливки и преобразовывать их в тело, готовое для контроля геометрии.
- Точность: в зависимости от произво-

дителя погрешность сканера может составлять 15–20 мкр, что для литья в ХТС или по выплавляемым формам будет являться приемлемым показателем.

- Контроль крупных отливок: в зависимости от допусков готового изделия можно применять сканер для контроля геометрии габаритных отливок (3–5 метров).
- Сложность формы: сканер применяется, когда измерение стандартными инструментами трудоемко или занимает много времени.

Выбор метода контроля зависит от:

- Требуемой точности: для прецизионных отливок требуются КИМ или лазерное сканирование, в то время как для менее точных отливок достаточно ручного инструмента и визуального контроля.
- Размеры и формы отливки: для больших отливок удобно использовать лазерное сканирование и КИМ, а для малых — ручной инструмент.
- Материала отливки.
- Серийности производства: при массовом производстве могут быть использованы автоматизированные методы контроля.

Этапы контроля

- Планирование: определите, какие параметры отливки необходимо контролировать, какие методы будут использоваться и какие допуски должны быть соблюдены.
- Контроль: проведите измерения в соответствии с планом контроля.
- Анализ: сравните результаты измерений с заданными допусками и выявите отклонения.
- Корректировка: если обнаружены отклонения, внесите изменения в технологический процесс для устранения дефектов.

Современные тенденции

- Цифровизация: все чаще применяются цифровое моделирование и автоматизированные методы контроля.
- Интеграция: происходит интеграция процессов контроля с другими этапами производства.
- Анализ данных: все больше внимания уделяется анализу данных контроля для улучшения качества и оптимизации производства.

В завершение следует подчеркнуть, что контроль геометрии отливок представляет собой сложный и многогранный процесс, включающий применение разнообразных методов и инструментов. Успешное обеспечение качества и соответствие техническим требованиям отливки во многом зависят от правильного выбора подходящего метода контроля с учетом заданных параметров. ■

Механические и термические свойства ПЭТГ пластика для экструзионной аддитивной технологии

П.А. Петров^{1*}, Б.Ю. Сапрыкин¹, К.А. Поляков¹

¹ Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

e-mail*: petrov_p@mail.ru

Классификация аддитивных технологий, рассматриваемая в стандартах ASTM F2792.1549323-1 и ГОСТ Р 57589-2017, включает в себя семь категорий аддитивных процессов (далее — АП) каждой из которых соответствует одна базовая технология. Экструзионная аддитивная технология (англ. — Material Extrusion) является одной из базовых технологий. Процесс экструзии материала предполагает выборочную подачу материала через сопло (ГОСТ Р 57558-2017, ГОСТ Р 57589-2017). Схема данного процесса представлена на рис. 1 [1].

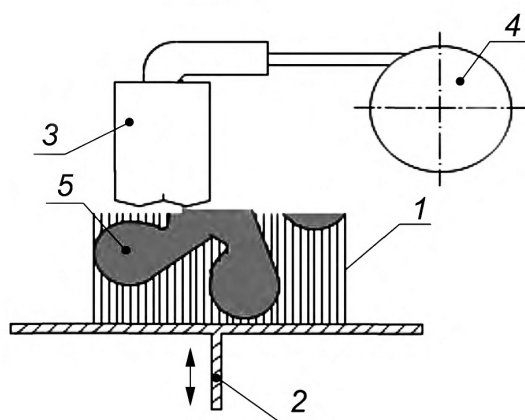
Категория «экструзия материала» включает в себя несколько вариантов реализации базовой технологии: FDM (Fused Deposition Modeling) и FFF (Fused Filament Fabrication) — экструзия нити термопластичного полимерного материала, FGF (Fused Granular

Fabrication) — экструзия гранул термопластичного полимерного материала и др. При этом принцип формирования самого изделия в данной категории практически не меняется; основан на нагреве термопластичного материала до температуры, начиная с которой материал переходит в вязкотекучее состояние. Экструзия материала выполняется из этого состояния, но температура 3D-печати не должна превышать температуру деградации. В качестве исходного материала применяют: филамент (далее — нить) полимерного мономатериала либо композиционного материала, в том числе с высоким содержанием металлического порошка; гранулы мономатериала либо композиционного материала; а также композиционные материалы на основе смеси термопластичного полимера и фотоотверждаемого полимера. Многовариативность базовой технологии в категории «экструзия материала» определяется потребительскими требованиями целевой аудитории. Важными потребительскими ценностями аддитивной технологии (далее — АТ) являются: стоимость, качество (повторяемость, шероховатость поверхности), производительность, функциональность.

В данной статье приводится оценка механических и термических свойств термопластичных пластиков ПЭТГ, отличающихся друг от друга по температуре стеклования. Результаты наших исследований позволяют расширить данные о свойствах современных полимерных материалов, выпускаемых под маркой ПЭТГ, применяемых для FFF 3D-печати, а также могут быть полезными при выборе режима 3D-печати.

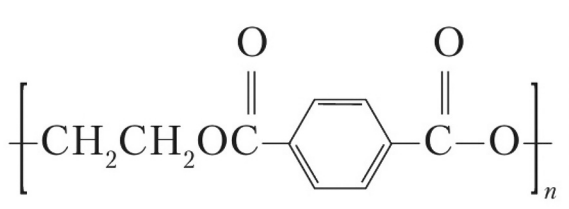
Технологию FFF активно развивают компании-производители оборудования примерно с конца 2000-х годов. К 2013 году на рынке расходных материалов для технологии FFF были, в основном представлены два пластика — АБС (ABS) и ПЛА (PLA). К 2015 году популярность начинает набирать еще один термопластичный пластик — ПЭТГ (полиэтилентерефталат, модифицированный гликолем).

Рис. 1. Схема рабочей области оборудования для реализации процесса экструзии [1]



- 1 — поддерживающая структура;
- 2 — строительная (рабочая) платформа совмещенная с механизмом её перемещения;
- 3 — печатающая головка, включающая сменный рабочий инструмент — подогреваемое сопло;
- 4 — исходный материал;
- 5 — получаемый продукт

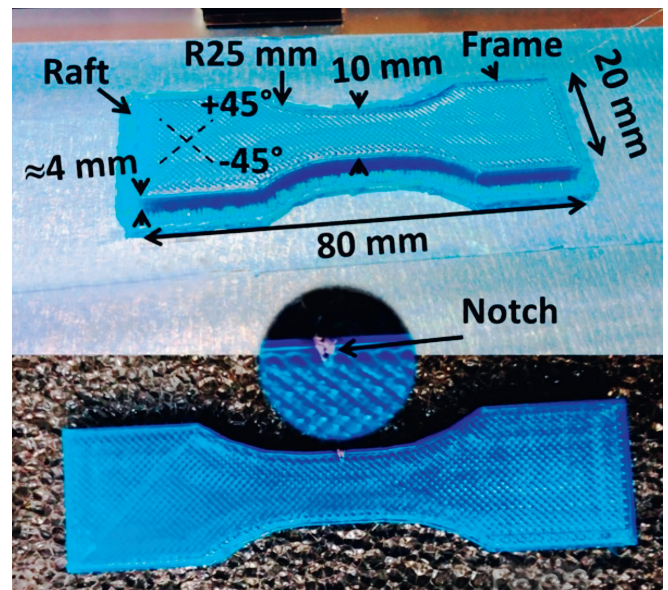
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ или ПЭТ – ГОСТ 24888-81, ГОСТ Р 51695-2000) – сложный полиэфир на основе этиленгликоля и терефталевой кислоты. Химическая формула ПЭТФ:



ПЭТФ является оптически прозрачным в видимой части спектра при толщине слоев менее 50 мкм, имеющих показатель преломления 1,574 [2]. Температурный режим переработки ПЭТФ лежит в диапазоне 100–200 °С. Температура плавления – 250 °С, температура стеклования – 78 °С по ГОСТ 51695-2000. Одной из особенностей процесса получения ПЭТФ является то, что при быстром охлаждении расплава до комнатной температуры получается аморфный полимер; при медленном охлаждении – кристаллический [3].

Для экструзионной аддитивной технологии применяют нить из ПЭТГ. Это материал обладает низкой термической усадкой, хорошей межслойной адгезией, не кристаллизуется. Например, для марочного ПЭТГ AzureFilm температура плавления нити составляет 180–250 °С [4]; однако температура стеклования в спецификации не определена. В качестве сравнения по разбросу значений температуры стеклования и температуры плавления приведем еще несколько примеров их определения для марочных ПЭТГ: марка 3DFilTech – температура стеклования 77 °С и температура плавления не представлена в работе [5]. В работе [6] отмечено, что температура стеклования ПЭТГ может составлять 88 °С.

Рис. 3. Образец на растяжения из пластика ПЭТГ марки [5]: raft – подложка, frame – оболочка (стенка), notch – шов



Формализованная модель технологического процесса экструзионной 3D-печати показана на рис. 2. Данную схему мы обсуждали в нескольких публикациях ранее. Знание температуры стеклования и температуры плавления пластика ПЭТГ имеет значение для выбора режима 3D-печати.

Для вышеуказанного материала 3DFilTech в работе [5] показано, как выбор температуры влияет на механические свойства и пористость (несплошность) изделия после 3D-печати в сравнении с данными параметрами до обработки (табл. 1). Образцы, по результатам растяжения которых были получены в работе [5] механические свойства, являются типовыми (рис. 3), имеют стиль заполнения типа zig-zag.

В работе [7] отмечалось, что выбор ориентации образца и стиля заполнения влияет на значения механиче-

Рис. 2. Модель экструзионной технологии (FDM/FFF/FGF)

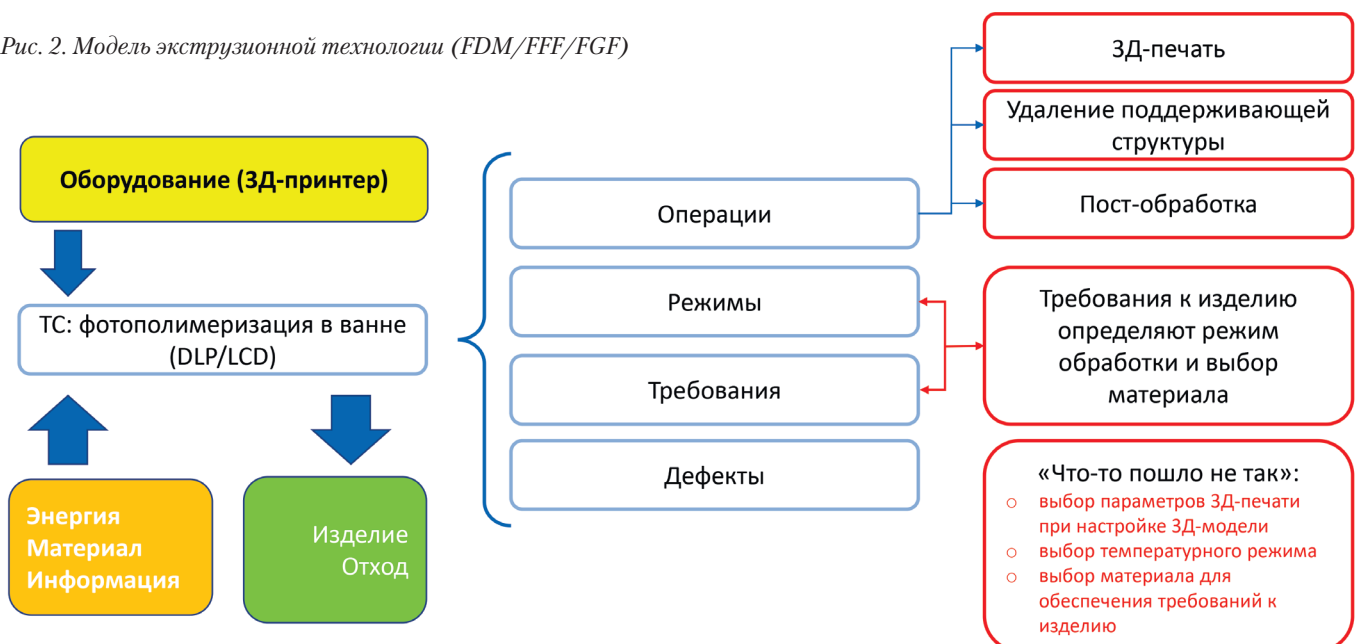


Таблица 1. Механические свойства пластика ПЭТГ 3DFilTech [5]

Состояние материала	Температура 3D-печати, °C	Плотность, г/см ³	Пористость (несплошность)*, %	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение до разрушения, %
до 3D-печати	—	1,26–1,28	0	54,3	400
после 3D-печати	240	1,03	19	32,3	8,8
	250	1,07	16	34,0	11,7

Примечание: * по результатам измерения плотности [5]

ских свойств, определяемых по результатам испытания на растяжение плоских образцов. В зависимости от вышеуказанных параметров, характеристики механических свойств (предел прочности, предел текучести) являются или прочностными характеристиками самого материала, или отражают прочность конструкции образца для растяжения.

В случае растяжения исходного материала в форме нити (табл. 1), полученный результат испытания

отражает свойства материала; при растяжении напечатанного образца, форма которого показана на рис. 3, — свойства конструкции образца. Напротив, если вместо стиля zig-zag задать стиль concentric и расположить образец под углом 0° либо 90° по отношению к рабочей платформе (рис. 4), то результаты испытаний характеризуют свойства материала.

Материал для исследования

Образцы для исследования изготавливались из нити диаметром 1,75 мм прозрачного термопластичного ПЭТГ-пластика, выпускаемого под маркой: Azure PETG (компания AzureFilm, Словения), eSun PETG (компания eSUN, Китай), Ultrafuse PET (компания BASF, Германия).

Типы образцов и методы исследования

Образцы для исследования механических свойств аналогичны тем, что показаны на рис. 4. Изготовление образцов выполнено с применением 3D-принтера Anycubic 4Max Pro. В табл. 2 представлено описание параметров, определяющих выбранный режим 3D-печати образцов; в табл. 3 — размеры образцов.

Измерение механических свойств образцов (относительное удлинение и предел прочности) проводится с использованием универсальной испытательной уста-

Таблица 2. Параметры 3D-печати образцов

Параметр	Значение
Образец для испытания на одноосное растяжение	Тип A12 (рис. 4)
Температура сопла, °C	215
Температура рабочего стола, °C	70
Диаметр сопла, мм	0,4
Ширина линии, мм	0,4
Толщина слоя, мм	0,1
Толщина стенки (оболочки), мм	0,8
Обдув	100%
Ретракт	да
Плотность заполнения, %	100%
Стиль заполнения	concentric
Поддержки	только для угла ориентации 90°

Рис. 4. Типы образцов, изготовленные для проведения исследований

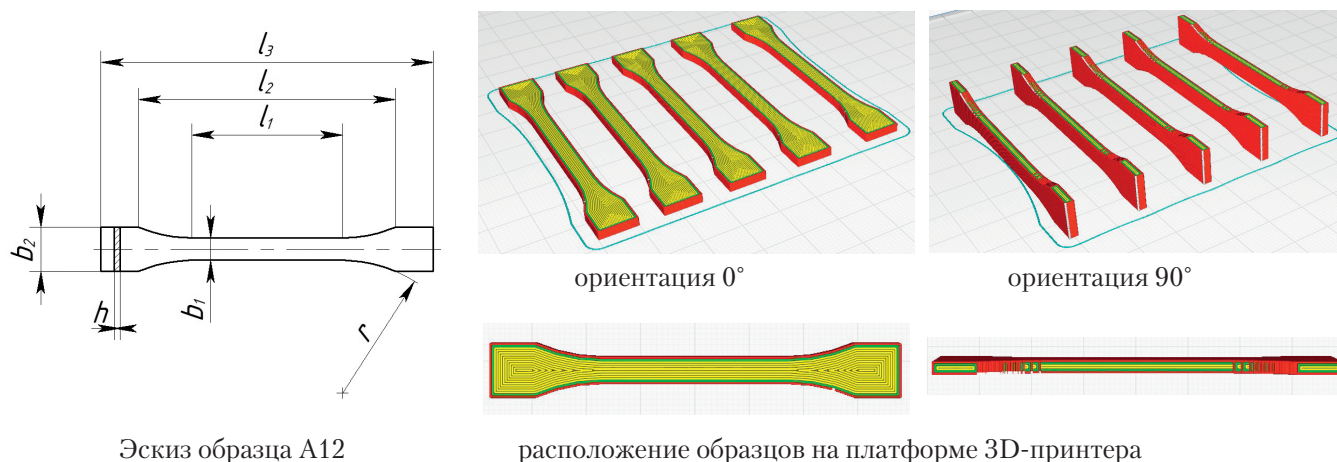


Таблица 3. Размеры образцов для испытания на растяжение

Параметр	Значение
Образец для испытания на одноосное растяжение	Тип A12 (рис. 4)
Общая длина, L , мм	75,0
Расстояние между широкими частями с параллельными сторонами, L_1 , мм	58,0
Ширина головки, b_2 , мм	10,0
Ширина узкой (рабочей) части, b_1 , мм	5,0
Толщина, h , мм	2,4
Радиус закругления, r , мм	30,0

новки Tinius Olsen 50ST двухколонного типа с максимальной нагрузкой 50 кН (5000 кгс). До начала испытаний замерялось поперечное сечение каждого образца исследуемого материала; после установки и закрепления каждого образца в захваты испытательной установки — расстояние между захватами; в процессе проведения испытаний регистрировали текущее значение силы растяжения и величину перемещения активного захвата испытательной установки. В результате автоматической обработки данных об испытании определялись значения относительного удлинения и предела прочности.

Температура стеклования (средняя) исследуемого материала до 3D-печати определялась методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) с применением прибора компании Mettler Toledo. Режим проведения опыта методом ДСК: нагрев в диапазоне от 0 °C до 300 °C со скоростью 20K/мин в среде N2.

Результаты и обсуждение

Термические свойства ПЭТГ-пластика, определены по результатам ДСК анализа, — результаты представлены в табл. 4. Данные производителей о температуре стеклования (T_g) и температуре плавления ($T_{пл}$) в технических спецификациях на исследуемые материалы не приводятся.

Механические свойства исследованных полимеров представлены в табл. 5. Здесь же приводятся данные производителя — как правило, их указывают в технической спецификации на материал.

В [8] отмечается, что температура стеклования зависит от строения полимера, оказывающего влияние на кинетическую гибкость цепи и на энергию межмолекулярного воздействия. С ростом молекулярной массы температура стеклования повышается. По всей видимости, Ultrafuse PET по своему строению ближе к ПЭТ и переходит в текучее состояние при меньшей температуре нагрева.

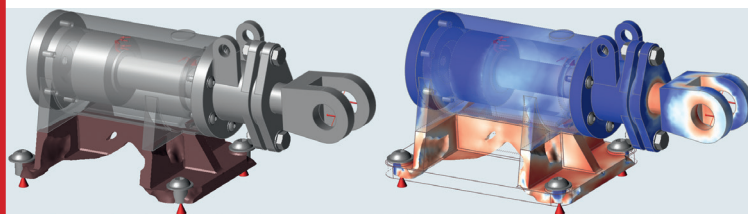


**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

Кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета специализируется на компьютерном проектировании технологии и создании её цифрового двойника (digital twin). Задача специализации — получение наилучшего совпадения результатов моделирования с результатами натурных экспериментов. В своей работе сотрудниками кафедры применяется современное российское и зарубежное программное обеспечение.

ОСНОВНЫМИ НАПРАВЛЕНИЯМИ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТОК КАФЕДРЫ ЯВЛЯЮТСЯ:

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



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

КАФЕДРОЙ ВЕДЁТСЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ ПО СЛЕДУЮЩИМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ:

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



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



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

Таблица 4. Значения средней температуры стеклования (T_g) и температуры плавления (T_m) различных композиций ПЭТГ-пластика по результатам ДСК анализа

Материал	Значение T_g , °C (опыт)	Значение T_g , °C (производитель)	Значение T_m , °C (опыт)	Значение T_m , °C (производитель)
Azure PETG	76,95	н/о	217,74	180–250
eSun PETG	78,17	н/о	217,52	190
Ultrafuse PET	69,85	71,0	222,47	н/о

Таблица 5. Механические свойства (предел прочности и относительное удлинение) ПЭТГ-пластика

Материал	Предел прочности, МПа, при ориентации образца		Относительное удлинение, %, при ориентации образца		По данным производителя	
	0°	90°	0°	90°	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение, %
Azure PETG	63,90	68,07	4,98	5,81	56,7 (0°)* 59,2 (90°)*	8,7 (0°)* 4,3 (90°)*
eSun PETG	52,03	52,23	5,92	6,09	52,2	83,0
Ultrafuse PET	57,80	70,23	3,04	4,40	33,4 (0°) н/о (90°)	2,7 (0°) н/о (90°)

Примечание:

* образцы из Azure PETG производитель печатает с 100% заполнением, толщиной слоя 0,2 мм и 2-мя оболочками

Изменение угла ориентации образца при 3D-печати с 0° на 90° приводит к некоторому увеличению прочности образца материала Azure PETG и Ultrafuse PET. Для полимерного материала eSun PETG зависимость предела прочности от выбранного в данном исследовании угла ориентации не проявляется.

Относительное удлинение, характеризующее пластичность материала, незначительно увеличивается для Azure PETG и Ultrafuse PET при изменении угла ориентации (таблица 5); для материала eSun PETG практически не изменяется. Подобный характер изменения механических свойств позволяет предположить о более-менее однородной структуре образцов, учитывая, что стиль заполнения, плотность заполнения и прочие параметры 3D-печати выбраны одинаковыми для двух углов ориентации (таблица 2).

Выводы

Проведенное исследование и полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Температура начала теплового процесса зависит от температуры стеклования композиции прозрачного полимерного материала ПЭТГ (таблица 4).

2. Предел прочности исследуемого материала меняется при изменении температуры стеклования и угла ориентации образца при 3D-печати (таблица 5).

3. Исследуемые материалы показывают примерно одинаковые механические свойства в зависимости от угла ориентации образца на рабочей платформе для значений 0° и 90°. Это позволяет сделать предположение об отсутствии сильно выраженной анизотропии. ■

Литература

- ГОСТ Р 57589-2017. Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы — часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2017. С. 8.
- Урманцев У.Р., Грудников И. Б., Табаев Б. В., Лакеев С. Н., Ишалина О. В. / Химия и технология производства полиэтилентерефталата: уч. пособие Урманцев У. Р., Грудников И. Б., Табаев Б. В., Лакеев С. Н., Давыдова О. В. 2015. С. 130.
- Серова В. Н. Полимерные оптические материалы. — СПб.: Научные основы технологии, 2011. — 384 с.
- Technical Data Sheets Archive — AzureFilm. [электронное издание] URL: <https://azurefilm.com/technical-data-sheets>
- Guessasma S., Belhabib S., Nouri H. Printability and tensile performance of 3D printed polyethylene terephthalate glycol using fused deposition modelling. // Polymers (Basel), 2019, 11 (7), doi: 10.3390/polym11071220.
- Oladapo B.I., Adeoye A. O.M., Ismail M. Analytical optimization of a nanoparticle of microstructural fused deposition of resins for additive manufacturing. // Composites Part B: Engineering, 2018, 150, pp. 248–254.
- Yao T., Ye J., Deng Z., Zhang K., Ma Y., Ouyang H. Tensile failure strength and separation angle of FDM 3D printing PLA material: Experimental and theoretical analyses. // Composites Part B: Engineering, 2020, 188, — pp.107894.
- Технология переработки полимеров. Физические и химические процессы: учеб. пособие для вузов / под ред. М. Л. Кербера. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: издательство Юрайт, 2019-316 с. — (Серия: Университеты России).



Главное событие отрасли
в России и странах СНГ

ФОТОНИКА

МИР
ЛАЗЕРОВ
И ОПТИКИ

1–4 апреля 2025

19-я международная специализированная выставка
лазерной, оптической и оптоэлектронной техники

Реклама



12+

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.photonics-expo.ru



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



ЭКСПОЦЕНТР

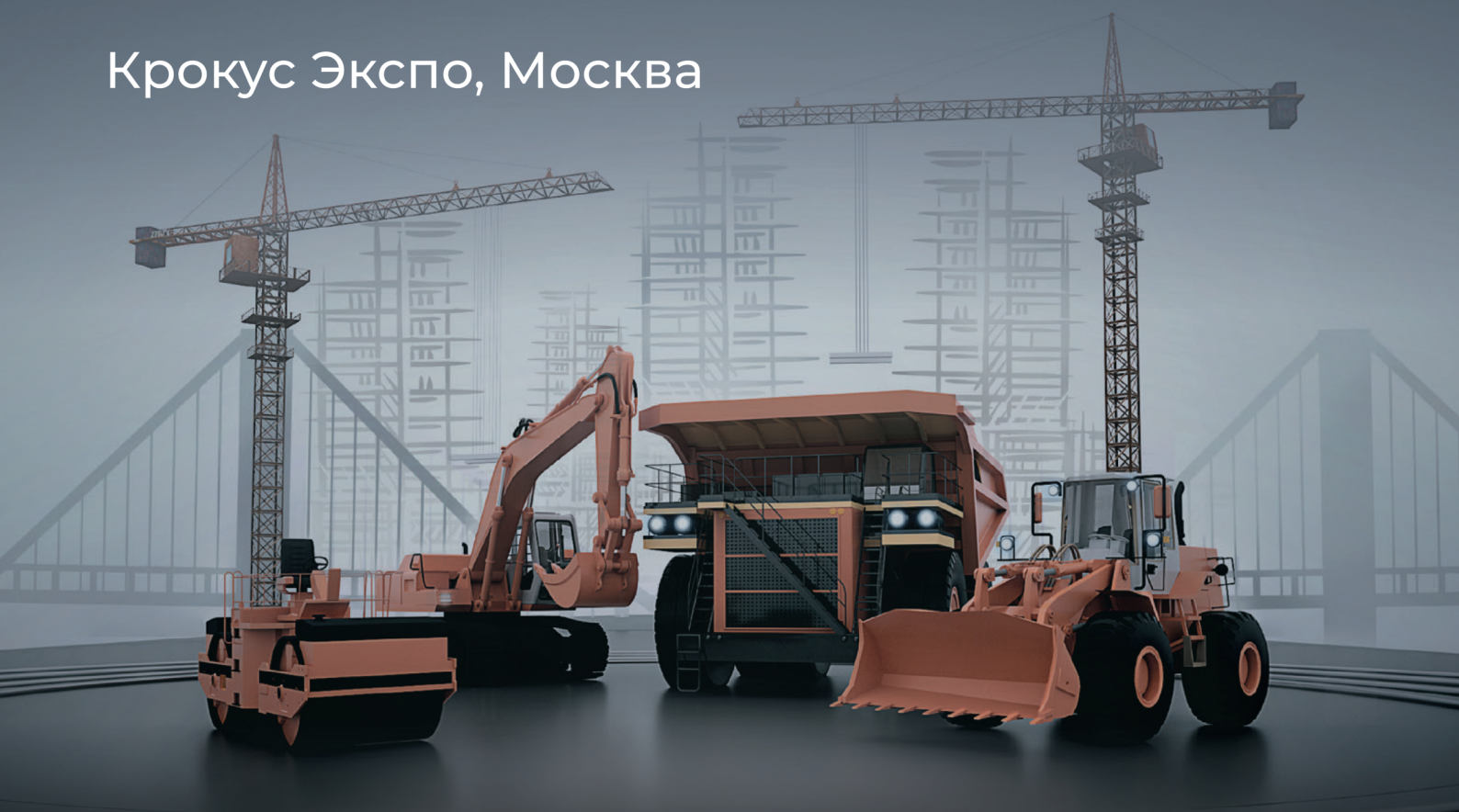
25^{ЛЕТ} СТТ ЭХРО

ОСНОВА ВАШЕГО УСПЕХА

Главная выставка строительной
техники и технологий в России

27–30 мая 2025

Крокус Экспо, Москва



Разделы выставки:

- Строительная техника и транспорт
- Производство строительных материалов
- Добыча, обогащение и транспортировка полезных ископаемых
- Запчасти и комплектующие для машин и механизмов. Смазочные материалы

Организатор

**SIGMA
XPO**

При поддержке

КРОКУС ЭКСПО
Международный выставочный центр



ctt-expo.ru



РОССИЯ, МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

НЕФТЕГАЗ

24-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

«ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА»

14-17.04.2025

Подробности на сайте
www.neftegaz-expo.ru

Реклама 12+



МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Минпромторг
России



СОЮЗ
НЕФТЕГАЗОПРОМЫШЛЕННИКОВ
РОССИИ



ЭКСПОЦЕНТР

ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ на 2025 год



РИТМ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вы можете оформить подписку на журнал «РИТМ машиностроения»

с любого месяца. Стоимость одного номера — **1000** рублей,

стоимость годовой подписки (7 номеров) — **7000** рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон
по адресу: ritm@gardesdash.com

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»

Юр. адрес: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б

Почт. адрес: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 105

ИНН 7708266787

КПП 770801001

Р/с 40702810400120033781

ПАО АКБ «АВАНГАРД»

г. Москва

К/с 30101810000000000201

БИК 044525201

Фамилия, имя, отчество (получателя):

Наименование предприятия (организации, фирмы):

Индекс и полный почтовый адрес (получателя):

Юридический адрес (для выставления счета)

ИНН/КПП

Телефон:

E-mail (если он имеется)

Подписка на журнал «РИТМ машиностроения»:

номер

год

Подписка на журнал «Аддитивные технологии»:

номер

год



Вы можете оформить подписку на журнал «Аддитивные технологии»

с любого месяца. Стоимость одного номера — **1000** рублей,

стоимость годовой подписки (4 номера) — **4000** рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон
по адресу: info@additiv-tech.ru



107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1, т/ф (499) 55-9999-8,

e-mail: ritm@gardesdash.com, www.ritm-magazine.ru

e-mail: info@additiv-tech.ru, www.additiv-tech.ru



NMF
EXPO

3-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

ПО МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

7-10 ОКТЯБРЯ 2025

МОСКВА, "КРОКУС ЭКСПО", ПАВИЛЬОН 1

NMF-EXPO

**ДЕМОНСТРАЦИЯ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ**

**УЧАСТВУЙ В ВЫСТАВКЕ И ПОЛУЧИ НОВЫХ КЛИЕНТОВ
И ВЫГОДНЫЕ КОНТРАКТЫ!**

NMF-EXPO.RU

ЗАБРОНИРУЙТЕ СТЕНД



ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ:



РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ





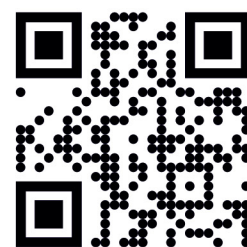
TOP 3D GROUP — ХОЛДИНГ ПО ИНТЕГРАЦИИ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ В РОССИИ



ИНТЕГРАТОР
ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ

Инжиниринг полного цикла — от разработки концепции проекта автоматизации вашего производства до внедрения технологического решения и гарантийного и постгарантийного сервисного сопровождения.

- Промышленный инжиниринг, реверс-инжиниринг, контрактная печать
- Поставки и интеграция промышленного аддитивного оборудования
- Проведение НИР, НИОКР
- Инжиниринг в сфере неразрушающего контроля
- Поставки и интеграция промышленных и коллаборативных роботов
- Обучающие программы цифрового производства



Top 3D Group — холдинг
по интеграции цифровых
решений в России

+7 (499) 290 24 20

✉ prom@top3dshop.ru