



ГИП для
улучшения
свойств изделий,
произведенных
методом
3D-печати

16



3DMIX:
актуальные
цели и задачи

32

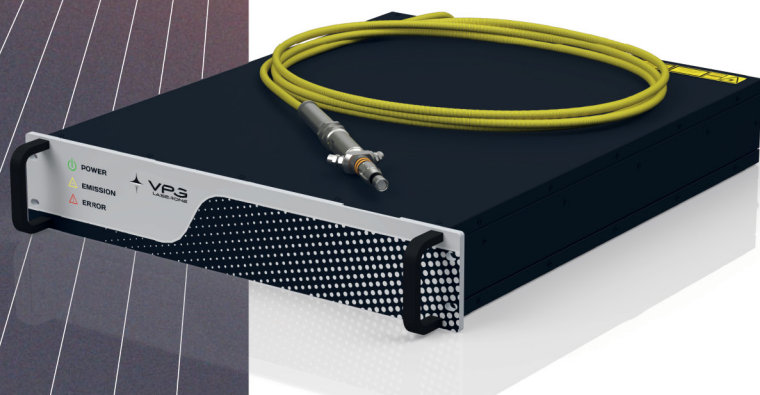


Обзор рынка
PETG-пластиков
и исходные
данные
для задачи
машинного

50

ИТТЕРБИЕВЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР СЕРИИ YLR-XXXX-U-R-SM

Новая линейка одномодовых лазеров до 2 кВт
Идеально для 3D-SLM-печати!



Выходная мощность

до 2 кВт



ПРИМЕНЕНИЕ

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



ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

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

Подробнее о серии YLS

Лазеры серии YLR-XXXX-U-R-SM — это самые компактные в отрасли непрерывные одномодовые волоконные излучатели киловаттного диапазона отечественного производства, объединяющие в себе последние достижения в мире лазерных технологий.

Малый диаметр световой жилы 10 или 14 мкм обеспечивает высочайшее качество пучка $M^2 < 1,1$ и возможность сфокусировать мощное лазерное излучение в наиболее узкий из возможных пучков. Благодаря этим свойствам одномодовые лазеры активно используются для прецизионного лазерного раскроя, производительной и точной 3D-SLM-печати, в том числе с применением медных порошков, а также для сварки высокоотражающих металлов.

Система внутренней самодиагностики, высочайшая надёжность компонентов и большой гарантийный срок обеспечивают максимальную уверенность и контроль над производством.

Модели лазеров линейки YLR-XXXX-U-R-SM проходят процедуру занесения в реестр российской промышленной продукции согласно постановлению правительства РФ №719. Ожидаемый срок внесения — октябрь 2025 г.

Узнайте подробности и выберите лучшее, связавшись с нами удобным способом!

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

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

www.vpglaserone.ru

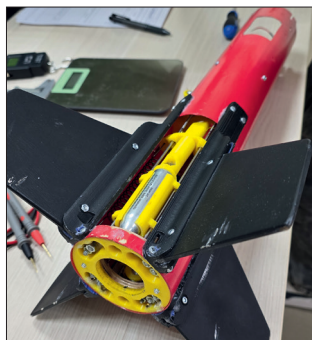




14



19



30

СОДЕРЖАНИЕ

- 4** Рынок аддитивных технологий России в цифрах
- 10** Эпоха «ИИ для» и интеллектуальная инфраструктура науки и инженерии XXI века
- 14** Изготовление узлов и элементов БПЛА при помощи аддитивной технологии FDM на оборудовании Intamsys
- 16** ГИП для улучшения свойств изделий, произведенных методом 3D-печати
- 21** Меры поддержки развития аддитивных технологий в России
- 24** Наука и кадры как двигатель наращивания потенциала аддитивных технологий
- 27** Молодые лидеры демонстрируют успехи в аддитивке
- 30** От спутника в консервной банке к космическим орбитам: опыт использования аддитивных технологий в спутникостроении и ракетостроении
- 32** 3DMIX: актуальные цели и задачи
- 44** Аддитивные технологии: новости медицины
- 50** Обзор рынка PETG-пластиков и исходные данные для задачи машинного обучения
- 55** Хранение металлических порошков: практические рекомендации



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: 119071, г. Москва,

ул. Орджоникидзе, д. 12, офис 4506

т/ф (499) 55-9999-8

(многоканальный),

e-mail: info@additiv-tech.ru

www.additiv-tech.ru

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

Тираж 5000 экз.

Распространяется на выставках
и по подписке.

Перепечатка опубликованных
материалов разрешается только
при согласовании с редакцией.

Все права защищены ®.

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

ТЕПЕРЬ В TELEGRAM!  ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ!

РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



t.me/ritm_magazine



t.me/additiv_tech

Поиск новых сплавов

Ученые из «Сколтеха» и Московского физико-технического института ускорили при помощи машинного обучения поиск новых металлических сплавов, из которых экспериментаторы отбирают материалы для ракетостроения и других высокотехнологичных отраслей.

Сейчас устойчивые сплавы ищут методами, которые сопряжены с риском упустить перспективный материал либо требуют запредельно долгих вычислений. Новый метод использует машинное обучение, чтобы ускорить перебор вариантов и сделать его более исчерпывающим, сообщает пресс-служба «Сколтеха». Алгоритм ориентирован на оптимизацию физических величин, называемых энергией и энтальпией образования вещества, которые указывают на то, какие сплавы устойчивы, а какие подвержены распаду, то есть самопроизвольно переходу в иную, более стабильную конфигурацию.

О результативности алгоритма можно судить, сравнив результаты поиска с наполнением стандартной базы сплавов, которой пользуются материаловеды в отрасли. Авторы исследования обнаружили двести шестьдесят восемь новых сплавов, устойчивых при нулевой температуре, которых в базе не было. Так, в системе ниобий — молибден — вольфрам подход на основе машиннообучаемых потенциалов выдал двенадцать кандидатов, при этом в базе не фигурирует ни один трехкомпонентный сплав с таким составом.

Теперь свойства новых сплавов можно уточнять и проверять более прицельным моделированием и экспериментами, чтобы установить, какие из этих материалов перспективны для практических применений.

Нейросеть будет следить за качеством

По сообщению пресс-службы Московского авиационного института (МАИ), в Передовой инженерной школе (ПИШ) МАИ испытана не имеющая аналогов в России система технического зрения для контроля изготовления изделий на 3D-принтере методом селективного лазерного сплавления. Разработка уже получила свидетельство о государственной регистрации и применяется в интересах Объединенной двигателестроительной корпорации при производстве заготовок деталей газотурбинного двигателя-демонстратора.

Испытания в МАИ проходили на собственной аппаратуре в Центре аэрокосмических материалов и технологий

ПИШ, однако система универсальна — она может быть адаптирована под различные установки. Ее использование позволит сократить брак и издержки при производстве изделий из металлопорошковых композиций почти на треть.

Разработанная программа решает две важные задачи. Во-первых, она следит за тем, чтобы не возникало дефектов в процессе печати. Вторая цель — контроль геометрии детали в процессе сплавления. Камера высокого разрешения позволяет фиксировать внешнюю геометрию, обрабатывать контуры и производить реконструкцию детали после окончания ее печати.

В России печатают магниты

Исследователи из Уральского федерального университета и Института физики металлов Уральского отделения РАН разработали технологию производства магнитных материалов с редкоземельными элементами с помощью 3D-печати.

«На данном этапе ученые исследуют магнитные эффекты на уровне нанометров. В свою очередь, 3D-печать позволяет добиться точности изготовления в несколько микрон. Управление магнитными полями на таких масштабах дает возможность добиться совершенно новых энергетических показателей электромагнитных устройств. При этом снижаются потери КПД за счет снижения вихревых токов в процессе эксплуатации, — рассказал первый заместитель директора частного учреждения "Наука и инновации Алексей Дуб. — «Предложенные магниты не уступают мировым аналогам, а по некоторым характеристикам и превосходят их», — уточнил ученый.

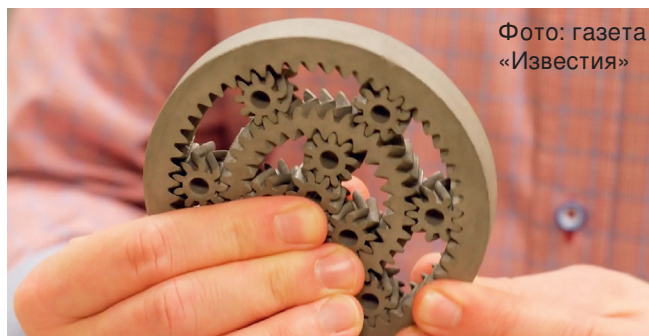


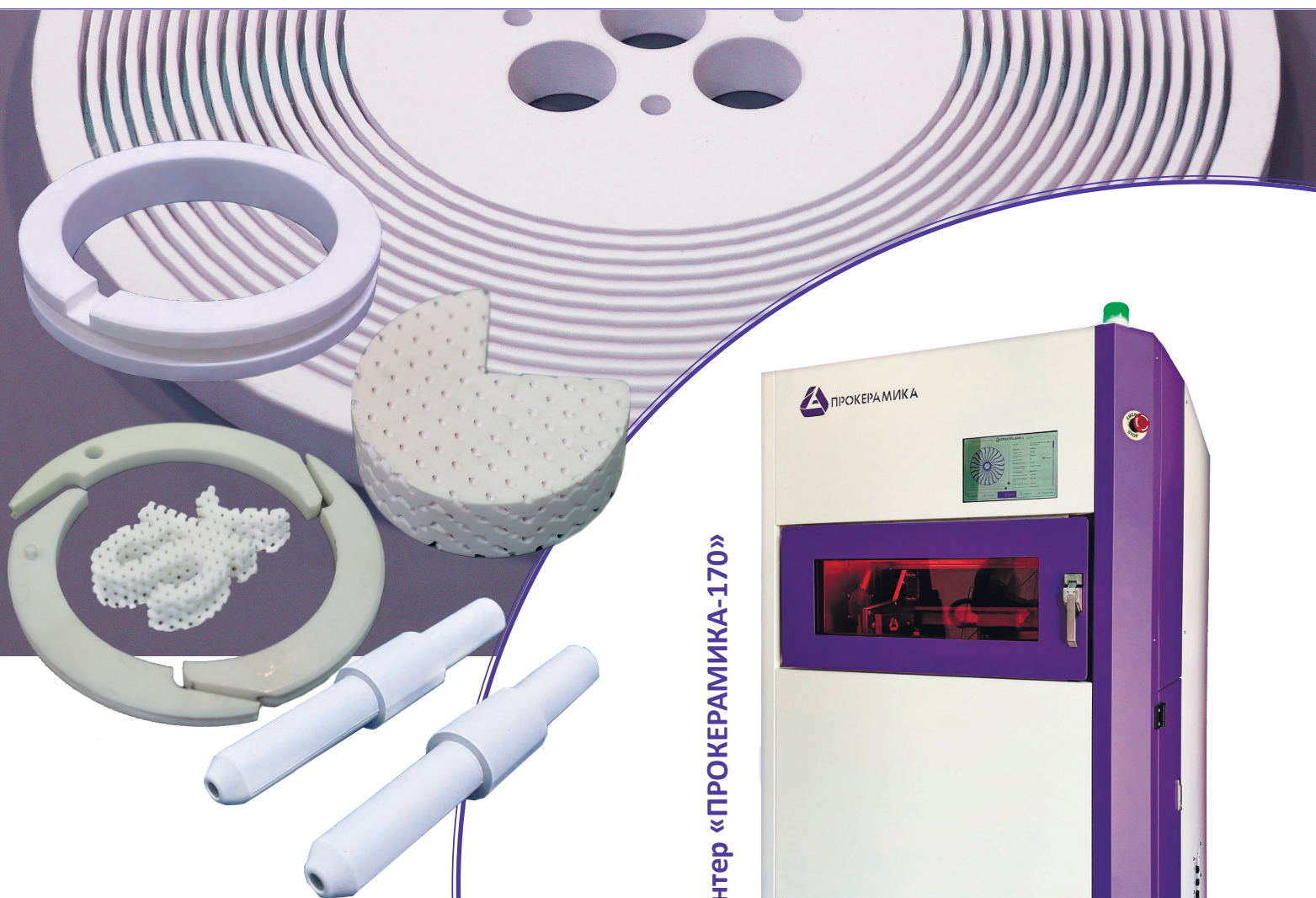
Фото: газета «Известия»

Предложенным методом специалисты изготавливают магниты на базе неодима и железа, а за счет добавок редкоземельных элементов добиваются улучшенных свойств. Например, при включении празеодима, тербия и диспрозия получают материал, который выдерживает 200 градусов, а примеси самария и кобальта позволяют изделиям функционировать при 550 градусах.

Проект реализован под руководством компании «Наука и инновации» (входит в «Росатом») в рамках единого отраслевого тематического плана госкорпорации.



Первый российский профессиональный SLA 3D-ПРИНТЕР ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ 3D-ПЕЧАТИ



Проект «ПРОКЕРАМИКА» — малая инновационная компания, созданная на базе Сколковского института в 2023 году. Коллектив имеет наибольший опыт в керамической 3D-печати в России. Уже несколько лет компания занимается разработкой керамических суспензий и оказывает услуги по 3D-печати керамических изделий для промышленных и нефтегазовых предприятий, компаний из области науки и медицины. В 2024 году команда выиграла грант Фонда Содействия Инновациям на создание лабораторного SLA-принтера для керамической печати, а позже привлекла инвестиции от венчурного фонда «Ампер» на создание уже профессиональной установки.



SLA 3D-принтер «ПРОКЕРАМИКА-170»



Профессиональный УФ-источник 355 нм
с оптическим сканатором
Рабочая платформа диаметром 170 мм
Максимальная локализация
Фирменная линейка материалов «ПРОКЕРАМИКА»
Софт «Триангулятика» из реестра российского ПО
Готовое решение для серийного производства

- info@proceramika.ru
- www.proceramika.ru
- t.me/proceramika
- ООО «PETEX», Москва

Рынок аддитивных технологий России в цифрах

Клуб аддитивных технологий (КАТ) подготовил маркетинговое исследование по итогам развития российского рынка аддитивных технологий в 2024 году. Объект исследования охватывает всю индустрию, включая участников рынка, технологии, процессы и факторы, влияющие на ее развитие.

Российский подход к оценке зрелости аддитивных технологий имеет характерные отличия от общемировых стандартов, что обусловлено целым комплексом специфических факторов. Прежде всего это доминирующее влияние государственных корпораций, которые определяют приоритеты в разработке и закупке технологий, особенно в сегменте металлического аддитивного производства, включая такие методы, как L-PBF. Еще одной особенностью является устойчивая практика размещения заказов на производственную оснастку и готовую продукцию в Китае, что объясняется сохраняющейся ориентацией на традиционные методы производства, потребностями в средне- и крупносерийном выпуске, приемлемой стоимостью таких решений и недостаточным пониманием возможностей аддитивных технологий. Важной характеристикой российского рынка остается его ориентация на стратегически значимые отрасли, включая оборонный комплекс, авиа- и двигателестроение, космическую отрасль, энергетику и медицинскую сферу. При этом развитие аддитивного производства сдерживается недостаточно развитой инфраструктурой, проявляющейся в ограниченном количестве современных производственных центров и дефиците мультитехнологичных кластеров. Несмотря на перечисленные особенности, в России сегодня успешно работают представители мирового уровня в области аддитивных технологий.

Для оценки объемов рынка в 2024 г. были использованы: результаты анкетирования и предоставленные данные от участников рынка; показатели выручки за 2024 год компаний, не участвовавших в опросе; статистика импорта за 2024 год по таможенным поставкам в РФ (для учета зарубежных производителей); дополнительные экспертные оценки игроков рынка.

Общий объем рынка аддитивных технологий в России в 2024 году, по данным КАТ, достиг 21,2 млрд руб., что соответствует среднегодовому темпу роста (CAGR) в 43% за период 2021–2024 годов. Все рассматриваемые сегменты показали в 2024 году увеличение объемов. Самую высокую динамику продемонстрировали услуги аддитивных центров и материалы для 3D-печати.

Рынок 3D-принтеров в России в 2024 году составил 8,77 млрд руб. (+27,9% к 2023 г.). Доля отечественных производителей незначительно сократилась: с 68% до 65% в денежном выражении из-за ускорения импорта оборудования. Российские производители концентрируются в промышленном и профессиональном сегментах, а нишу недорогих принтеров удерживают в основном китайские бренды. Импорт показывает опережающий рост в категориях настольных FFF/FDM и фотополимерных LCD/DLP за счет большого числа недорогих моделей.

Объем потребления всех типов материалов в 2024 г. достиг 4,54 млрд руб. (+32,6% к 2023 г.) и 2 097 тонн (+59,2% к 2023 г.). Рост в натуральном выражении опережает денежный за счет увеличения потребления термопластов и фотополимерных смол, связующих для песка. В большинстве сегментов — металлопорошки, термопласты, фотополимеры, связующие — лидируют локальные компании. Зарубежные поставки существенно сократились и сохраняются в основном по низкоценовым позициям (Китай) в термопластах и фотополимерах.

Сегмент услуг в области аддитивных технологий в России в 2024 году вышел на объем свыше 5 млрд руб. и показал взрывной прирост (81% к предыдущему году), при этом более чем в 2,5 раза выросла контрактная 3D-печать.

Сегмент 3D-сканеров в России продолжил расти, увеличившись на ~15,7%, что ниже темпов роста в других основных сегментах аддитивных технологий. При этом импорт растет быстрее, чем внутреннее производство, что приводит к снижению доли отечественных производителей.



Рис. 1. Объемы внутреннего производства и зарубежных поставок оборудования и материалов в сфере аддитивных технологий, млн руб.

Сегмент 3D-принтеров может быть структурирован по семействам аддитивных технологий, технологиям печати, а также исходя из класса и области применения принтеров: любительский сегмент, профессиональный и промышленный. В таблице 1 представлена оценка рынка 3D-принтеров в разрезе семейств и технологий 3D-печати в количественном и денежном выражении.

Наиболее сильные позиции российских производителей в 2024 г. наблюдаются в промышленных технологиях семейства прямого подвода материала и энергии (100% доля рынка), синтеза на подложке (65% в 2024 г. против 69% в 2023 г.), а также в сегменте экструзии материала — за счет оборудования профессионального, промышленного и высококачественного начального уровня (54% в 2024 г. против 61% в 2023 г.). Кроме того, российские производители демонстрируют значительное присутствие в технологии струйного нанесения связующего (76% в 2024 г. против 59% в 2023 г.). В то же время в семействе фотополимерных технологий доля российских производителей в 2023 г. составляла лишь около 16% рынка внутри данного сегмента.

Среди крупных производителей 3D-принтеров на российском рынке в исследовании отмечены:

- В семействе синтеза на подложке — российские производители и бренды: «3DLAM», «Лазерные системы», OnSint, AM.TECH, RusMelt, «Лазеры и аппаратура»; китайские компании: Zhekexin Technology, BLT, Farsoon, Quickbeam и другие.

- В семействе экструзии материала — российские производители: Picaso 3D, F2 Innovations, 3DQ, Stereotech, Redfab; китайские бренды: Creality, Bambu Lab, Anycubic, Creatbot и другие.

- В семействе прямого подвода энергии и материала — «ИЛИСТ», «Лазеры и аппаратура», «ИРЭ-Полус», xWeld.

- В семействе струйного нанесения связующего — ZIAS Machinery, «Роботех», FHZL, Обуховский завод.

- В семействе фотополимеризации в ванне — Elegoo, Phrozen, Anycubic и другие.

Российские производители, занимая значительную долю рынка в денежном выражении, поставляют существенно меньшее количество оборудования. Это свидетельствует о более высокой средней стоимости единицы техники и ориентации преимущественно на промышленный и профессиональный рыночные сегменты.

Полное исследование можно скачать на сайте <https://k-at.ru>

Таблица 1. Реализация 3D-принтеров в России

	Количество реализованных 3D-принтеров в России, штуки					Объем рынка 3D-принтеров, млн руб.				
	2021	2022	2023	2024	Итого	2021	2022	2023	2024	24/23, %
Синтез на подложке	56	65	117	118	356	1216,4	1435,8	2438,4	3 594,5	47,4%
L-PBF	22	46	95	94	254	1 038,2	1 250,9	2 151,9	3 077,1	43,0%
SLS	33	21	21	20	95	102,7	104,9	206,5	167,4	-18,9%
E-PBF	1	1	1	4	7	75,5	80,0	80,0	350,0	337,5%
Экструзия	8 732	11 230	26 480	34 285	80 727	787,1	945,0	1 716,1	2 766,9	61,2%
FFF/FDM	8 727	11 216	26 458	34 262	80 663	711,1	875,5	1 551,7	2 611,1	68,3%
FGF	2	8	17	18	45	53,1	64,4	157,8	143,0	-9,4%
CF3D	3	6	5	5	19	22,9	5,1	6,6	12,8	94,3%
Фотополимеризация в ванне	3 249	3 325	5 699	4 888	17 161	305,0	283,6	408,7	353,2	-13,6%
SLA	360	175	55	10	600	125,1	100,3	70,9	115,3	62,6%
LCD/ DLP				4 878	16 561	179,9	183,3	337,8	237,9	-29,6%
Струйное	4	11	24	23	60	184,0	361,5	841,9	805,4	-4,3%
BJ	4	11	23	20	58	184,0	361,5	821,9	756,8	-7,9%
MBJ	0	0	1	3	4			20,0	48,6	143,0%
Прямой подвод энергии и материала	7	16	24	19	66	428,2	778,3	1 280,2	1 026,4	-19,8%
L-DED (P)	3	9	12	13	37	261,0	455,0	850,0	820,0	-3,5%
DED (W)	4	7	13	6	30	167,2	323,3	430,2	206,4	-52,0%
Прочие	3	46	73	45	167	11,5	73,5	168,6	221,9	31,6%
MJ	0	40	51	22	113	-	18,8	53,3	49,3	-7,6%
3DCP	1	5	10	15	31	7,1	50,6	71,2	149,0	109,3%
3D-биопечать	2	2	11	2	17	3,9	4,1	43,3	5,9	-86,3%
Прочие	15	6	10	6	37	0,5		0,8	17,7	2107,5
Итого	12 051	14 693	32 417	39 378	98 539	2 932,2	3 877,7	6 853,9	8 768,3	27,9%

Гибкая технология

На московской выставке «Металлообработка-2025» компания «ТЭТА» показала этапы изготовления шар-баллона для новой космической ракеты. Образец выполнен на предприятии АО «РКЦ «Прогресс» (г. Самара) на установке ТЭТА 300E1500-30 методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме. Материал изделия: Вт6.

Технология включает этапы: электронно-лучевое выращивание заготовки, ее механообработка, сварка двух половинок на той же установке электронным лучом (рис. 1).

Традиционно шар-баллоны выполняются из поковок, которые приходится заказывать заранее (примерно за три года) с помощью традиционных и, в данном случае, трудоемких методов металлообработки.

Применение гибких аддитивных технологий позволяет получить новое изделие в течение суток. Даже с учетом испытаний (горячих, криогенных, на разрыв), которые продолжаются примерно в течение месяца, выигрыш по времени огромный. Таким образом, аддитивное производство позволяет запустить изделие с новыми габаритными размерами в месячный срок.

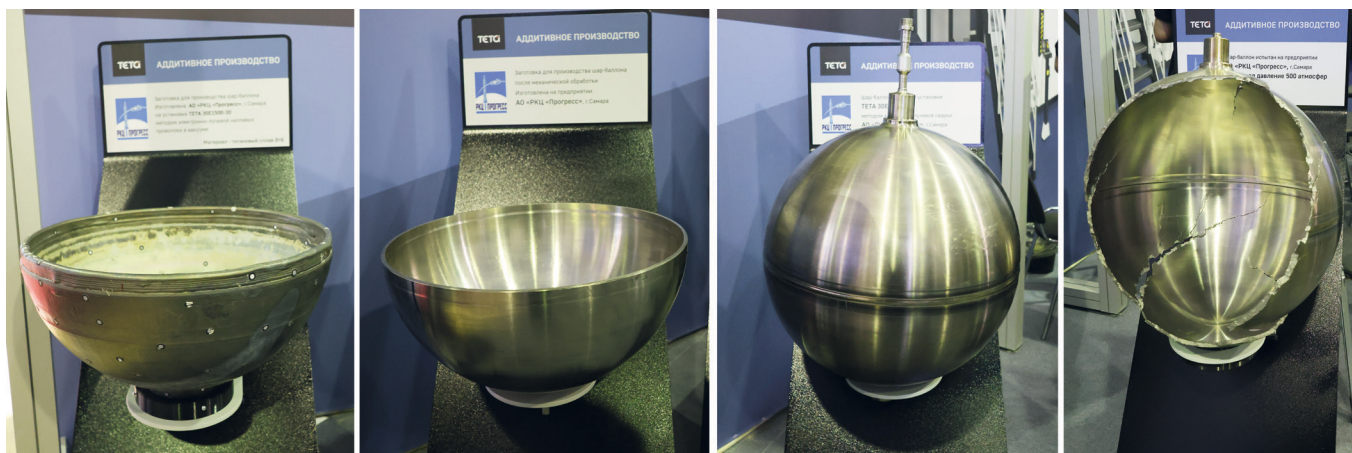


Рис. 1. Этапы производства шар-баллона, изготовленного методом электронно-лучевой наплавки проволоки в вакууме: заготовка, заготовка после механообработки, шар-баллон, разрушение при давлении 500 атмосфер.

«3Д Креативик»

1 июня 2025 года, в День защиты детей, в павильоне «Атом» на ВДНХ состоялся детский праздник, организованный компанией «РосАТ» госкорпорации «Росатом», где был презентован набор для творчества «3Д Креативик», предназначенный для знакомства детей 6–13 лет с основами 3D-печати.

Набор включает компактный 3D-принтер с областью построения 100x100x100 мм, который оснащен соплом диаметром 0.4 мм (рабочая температура до 260°C) и обеспечивает скорость печати до 100 мм/с. Комплект дополнен экологичной пластиковой нитью PLA диаметром 1.75 мм, инструментами для постобработки, коллекцией из 24 готовых 3D-моделей, специализированным ПО и инструкциями. Набор рассчитан на безопасное самостоятельное использование детьми в стандартных комнатных условиях.

Ученики Центра аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД) на базе АНОО «Город детства» провели мастер-класс, где продемонстрировали работу принтеров, показав этапы создания моделей: от выбора или проектирования в ПО до загрузки нити, запуска печати и финальной обработки изделия. Участники наблюдали



за процессом трансформации цифровой модели в физический объект, рассматривали принтеры и напечатанные модели любимых героев, а также знакомились с образцами пластиковой нити, задавая вопросы о процессе печати.

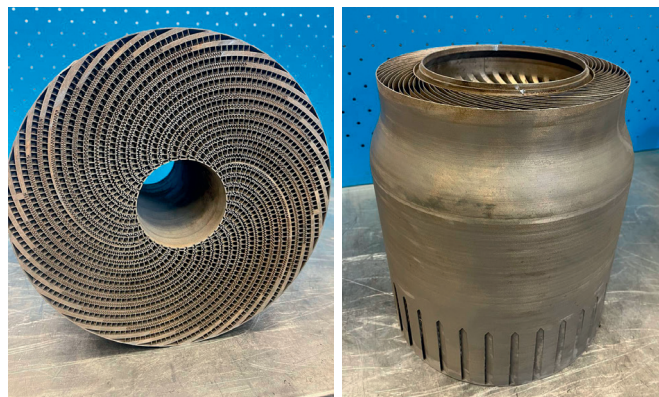
Как отметил Илья Кавелашвили, генеральный директор компании «РосАТ», набор является частью системы непрерывного образования, интегрирующей в экосистему «Детский сад — школа — университет — предприятие» для решения кадрового дефицита. Проект связан с развитием сети Центров аддитивных технологий общего доступа (ЦАТОД).

31 день без остановки!

По данным компании «Лазерные системы», на 3D-оборудовании данного отечественного производителя в Самарском университете был поставлен масштабный рекорд: 31 день непрерывной печати на SLM-установке M-450-M.

Деталь: теплообменник. Время печати: 744 часа без перерыва. Результат: безупречное качество и точность детализации.

Конструкция теплообменника была разработана и спроектирована учеными Института двигателей и энергетических установок Самарского университета. Теплообменник изготовлен по технологии SLM из порошка нержавеющей стали 12X18H10T. Сплавление проводилось в режиме «смарт» (одновременная работа двух лазеров), за счет этого была уменьшена длительность печати бо-



лее чем в два раза. Оборудование продемонстрировало стабильность при решении сложной и продолжительной задачи.

Данный теплообменник будет использован в малоразмерной наземной газотурбинной установке для выработки электроэнергии. С помощью теплообменника будет реализован цикл ГТУ с регенерацией тепла.

Важный результат



На выставке RosMould на стенде компании «Лазеры и аппаратура» был представлен интересный образец SLM-печати детали «Шестерня», выполненный на новой установке производства компании МЛ63 из ВНЛ-14 двумя лазерами. Габариты изделия — 180×180×23 мм, время построения — 40 часов, время выхода на режим — менее 120 мин.

Как пояснила заместитель генерального директора Тамил Панаети, его примечательность в том, что при двухканальном процессе (как, впрочем, и при четырехканальном) получено качество, идентичное одноканальному: точность совмещения траекторий — менее 100 мкм, минимальный размер печатаемых структур — менее 0,5 мм, минимальная пористость при выращивании — менее 0,01%.

Полученный результат в таких габаритах является важным достижением, поскольку компания широко работает с такими ответственными отраслями, как вертолетостроение, авиастроение и др., где предъявляются повышенные требования к качеству структуры и геометрической точности изделия.

Математические модели в жизнь

Как сообщает 3dnatives, студенты Иллинойского университета в Урбане-Шампейне воссоздали с помощью 3D-печати ряд исторических моделей математических поверхностей и теорем. Коллекция университета включает в себя визуализации сложных теорем, выполненных из гипса, дерева, картона и металла, некоторые из которых датируются XIX веком.

Новые модели прочнее, чем их хрупкие предшественники. Среди них — коническая сфера Данделена, поверхность Куммера и другие, созданные с помощью натянутых нитей.

Студентам было поручено создать описания для каждой новой модели, что позволило им изучить исходные уравнения.



Сфера Данделена (слева — студенческая версия, справа — оригинальная модель).



Напечатанная модель поверхности Куммера.

Фото: Университет Иллинойса

Перспективные направления развития

На выставке 3D-TECH на стенде компании «Онсинт» были представлены интересные образцы изделий, отражающие новые направления деятельности компании.

Во-первых, это образцы SLM-печати изделий из медного порошка, напечатанные с помощью зеленого лазера

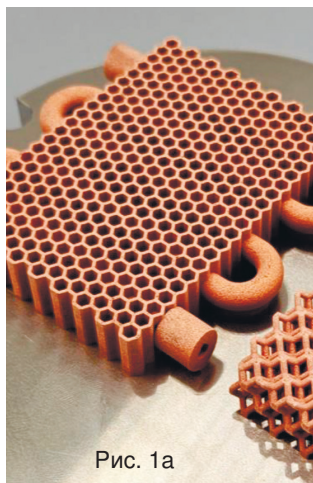


Рис. 1а

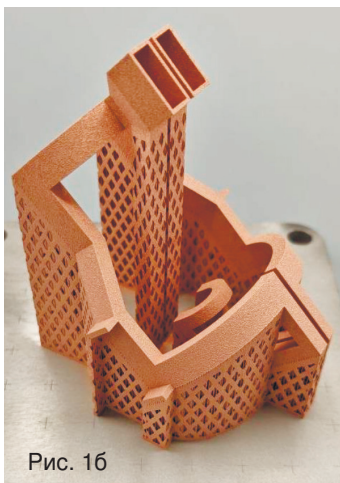


Рис. 1б



Рис. 2

ра мощностью 255 Вт (рис. 1а) и с применением лазера ИК-диапазона мощностью 1 кВт (рис. 1б). Печать зеленым лазером позволяет получать высокую детализацию, мелкую структуру, сложную геометрию, однако для печати крупных изделий допустимо использование инфракрасных широко распространенных лазерных источников.

Также на стенде демонстрировались изделия из высокотемпературного полиэфирэфиркетона (PEEK), выполненные впервые на российском оборудовании по технологии SLS (рис. 2). Материал биосовместимый и подходит для замены титана при создании эндопротезов, что открывает новые возможности для медицины. Еще один образец высокотемпературного полиэфиркетона — PEKK (рис. 3) также интересен для подобных задач. Далее планируются эксперименты с полифениленсульфидом (PPS) — его преимущество в меньшей стоимости при аналогичных свойствах.

Как сообщил Дмитрий Антонов, заместитель генерального директора по развитию, компания «Онсинт» не только обрабатывает на оборудовании собственного производства различные процессы, но и изготавливает комплектующие для собственных машин — практически все патрубки из металла и полиамида, в т.ч. с водяным

охлаждением, все системы защитной оптики и фиксации защитных стекол, кронштейны, держатели под камеры, держатели под различные датчики, съемные датчики и др.



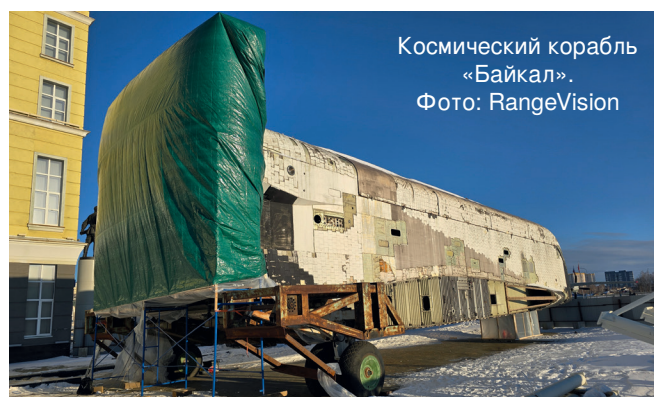
Рис. 3

Возрождение легенды

Компания RangeVision принимает участие в реконструкции сохранившегося летного экземпляра космического корабля «Буран», который пополнил коллекцию музейного комплекса гражданской и военной техники в городе Верхняя Пышма.

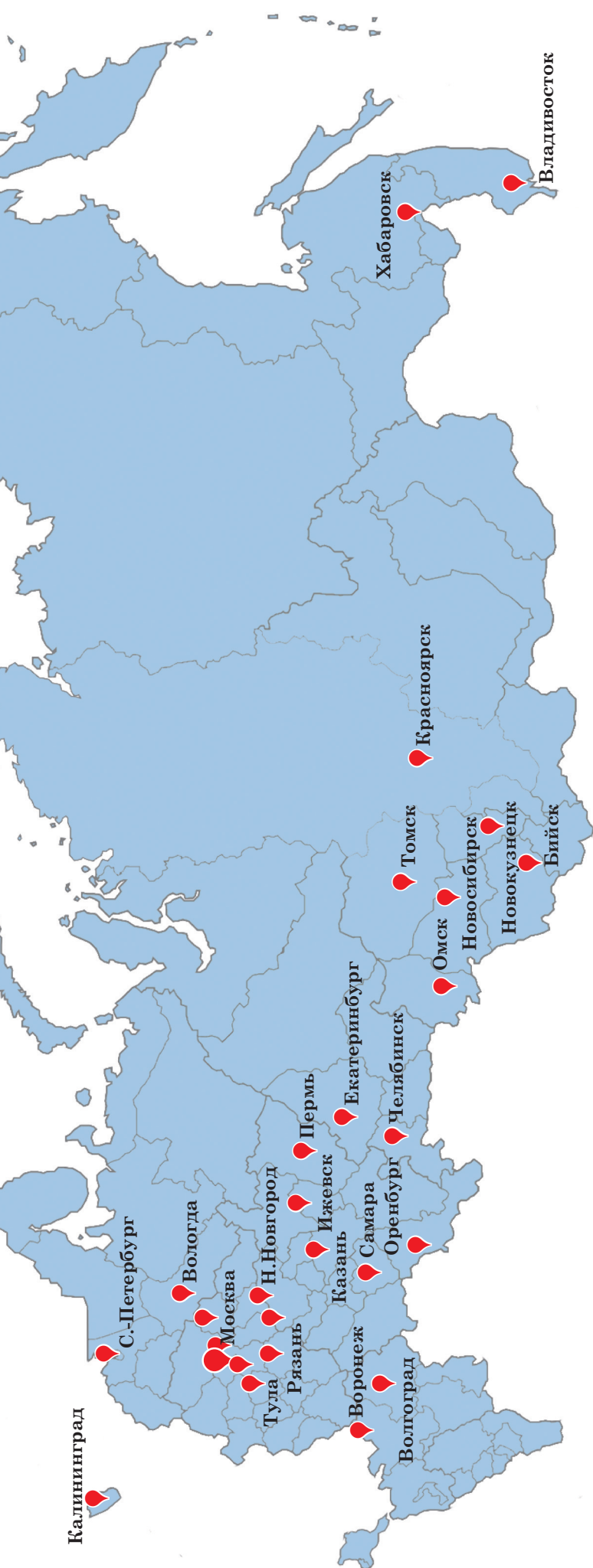
На первом этапе для создания базовой цифровой модели корабля компанией было проведено 3D-сканирование корпуса и крыльев. На основе полученных данных будут спроектированы и изготовлены недостающие детали, восстановлена конструкция корабля, включая оригинальные узлы и агрегаты, приборы, интерьер.

Также были проведены работы по сканированию полноразмерного испытательного стенда «Бурана», известного как ОК-КС (изделие 0.03). Это практически полная копия настоящего челнока, на которой проводились наземные испытания перед реальным запуском. Макет, расположенный в Сочи на территории образовательного



центра «Сириус», хорошо сохранился. Он станет «3D-донором» для своего брата «Байкала».

В журнале «Аддитивные технологии» №2'2025 была опубликована подробная статья о проводимых работах. К сожалению, в ней неправильно указано название компании. Приносим извинения компании RangeVision.



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



«3D Аддитивные Технологии» НПП ООО

г. Нижний Новгород

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

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

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

Подтвержденное российское происхождение — выписка ГИСП из Реестра российской промышленности.



Тел.: +7 (991) 534 40 15
E-mail: 5@nex-tech.ru



**Фотополимерные смолы
для 3D-печати,**
разработанные и произведенные в России



3D Module

Безопасные качественные сварочные материалы и материалы для аддитивных технологий

тел.: +7 (920) 258-65-85
+7 (930) 266-07-97
+7 (831) 423-71-15
e-mail: info@3dmodule.ru

www.3dmodule.ru

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «МОДУЛЬ-Т»

- Сертифицированная титановая сварочная проволока ГОСТ 27265-87, ОСТ1 90015-77, ТУ.
- Титановая проволока для аддитивных технологий для плазменной атомизации и технологии DED-W.
- Механически обработанный титановый пруток.
- Титановый пруток высокого класса точности (h9-h7).
- Порошок титановый для 3D-печати.
- 3D-печать по технологии DED-W.

603124, Нижний Новгород, ул. Ближняя, д. 6

Эпоха «ИИ для» и интеллектуальная инфраструктура науки и инженерии XXI века



В.П. Анаников, доктор химических наук, академик РАН, руководитель лаборатории Института органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (ИОХ РАН), г. Москва, Ленинский проспект, 47, <http://AnanikovLab.ru>, val@ioc.ac.ru

В статье описывается трансформация роли искусственного интеллекта — от самостоятельной цели развития до интегрального инструмента в науке, технологиях и промышленности. Прослеживаются ключевые этапы эволюции ИИ, включающие на первом этапе разработку фундаментальных алгоритмов и архитектур нейросетей, на втором этапе — создание зрелых коммерческих и исследовательских продуктов, таких как генеративные языковые модели, цифровые двойники и интеллектуальные платформы для инженерного моделирования. Особое внимание уделено переходу к прикладной фазе — так называемой эпохе «ИИ для», в которой искусственный интеллект становится эффективным инструментом решения задач в конкретных отраслях. В качестве примера подробно рассмотрено применение ИИ в аддитивных технологиях: от генеративного дизайна и подбора материалов до дефектоскопии, управления процессами, логистики и персонализации продукции. Подчеркивается, что искусственный интеллект не просто дополняет современные технологические процессы, а становится их неотъемлемым интеллектуальным ядром.

В предыдущий период развития искусственный интеллект (ИИ) представлял собой прежде всего самоценную научно-технологическую цель. Усилия исследователей и разработчиков были сосредоточены на формировании основ: создании новых алгоритмов машинного обучения и нейросетевых архитектур, сборе и подготовке массивов данных, программной реализации и тестировании моделей. Этот этап требовал значительных междисциплинарных усилий — от фундаментальной математики и статистики до инженерии программного обеспечения и вычислительной инфраструктуры. Развитие ИИ в это время ориентировалось на сам факт возможности «научить» машину распознавать, классифицировать, прогнозировать и обучаться на данных без прямой привязки к конкретным прикладным задачам. Среди ключевых достижений этого этапа — становление алгоритмов глубокого обучения (Deep Learning), появление универсальных фреймворков вроде TensorFlow [1] и PyTorch [2],

а также формирование открытых датасетов (например, ImageNet [3] и целого ряда других), которые заложили основу для дальнейшего взлета ИИ-технологий в последующий период.

После формирования теоретических и технологических основ искусственного интеллекта последовал этап стремительного роста готовых продуктов, основанных на этих разработках. Именно в этот период искусственный интеллект стал массово внедряться в реальные приложения, оказывая ощутимое влияние на экономику, науку и повседневную жизнь. Были созданы и получили широкое распространение такие системы, как генеративные языковые модели (GPT от OpenAI, Claude от Anthropic, Gemini от Google, DeepSeek, GigaChat, YandexGPT и др.), генераторы изображений (DALL-E, Midjourney, Stable Diffusion и др.), инструменты для программирования (GitHub Copilot [4]) и многие другие. Компьютерное зрение нашло применение в автономном транспорте, медицинской диагностике и промышленном контроле качества. Системы рекомендаций и персонализации ИИ стали стандартом в интернет-платформах (поисковые системы, онлайн-магазины, социальные сети, видеохостинги и др.). Эти продукты уже не просто демонстрация возможностей, а высокоэффективные коммерческие решения, работающие в режиме реального времени и обрабатывающие миллиарды запросов пользователей по всему миру. Таким образом, ИИ вышел за рамки лабораторий и стал масштабным элементом цифровой инфраструктуры современного общества.

Параллельно с развитием массовых пользовательских продуктов происходило углубленное внедрение ИИ в научные исследования, технологическую разработку и промышленное производство. В этой области ИИ стал не просто инструментом автоматизации, но и средством интеллектуальной поддержки принятия решений, анализа данных и моделирования сложных процессов. В научной сфере в качестве примеров можно привести AlphaFold от DeepMind [5] для предсказания структуры белков, Materials Project [6] и MatGen [7] для прогнозирования свойств новых материалов. В инжене-

рии и промышленности активно развиваются платформы на базе ИИ для создания цифровых двойников, интеллектуального управления производственными линиями, а также для оптимизации логистики, энергосбережения и технического обслуживания. Все чаще ИИ-инструменты становятся частью вычислительных комплексов высокого уровня, интегрируются с симуляционными моделями, CAD/CAE-средами и промышленными информационными системами (CAD, Computer-Aided Design, системы автоматизированного проектирования; CAE, Computer-Aided Engineering, системы автоматизированного инженерного анализа). Эта тенденция знаменует собой переход от ИИ как вспомогательной технологии к ИИ как неотъемлемому компоненту научно-технологического прогресса.

Сегодня наблюдается четкое смещение акцента: искусственный интеллект перестает быть самоцелью и все больше воспринимается как универсальное средство решения прикладных задач. Это отражает переход к новой фазе — так называемой эпохе «ИИ для», где передовые алгоритмы и модели ИИ направлены на решение конкретных проблем в различных отраслях. Например, возникают направления: ИИ для медицины (диагностика, подбор терапии, моделирование лекарств), ИИ для химической промышленности (оптимизация синтеза, предсказание свойств веществ, автоматизация лабораторий), ИИ для машиностроения (ускорение проектирования, контроль качества), ИИ для энергетики (распределенное управление, прогнозирование потребления) и многие другие области применения. Такой переход стал возможен благодаря зрелости ИИ-технологий, развитию цифровой инфраструктуры и накоплению массивов специализированных данных, необходимых для высокоточного обучения. Эпоха «ИИ для» отражает не только практическую востребованность, но и когнитивную связь ИИ с научно-технологическим прогрессом. ИИ становится не просто инструментом автоматизации, а новым языком описания и преобразования реальности, дополняющим интеллектуальные возможности человека и расширяющим горизонты возможного.

Впервые термин эпоха «ИИ для» был сформулирован на пленарной сессии Форума будущих технологий (21 февраля 2025 г.) [8]. Было отмечено, что, несмотря на обилие обсуждений и повышенный общественный интерес к ИИ, сейчас важно не упустить поворотный

момент — начало новой фазы, когда ИИ становится инструментом ускоренного развития отраслей. Следует делать ставку не на импорт технологий, а на формирование собственной высокотехнологичной среды, где ИИ становится частью национального научного и промышленного комплекса. На форуме был зафиксирован сдвиг парадигмы в использовании ИИ и необходимость институциональной поддержки идеи «ИИ для» как стратегического ориентира для научно-технологического развития страны.

Если рассмотреть историческую ретроспективу, анализ современного состояния области демонстрирует три ключевых этапа в развитии искусственного интеллекта (табл. 1). На первом этапе, когда ИИ выступал как самоцель, основной акцент делался на разработке архитектур нейронных сетей и создании теоретических основ машинного обучения. Второй этап связан с появлением прикладных ИИ-продуктов, где предварительно обученные модели начали массово использоваться в различных пользовательских и коммерческих приложениях. На третьем, современном этапе ИИ становится инструментом внутри других дисциплин и отраслей — он интегрируется в научные исследования, инженерные системы и производственные процессы. Эта эволюция отражает не только технологическую зрелость, но и смену парадигмы в восприятии самого понятия интеллекта как ресурса (табл. 1).

Международная конференция по искусственному интеллекту в науке AI4X [9], прошедшая в июле 2025 года в Сингапуре, стала ярким и независимым подтверждением того, что глобальное сообщество все более уверенно вступает в эпоху «ИИ для». Конференция была организована Институтом функциональных интеллектуальных материалов Национального университета Сингапура при поддержке многих международных научных учреждений и собрала ведущих исследователей и представителей индустрии со всего мира, включая такие организации, как Google, NVIDIA, MIT и другие. Ключевой идеей конференции было понимание ИИ не как конечной цели, а как ускорителя научных открытий в различных областях знаний. Тематика конференции охватывала широкий спектр направлений — от материаловедения, химии и физики до медицины, математики, экологии, образования

Таблица 1. Этапы эволюции искусственного интеллекта от теоретической разработки к прикладной интеграции

Этап	Характеристика	Некоторые примеры
ИИ как цель	Фокус на разработке теоретических основ, алгоритмов и архитектур ИИ	Глубокие нейронные сети, сверточные сети, рекуррентные сети; создание библиотек и фреймворков, обучение на массивах данных
ИИ как продукт	Создание прикладных решений на основе готовых ИИ-моделей	Генеративные модели для текста и изображений, системы компьютерного зрения, интеллектуальные ассистенты и рекомендательные алгоритмы
ИИ как инструмент	Интеграция ИИ в научные, инженерные и производственные процессы	ИИ-модели для предсказания материалов, цифровые двойники процессов, алгоритмы предиктивной аналитики и самообучающиеся производственные линии

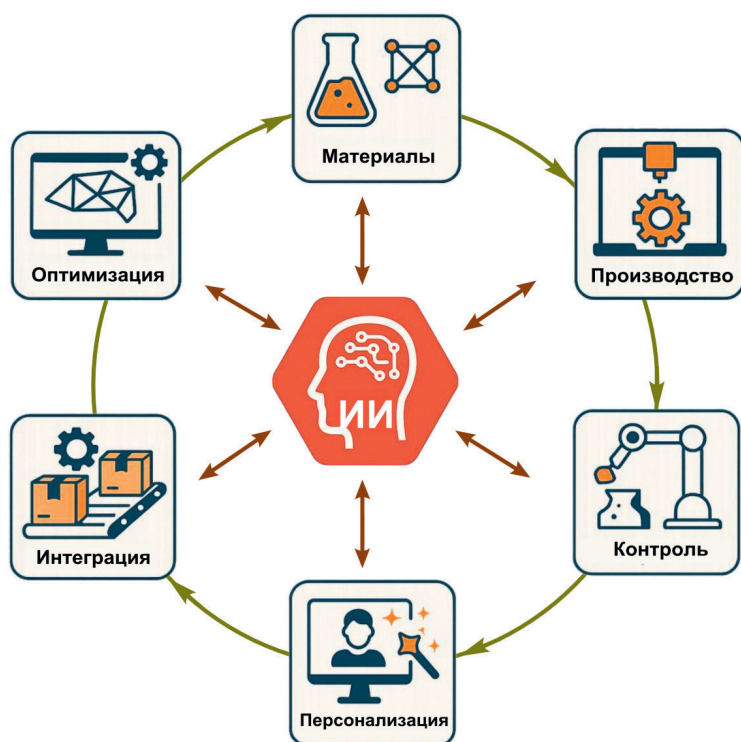


Рис. 1. Применение искусственного интеллекта в аддитивных технологиях — традиционная последовательная цепочка технологических этапов (темно-желтая круговая стрелка) и сквозная объединяющая технология с обратной связью на основе ИИ (темно-коричневые стрелки)

и устойчивого развития. Особое внимание было уделено таким темам, как самообучающиеся лаборатории, агенты ИИ для науки и алгоритмические усовершенствования в машинном обучении. Конференция AI4X продемонстрировала, что на международном уровне сформировался устойчивый тренд — искусственный интеллект рассматривается как интегральный инструмент в научной и технологической практике, а не как изолированная область исследований. Таким образом, идеи, озвученные в контексте как эпоха «ИИ для», отражают направления глобальной научной повестки.

Важно, что ИИ играет все более важную роль в развитии и применении аддитивных технологий, и этот вклад распространяется на весь жизненный цикл — от проектирования до эксплуатации изделий (рис. 1). Анализ текущей ситуации позволяет выделить следующие тренды:

1. Оптимизация проектирования и генеративный дизайн

Применение методов искусственного интеллекта в области проектирования позволяет существенно расширить границы инженерной мысли за счет алгоритмов генеративного дизайна и топологической оптимизации. Такие подходы обеспечивают автоматическую генерацию геометрических решений, оптимальных по множеству критериев: прочность, вес, экономия материала, устойчивость к нагрузкам. Наиболее ярким примером является интеграция генеративного дизайна с ИИ-поддержкой, а также применение цифровых алгоритмов

для проектирования сложных конструкций с целью добиться значительного снижения массы при сохранении прочности. Принципиально новые формы и топологии, создаваемые ИИ, зачастую невозможно воспроизвести традиционными методами производства, что делает их естественным дополнением к аддитивным технологиям.

2. Материаловедение и разработка новых композиционных материалов

ИИ используется для предсказания свойств материалов, оценки их поведения при различных параметрах печати и автоматизации подбора новых рецептур. Особенно активно развиваются подходы, основанные на машинном обучении и построении моделей по большому массиву экспериментальных и симуляционных данных. Создаются открытые базы данных, используемые для тренировки ИИ-моделей, способных предсказывать механические свойства изделий в зависимости от состава материала и условий печати. Разрабатываются платформы, позволяющие ускорить поиск новых композитов и методик печати на основе активного ИИ-обучения и роботизированных лабораторий.

3. Контроль качества и дефектоскопия в реальном времени

Встроенные в рабочие камеры оборудования видеокamеры, инфракрасные сенсоры и системы акустического мониторинга накапливают массивы данных, которые могут быть обработаны ИИ в режиме реального времени для диагностики дефектов и отклонений от заданных параметров. Разрабатываются решения на основе нейросетевых моделей, позволяющие выявлять пористость, деформации и дефекты в процессе построения каждого слоя. Такие системы особенно востребованы в аэрокосмической и медицинской отраслях, где высока цена ошибки и критичны требования к воспроизводимости.

4. Управление производственными процессами и цифровые двойники

ИИ-инструменты находят широкое применение в создании цифровых двойников технологических процессов и оборудования, что обеспечивает возможность предиктивного анализа, моделирования отказов и оптимизации режимов работы. Создаются инструменты моделирования процессов печати с учетом термомеханических напряжений, скорости охлаждения и геометрических отклонений. Такие цифровые модели позволяют предварительно оценить результаты производства и адаптировать параметры еще до запуска реального процесса. Интеграция с промышленным интернетом вещей (IIoT) и платформами управления формирует основу интеллектуальных производственных систем, соответствующих концепции Индустрии 4.0.

5. Персонализация продукции

ИИ позволяет автоматизировать процесс адаптации изделий под индивидуальные параметры пользователя. Это особенно важно в медицине (импланты, ортопедические изделия), спортивной индустрии (кастомизированная экипировка), а также в потребительском дизайне. Разрабатываются усиленные ИИ программные решения для проектирования и печати индивидуальных медицинских имплантов на основе анализа 3D-сканов пациентов. Разрабатываются ИИ-платформы, позволяющие быстро адаптировать конструкции по данным пользователя с минимальным участием человека на стадии проектирования.

6. Интеграция с цепочками поставок и логистикой

ИИ может существенно повысить эффективность логистических операций, связанных с аддитивным производством, включая планирование загрузки оборудования, оптимизацию размещения производств, прогнозирование спроса и управление складскими запасами. В условиях перехода к децентрализованной модели печати — «производства по месту потребления» — особенно важными становятся решения на стыке ИИ и логистической аналитики. Цифровые платформы предоставляют инструменты оценки экономической целесообразности печати, анализа времени и стоимости, а также интеграции с ERP-системами предприятий (ERP, Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия).

Применение искусственного интеллекта в аддитивных технологиях выходит далеко за рамки автоматизации самого процесса печати. Оно охватывает весь производственный цикл — от интеллектуального проектирования и подбора материалов до контроля качества, логистики и персонализации продукции (рис. 1). Это подтверждает ключевую мысль: ИИ становится неотъемлемым компонентом современных технологических платформ, а аддитивное производство — одной из наиболее перспективных областей его практического применения.

В заключение важно отметить, что переход к эпохе «ИИ для» следует рассматривать как закономерный этап в эволюции науки и технологий, отражающий изменение представлений о роли искусственного интеллекта — от самостоятельной исследовательской цели к универсальному инструменту преобразования окружающего мира. Классификация систем искусственного интеллекта в наши дни включает в себя три уровня: ИИ-ассистент, ИИ-аналитик и ИИ-исследователь [10]. Уровень «ИИ-исследователь» подразумевает технологию-участник, напрямую вовлеченную в исследовательскую практику.

Этот переход вписывается в широкую историческую траекторию научно-технического прогресса. В XX веке развитие науки и промышленности опиралось на волны индустриализации — от Индустрии 1.0 (механизация и паровые машины) через Индустрию 2.0 (массовое производство и электричество) и Индустрию 3.0 (цифровые технологии и автоматизация) к Индустрии 4.0, появившейся в XXI веке. Последняя волна характеризуется

интеграцией киберфизических систем, интернета вещей, автономных роботов и распределенных платформ управления. Искусственный интеллект займет в этой структуре центральное место, обеспечивая адаптивность, гибкость и интеллектуализацию всех стадий жизненного цикла продукции и научных процессов.

Эпоха «ИИ для» знаменует переход от изолированного технологического развития к интеллектуальной интеграции ИИ во все ключевые области человеческой деятельности — от фундаментальной науки и медицины до машиностроения, экологии и образования. В этой парадигме ИИ перестает быть объектом, а становится неотъемлемым элементом современной научной и инженерной инфраструктуры [10]. Наука приобретает свойства когнитивной системы, промышленность — черты самообучающихся производств, а общество — новые формы взаимодействия с технологией.

Таким образом, эпоха «ИИ для» представляет собой долгосрочный системный сдвиг, задающий вектор развития науки, технологий и общества в XXI веке [10].

Литература

1. TensorFlow, комплексная платформа машинного обучения с открытым исходным кодом. <https://www.tensorflow.org/>
2. PyTorch, фреймворк машинного обучения с открытым исходным кодом для создания и обучения глубоких нейронных сетей. <https://pytorch.org/>
3. ImageNet, база данных изображений для визуального распознавания объектов. <https://www.image-net.org/>
4. GitHub Copilot, инструмент на базе искусственного интеллекта для написания кода ассистентом программирования в режиме реального времени. <https://github.com/features/copilot>
5. DeepMind AlphaFold, искусственный интеллект для предсказания трехмерных структур белков на основе их аминокислотной последовательности. <https://deepmind.google/science/alphafold/>
6. Materials Project, открытая онлайн-платформа для доступа к вычислительно предсказанным свойствам неорганических материалов. <https://next-gen.materialsproject.org/>
7. MatGen, инструмент на базе искусственного интеллекта для генерации новых материалов с заданными свойствами. <https://matgen.ai/>
8. Пленарное заседание Форума будущих технологий, 21 февраля 2025 г, Москва. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/76304>
9. Международная конференция AI4X по применению искусственного интеллекта в науке, 8–11 июля 2025 г, Сингапур. <https://ai4x.cc/>
10. Классификация применения искусственного интеллекта в химии: от автоматизации к цифровому научному мышлению. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv-2025-fbk8w>

Изготовление узлов и элементов БПЛА при помощи аддитивной технологии FDM на оборудовании Intamsys

3D-печать по технологии FDM имеет множество применений, одно из которых — индустрия беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которое сегодня стало чрезвычайно актуальным.

Изготовление деталей дронов с помощью 3D-принтеров предоставляет инженерам практически безграничные возможности, в том



Рис. 1. Рама дрона из инженерного пластика



Рис. 2. Печать корпусов на принтере Intamsys Funmat PRO. Нанкинский университет авиации и астронавтики (КНР)



Рис. 3. Корпус БПЛА материал (PEEK-CF). Изготовлен на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys

числе 3D-печать целых узлов и топологическую оптимизацию компонентов летательных аппаратов для снижения массы, повышения аэродинамических и прочностных характеристик изделий.

Основными преимуществами аддитивных технологий в этой области являются:

- быстрое создание прототипов, включая функциональные (рамы, шасси, пропеллеры и пр.), что позволяет в разы быстрее выводить конечно изделие в серию;
- способность оперативно совершенствовать БПЛА в процессе их реальной эксплуатации;
- изготовление и доработка индивидуальных компонентов БПЛА (держатели и защита камер, пропеллеров, лидаров, батарей, узлов крепление грузов и др.);
- реверс-инжиниринг — копирование и изготовление оригинальных деталей БПЛА через 3D-сканирование и 3D-печать.

В этом обзоре мы рассмотрим основные области применения 3D-печати FDM в производстве и кастомизации БПЛА на примерах, представленных нашими коллегами из компании Intamsys (КНР).



Рис. 4. Ячеистые структуры, части корпуса БПЛА (материал PEEK). Изготовлены на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys

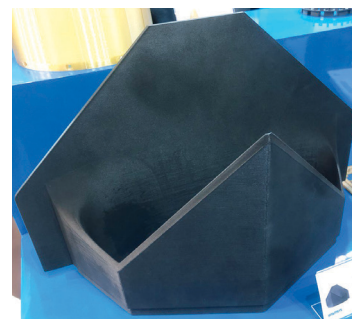


Рис. 5. Воздухозаборник БПЛА из угленаполненного полиэфирэфиркетона (PEEK-CF), изготовленный на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys

Изготовление индивидуальных рам дронов

Рамы обычно изготавливаются из легкого алюминия, однако в последнее время все больше производителей переходят на инженерные пластмассы. Инженерные полимерные материалы — полиэфирэфиркетон (PEEK), полиэфиримид (PEI, Ultem) и другие — обеспечивают приемлемую жесткость при меньшем весе, что позволяет добиваться более высоких аэродинамических характеристик и наращивать полезную нагрузку (рис. 1–3). При этом 3D-печать полимерами на порядок дешевле, чем изготовление корпусов из алюминия.

3D-печать воздухозаборников

В последние два года российские компании не раз печатали воздухозаборники для БПЛА на принтерах Intamsys 410 и 610. Но ввиду договора о неразглашении публикуем примеры, предоставленные специалистами компании Intamsys (рис. 5–7).

3D-печать обтекателей БПЛА (рис. 8–11)



Рис. 6. Воздухозаборник БПЛА Cavorite X5 из угленаполненного полиэфирэфиркетона (PEEK-CF), изготовленный на 3D-принтере Funmat Pro 410. Компания Horizon Aircraft (Канада). Фото: Intamsys



Рис. 8. Носовая часть/обтекатель БПЛА. Изготовлен из полиэфиркетонкетона (PEKK) на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys



Рис. 9. Обтекатель антенны БПЛА. Изготовлен из полиэфиркетонкетона (PEKK) на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys



Рис. 11. Обтекатель БПЛА. Изготовлен из полиэфиркетонкетона (PEKK) на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys



Рис. 7. Крыльчатка БПЛА Cavorite X5 из угленаполненного полиэфирэфиркетона (PEEK-CF), изготовленная на 3D-принтере Funmat Pro 410. Компания Horizon Aircraft (Канада). Фото: Intamsys

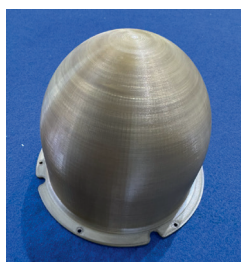


Рис. 10. Носовая часть/обтекатель БПЛА. Изготовлен из полиэфиркетонкетона (PEKK) на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys

Закрылки БПЛА (рис. 12)

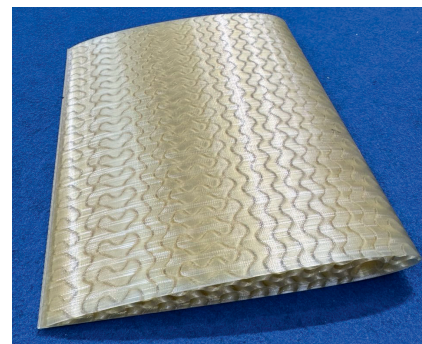
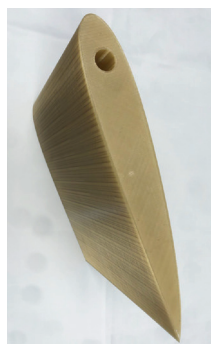


Рис. 12. Закрылки БПЛА. Изготовлены из полиэфиркетонкетона (PEKK) на 3D-принтере Funmat Pro 610HT. Фото: Intamsys

Ключевые параметры большинства БПЛА — время и дальность полета, скорость, вес полезной нагрузки. Специально разработанные пластиковые детали, изготовленные с помощью 3D-печати по технологии FDM, идеально подходят для улучшения вышеперечисленных характеристик БПЛА, включая снижение веса и улучшение аэродинамики, т.к. с помощью 3D-принтера Intamsys можно быстро напечатать части практически любой геометрической сложности из высокотемпературных инженерных материалов.

3D-печать промышленных изделий на промышленных высокотемпературных 3D-принтерах Intamsys Funmat Pro 610HT, Funmat Pro 410 и Funmat HT, Funmat 310 Neo инженерными пластиками, включая PEEK и Ultem.

3D-печать высокотемпературными инженерными пластиками — ULTEM, PEEK, PEKK, PEEK-CF и другими.



Компания Z-Printing
www.z-printing.ru

Официальный дистрибьютор
оборудования от Intamsys — компания Z-axis.

ГИП для улучшения свойств изделий, произведенных методом 3D-печати

Демченко А.И., Андрейко А.И., Максимов А.А., Мальцев А.А., ООО «Гранком»

Введение

В последние годы технология 3D-печати металлических изделий, или аддитивное производство (от англ. Additive Manufacturing), получила широкое распространение в авиационной, космической, энергетической и медицинской промышленности. Она позволяет создавать изделия сложной формы, минимизировать отходы материала и значительно сокращать сроки изготовления. Однако, несмотря на технологические преимущества, одним из ключевых недостатков остается несовершенная внутренняя структура получаемых изделий [1]. Пористость, микротрещины и остаточные напряжения, характерные для аддитивных технологий, могут существенно снижать механические свойства готовых деталей [2].

Одним из наиболее эффективных способов устранения этих дефектов является технология горячего изостатического прессования (ГИП, Hot Isostatic Pressing — HIP) [3]. В процессе ГИП изделие подвергается воздействию высокого давления и температуры в инертной газовой среде, благодаря чему происходит уплотнение материала [4], заварка пор и улучшение структуры. Совмещение технологий 3D-печати и ГИП предположительно позволит получать изделия с высокой точностью, сложной геометрией и улучшенными физико-механическими характеристиками [5].

Целью настоящего исследования является сравнительный анализ свойств двух металлических образцов: одного — изготовленного методом 3D-печати, и второго — дополнительно прошедшего цикл ГИП. В ходе работы проведено исследование механических характеристик каждого образца, что позволяет оценить эффективность применения ГИП для повышения качества продукции, полученной с использованием аддитивных технологий.

Материалы и методы исследования

В качестве основного материала для исследования использовался жаропрочный никель-хромовый сплав, дополнительно легированный ниобием, молибденом, титаном и алюминием Inconel 718 (INCO 718) производства ООО «Гранком». Несмотря на то, что материал Inconel 718 был разработан еще в начале 60-х годов прошлого столетия, он является наиболее используемым материалом для изготовления деталей авиационных двигателей с рабочей температурой ниже 650°C [6]. Речь идет о поддающемся закалке сплаве нихром, который содержит также в значительной мере железо, ниобий и молибден. В небольшом количестве в состав входит также алюминий и титан. Сплав инконель об-

ладает высокой стойкостью к коррозии, высокой прочностью к разрушению, очень хорошей свариваемостью и стойкостью к образованию трещин сварных швов [7, 8]. Он имеет хорошие значения предела прочности при растяжении при температуре ниже 700°C.

В качестве стандарта на исследование использовался ASTM B637 (стандартные спецификации для слитков, поковок и брусков из никелевого сплава для эксплуатации при умеренных или высоких температурах) с выбранными параметрами, указанными в таблице 1.

Изготовление образцов

Изготовление образцов проводилось на установке прямого лазерного выращивания ИЛИСТ-L производства Института лазерных и сварочных технологий СПбГМУ (рис. 1).

Некоторые характеристики данной установки:

- мощность лазера — 3 кВт (максимальная — 6 кВт);
- точность печати — 100 мкм;
- допустимая влажность воздуха — не более 75%;
- максимальная грузоподъемность — 500 кг.

Для эксперимента был изготовлен один образец методом прямого лазерного выращивания. Процесс проводился при следующих параметрах:

- мощность лазера: 1300–1450 Вт;
- скорость выращивания: 20 мм/с;
- среда: защитный газ (аргон);
- размер полученного образца до деления: 31,5 × 113 × 143 мм.

После изготовления образец был разделен на две равные части: образец 1 прошел стандартную термическую обработку; образец 2 прошел сначала процесс горячего изостатического прессования (ГИП), затем — такую же термообработку.



Рис. 1. Установка ИЛИСТ-L

Таблица 1. Результаты проведения испытаний образцов из материала INCO 718

Тип 3D-напечатанного образца из материала INCO 718	Результаты испытаний на растяжение				Результаты испытаний на длительную прочность			
	Предел прочности на растяжение, МПа	Предел текучести при смещении 0,2%, МПа	Отн. удлинение в момент разрушения образца, %	Отн. сужение, %	Напряжение, МПа	Продолжительность испытания, ч.	Отн. удлинение, %	Отн. сужение, %
Норма при $t \pm 20^\circ\text{C}$ $t = 650^\circ\text{C}$	1275	1034	12	15				
					690	23	5	
После ТО при $t \pm 20^\circ\text{C}$	1177	1064	1,6	14				
После ТО при $t = 650^\circ\text{C}$	998	850	14,5	18	689	8,4	4,6	11,5
После ГИП + ТО при $t \pm 20^\circ\text{C}$	1287	1064	23,5	30				
После ГИП + ТО при $t = 650^\circ\text{C}$	895	840	5,3	9,9	758	33		

Горячее изостатическое прессование

Для проведения процесса горячего изостатического прессования использовался комплекс ABB-ASEA QIH-345 (рис. 2) с рабочими параметрами: температура рабочей камеры — 1200°C ; давление в рабочей камере — 150 МПа.

Режим горячего изостатического прессования был подобран специалистами компании ООО «Гранком» и подходит для большинства изделий из жаропрочных сплавов, так как максимальная температура должна быть ниже температуры плавления обрабатываемого материала приблизительно на 20% для предотвращения образования жидкой фазы.

Данные по режиму горячего изостатического прессования: температура: $1190 \pm 10^\circ\text{C}$; давление: 150 МПа; выдержка при температуре: 3 часа; общее время цикла: 32 часа.

Термическая обработка

Обе части образца были подвергнуты одинаковой термической обработке, проведенной в условиях ЦЗЛ (Центральной заводской лаборатории) по стандарту ASTM B637 со следующими значениями:

1. Закалка: нагрев до 1000°C , выдержка 30 минут, охлаждение в воде.

2. Двойной отпуск:

- первый этап: нагрев до 718°C , выдержка 8 часов,
- плавное снижение температуры до 621°C ,
- выдержка до достижения общего времени 18 часов.

3. Охлаждение: на воздухе.

Такой режим термической обработки обеспечивает растворение упрочняющих фаз и их последующее контролируемое выделение, что позволяет достичь максимальной прочности и стабильности свойств материала.

Методы испытаний

Были проведены механические испытания образцов — до и после ГИП-обработки. Все испытания выполнялись в Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) по стандарту ASTM E21-20 «Стандартные методы испытаний для испытаний на растяжение металлических материалов при повышенных температурах».

Испытания на длительную прочность

Для оценки сопротивления материала длительному статическому нагружению при высокой температуре были проведены испытания на длительную прочность.

Параметры, регистрируемые при данных испытаниях:

- прилагаемое напряжение (σ), МПа;
- продолжительность испытания до разрушения (t), ч;
- относительное удлинение до разрушения (δ), %;
- относительное сужение (ψ), %.

Такие испытания позволяют оценить надежность материала в условиях длительной эксплуатации при высоких температурах, характерных для турбин, двигателей и других тепловых агрегатов.

Результаты исследования

Результаты испытаний образцов приведены в таблице 1.



Рис. 2.
Комплекс
ABB-ASEA
QIH-345

Испытания на растяжение

Анализ данных таблицы 1 показывает, что образец, прошедший ГИП и термообработку, демонстрирует лучшие показатели прочности и пластичности по сравнению с образцом, подвергшимся только термообработке:

— предел прочности при комнатной температуре увеличился с 1177 МПа до 1287 МПа, превысив нормативное значение (1275 МПа);

— предел текучести не изменился, оставаясь выше нормы (1064 и 1034 МПа соответственно);

— Показатели пластичности улучшились существенно: относительное удлинение выросло с 1,6% до 23,5%, а относительное сужение — с 14% до 30%.

При температуре 650°C прочностные показатели ожидаемо снижаются, но образец после ГИП сохраняет лучшие значения:

— предел прочности составляет 895 МПа против 998 МПа у второго образца, что несколько ниже,

— относительное удлинение и сужение при этом существенно выше (5,3% и 9,9% соответственно против 1,5% и 18%).

Это указывает на более устойчивую структуру материала после ГИП в условиях повышенных температур и снижение хрупкости.

Испытания на длительную прочность

При испытаниях на длительную прочность при температуре 650°C также выявлено преимущество ГИП-обработанного образца:

— Допустимое напряжение увеличилось с 689 до 758 МПа.

— Продолжительность испытания до разрушения — с 8,4 ч до 33 ч, что указывает на значительное увеличение сопротивления ползучести.

Также наблюдается улучшение пластичности по показателям удлинения и сужения.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что горячее изостатическое прессование положительно влияет на свойства изделий, изготовленных методом 3D-печати. ГИП способствует устранению внутренних дефектов (микропор, пустот), выравниванию структуры и снижению остаточных напряжений, что проявляется в росте прочности и особенно пластичности.

Особенно важно, что при длительной эксплуатации при высокой температуре образец после ГИП демонстрирует значительно более высокую надежность, что делает технологию комбинированного применения аддитивного производства и ГИП перспективной для ответственных деталей в авиационной и энергетической промышленности.

Заключение

Проведенное исследование показало, что сочетание технологий аддитивного производства и горячего изостатического прессования (ГИП) позволяет значительно улучшить механические свойства изделий из жаропрочного сплава INCO 718.

В сравнении с образцом, прошедшим только термическую обработку, образец, дополнительно подвергнутый

ГИП, продемонстрировал: увеличение предела прочности и текучести при комнатной температуре; многократный рост пластичности; повышение сопротивления ползучести и удлинение срока службы при высокотемпературных испытаниях.

Эти результаты подтверждают эффективность использования ГИП как завершающего этапа при производстве ответственных деталей методом 3D-печати, особенно для изделий, эксплуатируемых в условиях высоких температур и нагрузок.

Перспективы дальнейших исследований включают:

- анализ поведения других сплавов, применяемых в аддитивных технологиях;
- оптимизацию режимов ГИП для повышения эффективности и снижения затрат;
- исследование влияния геометрии изделий на однородность уплотнения;
- разработку комплексных подходов к контролю качества после ГИП.

Таким образом, применение ГИП после 3D-печати открывает новые возможности для повышения качества и надежности изделий в высокотехнологичных отраслях.

ООО «Гранком»
Нижегородская обл., г. Кулебаки,
ул. Восстания, 1/14, 607018
Тел.: +7 (831) 4351754
info@grankom.com, <https://grankom.com/>

Литература

1. Гордеев Ю.И., Бинчуров А.С., Москвичев Е.В., Зеер Г.М., Зеленкова Е.Г., Ясинский В.Б., Филиппов С.В., Герасимов Е.В. Исследование свойств регулярных структур, полученных аддитивными технологиями в сочетании с методами порошковой металлургии // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. № 10 (763). 2023. С. 28–43.
2. Евгенов А.Г. Получение и опробование мелкодисперсного металлического порошка высокохромистого сплава на никелевой основе применительно к лазерной LMD-наплавке [Электронный ресурс] // А.Г. Евгенов, С.В. Неруш, С.А. Василенко. Электронный научный журнал «Труды ВИАМ». 2014. № 5. Режим доступа: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=664.
3. Агеев С.В., Гиршов В.Л. Горячее изостатическое прессование в порошковой металлургии // Металлообработка. 2015. № 4 (88). С. 56–60.
4. Ивановская А.А. Технологии аддитивного производства // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2024. № 18(4).
5. Рашковец М.В., Кислов Н.Г., Никулина А.А., Климова-Кормсик О.Г. Влияние термической обработки на структурно-фазовое состояние и ударную вязкость никелевого сплава Inconel 718 при аддитивном производстве // Фотоника. 2021. Том 15. № 7. С. 568–575.
6. ASTM B637-98. Standard Specification for Precipitation-Hardening Nickel Alloy Bars, Forgings, and Forging Stock for High-Temperature Service / ASTM International. West Conshohocken, PA, USA: ASTM, 1998. 12 p.
7. Леушин И.О., Романов А.С., Леушина Л.И., Явтушенко П.М. Конструктивные элементы капсул горячего изостатического прессования металлических порошков: современные тренды // Теория и технология металлургического производства. 2020. № 3(34). С. 26–30.
8. Солодкий П.М., Скребло Д.И., Прокопьев С.В. Аддитивные технологии в металлургическом производстве // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2022. Том 1. С. 540–542.

Производство высоколегированной титановой проволоки марок ВТ6 (ВТ6с), ПТЗВ, ВТ20 и др.



Поставленная задача

Производство титановой проволоки марок ВТ6 (ВТ6с), ПТЗВ, ВТ20 и др. **для аддитивных технологий**, а также изучение ее свойств на примере ВТ6с.

Решение

ООО «Модуль-Т» («3DModule») освоило **русское производство** титановых сплавов, в том числе марок ВТ6, ВТ6с. Был проведен полный цикл исследований, подтверждающих соответствие продукции высоким стандартам.

- **Титановая проволока ВТ6:**

- **Химический состав (Ø3.0):** соответствие ГОСТ 19807-91: Al (6,25 %), V (3,81 %), Fe (0,11 %), C (0,015 %), O (0,11 %).
- **Механические свойства (Ø3.0):** временное сопротивление 858–844 МПа, относительное удлинение 9 % (соответствует ГОСТ 27265-87, при этом удлинение несколько меньше, а прочность выше).
- **Химический состав (Ø1.2):** Соответствие ГОСТ 19807-91: Al (6,34 %), V (4,01 %), Fe (0,123 %), C (0,011 %), O (0,12 %).

ООО «Модуль-Т» («3DModule»), www.3dmodule.ru, info@3dmodule.ru,
тел.: +7(831) 423-71-15, +7(930) 266-07-97, +7(920) 258-65-85

Производство титановых изделий по технологии DED-W ООО «ИксВелд» («xWeld») с использованием титановой проволоки ВТ6 Ø1,2 мм ООО «Модуль-Т» («3DModule»)



Поставленная задача

Продемонстрировать превосходные возможности титановой проволоки ВТ6 Ø1,2 мм ООО «Модуль-Т» («3DModule») для создания сложных и качественных изделий в партнерстве с ООО «ИксВелд» («xWeld»).

Решение

Совместно с ООО «ИксВелд» («xWeld») реализован проект по созданию изделий методом DED-W из титановой проволоки ВТ6 Ø1,2 мм русского производства от ООО «Модуль-Т» («3DModule»). Результаты подтвердили отличную пригодность проволоки для 3D-печати, обеспечивающую высокое качество и точность геометрии, а также были получены изделия с высокими эксплуатационными характеристиками.

- **Преимущества использованной проволоки ВТ6 Ø1,2 мм (производство «3DModule») для технологии DED-W ООО «ИксВелд» («xWeld»):**
- **Химический состав:** полное соответствие ГОСТ 19807-91: [Al (6,34 %), V (4,01 %), Fe (0,123 %), C (0,011 %), O (0,12 %)] гарантирует стабильность и предсказуемость процесса печати.
- **Механические свойства изделий (после термообработки):** высокие значения временного сопротивления (от 903 МПа) и относительного удлинения (10–23 %) обеспечивают превосходные эксплуатационные характеристики напечатанных деталей.

Используемое оборудование

Установка DED ООО «ИксВелд» («xWeld»).

ООО «Модуль-Т» («3DModule»), www.3dmodule.ru, info@3dmodule.ru,
тел.: +7(831) 423-71-15, +7(930) 266-07-97, +7(920) 258-65-85

Реклама

Космический размах

Автор журнала «Аддитивные технологии», основатель интерактивного научного центра для детей и взрослых, руководитель Центра высоких технологий АЛГА Дмитрий Иванов принял участие в панельной дискуссии «Русский космос. Гонка за Марс», проходившей в рамках московского «Форума будущего – 2050» и поделился своими впечатлениями об этом представительном собрании.



На фото Дмитрий Иванов,
Ольга Корниенко – заместитель коммерческого
директора ООО «Спутникс», Эррол Маск.
Фото: «Форум будущего – 2050»

Разговор шел о фундаментальных вещах «за масштабом жизни», национальных целях, способных придать новый смысл образованию, прикладному и бизнес-развитию. Докладчики пытались ответить на вопросы: «Что может значить полет на Марс? Готова ли Россия вступить в гонку за далекий космос? Какую цивилизационную роль может сыграть страна, которая примет этот вызов? Какие силы могут продвинуть эту идею человечества?» И неоднократно выступавшие вспоминали аддитивные технологии.

Зарубежным гостем форума стал Эррол Маск, инженер, бизнесмен и отец Илона Маска. В своем выступлении он рассуждал о том, что для полетов в глубокий космос миру необходимо перейти на новый уровень развития, принять вызов и решить проблему гравитации, создать двигатели на новых физических принципах. Для организации жизни на других планетах он отметил важную роль аддитивных технологий, позволяющих создавать необходимые жилища и детали для механизмов. Он также вспомнил свои детские годы, когда запуск первого советского «Спутника» произвел на него и других представителей его поколения неизгладимое впечатление, заинтересовал космосом, и он стал наблюдать за звездным небом.

Что такое «русский космос»? По замечанию Антона Алексева, модератора, руководителя проектного офиса федерального проекта «Кадры для космоса» Минобрнауки России при МГУ им. М.В. Ломоносова, этот термин означает «большую идею», в которой соединяется вера в человека, инженерная дерзость, философская глу-

бина и наследие больших побед нашей страны. Первый спутник, первый человек в космосе, первый человек, вышедший в открытый космос, и множество талантливых ученых, чьи имена Дмитрий Иванов произносил с благоговением, проведя экскурс в историю мировой космонавтики от Константина Циолковского и Якова Перельмана к Сергею Королеву, Валентину Глушко, а далее к космонавтам Юрию Гагарину, Георгию Гречко, Андрею Борисенко и Сергею Крикалеву, а также к продолжению запусков спутников молодым поколением исследователей, появлению гильдии «Рубежи науки», поставившей перед собой цель решения задачи по изучению гравитации и созданию нового поколения космических двигателей.

На вопрос модератора о том, сможет ли гонка за Луну или за Марс стать для России новой смысловой орбитой, как это было в СССР, Сергей Переслегин, директор Международного научно-исследовательского института проблем управления (МНИИПУ), писатель и футуролог, выдвинул несколько тезисов, которые зал приветствовал аплодисментами.

По мнению Переслегина, за последние месяцы произошли сильные изменения в понимании космоса, и космос неизбежен, поскольку предыдущая глобализация охватила Землю, а следующая глобализация выходит за ее пределы. И это не зона исследования, а зона освоения.

Что для этого требуется? Инфраструктура на Земле, тяжелый носитель (желательно многоразовый, хотя не обязательно), сборочный док на орбите (возможно, вместо орбитальной станции) и, прежде всего, космические корабли со столетним сроком использования. А поскольку Земля имеет глубокий гравитационный колодец, то только первые космические колонии будут создаваться с Земли, остальные — из космоса. И именно аддитивные технологии (3D-принтинг) могут решить эту задачу.

Важным замечанием стало то, что освоение космоса — это также и новое открытие Земли. Если научиться жить в космосе, то можно жить на Земле везде, включая полярные территории. Верно и обратное: освоение Россией Северного морского пути и строительство городов за полярным кругом позволяют проектировать поселение в космосе.

Также во время дискуссии участники говорили о том, что соперничество сверхдержав во время космической гонки 50-х и 60-х годов было полезно и ускорило развитие изучения космоса в мировом масштабе, о том, что в нашей стране есть технологический задел, который при наличии финансирования и политической воли может позволить занимать лидирующие позиции в освоении космоса, о том, что человек станет «человеком космическим» в ближайшие десятилетия, но для этого ему потребуется переосмыслить многие этические принципы, понять, как можно замотивировать людей на выполнение задач, которые длятся дольше продолжительности жизни обычного человека.

Меры поддержки развития аддитивных технологий в России

Перед российской промышленностью стоит задача в кратчайшие сроки обеспечить технологический суверенитет и переход на новейшие технологии. Госкорпорации и частный бизнес направляют значительные финансовые ресурсы на ускоренное развитие отечественной исследовательской, инфраструктурной, научно-технологической базы. Вместе с тем на повестке дня остро стоят вопросы устранения существующих преград в достижении поставленных целей.



Фото: АРАТ

В конце мая 2025 года на площадке 25-й юбилейной международной выставки «Металлообработка-2025» прошла конференция «Барьеры развития отрасли аддитивных технологий, поиск механизмов по их устранению», где участники профессионального сообщества обсудили действующие инструменты поддержки развития и высказали предложения по повышению эффективности отрасли. Организатором выступила Ассоциация развития аддитивных технологий (АРАТ).

Мария Красавина, руководитель управления экспертизы проектов машиностроения Фонда развития промышленности, проинформировала собравшихся о существующей программе финансирования долгосрочных инвестиций по льготной финансовой ставке, которая может быть снижена при выполнении ряда условий, например, если предприятие в рамках своего проекта приобретает российское оборудование или российское программное обеспечение.

Проект считается реализованным, когда выполнены его задачи и цели, работы по календарному плану завершены, а главная цель проекта — серийный выпуск продукции — достигнута.

Для оценки результативности использования заемных средств Фонда применяются целевые показатели

эффективности, выполнение которых фонд регулярно отслеживает. Денежные средства должны быть использованы целевым образом. Фонд акцептует каждый платеж из средств займа и следит за своевременной оплатой процентов тела долга. Заемщики ежеквартально отчитываются о выполнении календарного плана, предоставляют бухгалтерскую документацию. Факт достижения целевых показателей эффективности по проекту оценивается ежегодно. Сотрудники фонда регулярно проводят выездные аудиты на предприятия для осуществления контрольных мероприятий.

Имеется ряд ограничений на использование средств фонда. В частности, деньги займа нельзя использовать под строительство или капитальный ремонт, проведение научно-исследовательских работ, производство продукции военного назначения, рефинансирования заемных средств и уплату процентов по ранее привлеченным кредитам и займам, применять в качестве оборотных средств.

От момента подачи заявки до момента получения денежных средств на счет происходит порядка двух-трех с половиной месяцев. Каждый случай индивидуален, и все зависит от клиента: насколько качественно подготовлены документы и насколько быстро клиент отвечает на дополнительные вопросы.

Семен Лунев, директор департамента информационного сопровождения Центра поддержки инжиниринга и инноваций, выступил с докладом о помощи технологическим компаниям, реализующим проекты по разработке и созданию или расширению производства продукции для внедрения в хозяйственную деятельность государственных и частных российских корпораций за счет целевого финансирования из федерального бюджета.

Отраслевая грантовая программа «доразвивания» поставщиков корпораций, реализуемая центром совместно с Минпромторгом, предполагает выдачу грантов, т.е. целевое, безвозмездное, безвозвратное финансирование. Участником программы может стать российская организация с долей участия физических или юридических лиц из недружественных юрисдикций не более 25%.

Для получения финансирования проект должен быть направлен на внедрение импортозамещающих и иных экономических эффективных продуктов, обладать признаками масштабируемости, вести к повышению экономической эффективности технологических или бизнес-процессов корпорации-заказчика или ее аффилированных лиц. Он должен быть нацелен на внедрение продуктов, произведенных на территории России. Объем спроса (потребности) в создаваемом продукте должен не менее

чем в 5 раз превышать размер запрашиваемого гранта на ближайшие 6 лет.

Стадия развития технологического продукта должна быть не ниже 4-го и не выше 7-го уровня готовности технологий — от лабораторного образца с испытанными базовыми функциями до опытного образца в реальном масштабе. У продукта, создание которого планируется в рамках реализации проекта, не должно быть сравнимых по техническим и стоимостным характеристикам аналогов, серийно производимых на территории страны.

Продукт, который имеет отраслевую приоритезацию, то есть предполагается применение в проекте технологий из перечня приоритетных технологий, также соответствует Общероссийскому классификатору продукции по видам экономической деятельности (ОКПД 2) из перечня, утвержденного в рамках проектов технологического суверенитета. Продукция должна быть предусмотрена в картах технической кооперации Национального проекта технологического лидерства (НПТЛ).

Приоритетными отраслями являются нефтегазовое, энергетическое и транспортное машиностроение.

Позднеев Борис Михайлович, председатель правления ассоциации «Цифровые инновации в машиностроении» (АЦИМ), председатель Координационного совета председателей национальных и межгосударственных технических комитетов по стандартизации в области цифрового развития (КССЦР), д.т.н., профессор, академик Академии проблем качества, высказал свое мнение о перспективах интеграции аддитивного производства в цифровую промышленность на основе опережающей стандартизации.

Системное развитие средств автоматизации роботов для цифровой трансформации и инновационного развития отечественной промышленности предполагает консолидацию деятельности технических комитетов по стандартизации и других заинтересованных сторон в целях системной разработки и применения стандартов для повышения эффективности цифровой трансформации ключевых отраслей промышленности, обеспечения технологического суверенитета на основе интеграции лучших отечественных ИТ-продуктов и систем.

Структура направлений стандартизации «Цифровая промышленность» (Индустрия 4.0) представляет собой комплексную систему взаимосвязанных компонентов:

- Цифровая трансформация.
- Комплексы стандартов отраслевой направленности.
- АСУ в цифровом производстве.
- Структура промышленных данных.
- Системы мониторинга и обработки промышленных данных.
- Промышленные сети и кибербезопасность.
- Интеграция и интероперабельность систем.
- Административные оболочки для ресурсов и активов.
- Открытая платформа взаимодействия (Open Platform Communications Unified Architecture — OPC UA).
- Модель эталонной архитектуры (Reference Architectural Model Industry 4.0 — RAMI 4.0).

- Онтология и терминологическая база.

Модель эталонной архитектуры (RAMI 4.0) имеет универсальный характер и является основой для создания умных (интеллектуальных) производств, управления активами предприятий и формирования цепочек добавленной стоимости, обеспечивая их интеграцию и интероперабельность в соответствии с концепцией Индустрии 4.0 и новой системы стандартов цифровой промышленности.

Денис Бадекин, руководитель проекта по развитию регионального бизнеса АО «Российский экспортный центр» (РЭЦ), разъяснил содержание механизмов государственной поддержки экспорта и импорта.

В рамках содействия отечественным предприятиям оказывается нефинансовая поддержка в форме международных консультаций зарубежных представительств РЭЦ.

Производится поиск покупателей за рубежом и сопровождение переговоров. Осуществляется продвижение товаров через каналы электронной торговли. Даются консультации по сертификации, логистике, патентованию. Функционирует «навигатор по барьерам».

Существуют специальные программы поддержки экспорта от Минпромторга. Выплачивается компенсация части затрат на транспортировку высокотехнологичной продукции. Доля покрытия затрат составляет до 60% от суммы затрат на транспортировку и менее 11% стоимости продукции. Выполняется софинансирование затрат на участие в выставках и бизнес-миссиях. Реализуется компенсация затрат на НИОКР и омологацию (усовершенствование объекта, улучшение технических характеристик с целью соответствия товара каким-либо стандартам или требованиям страны — потребителя товара, получения согласования от официальной организации). Осуществляется компенсация логистическим компаниям на перевозку по приоритетным международным транспортным коридорам.

Реализуются меры страховой поддержки, предполагающие страхование отсрочки платежа для предприятий малого и среднего бизнеса (МСП). Страхование краткосрочной дебиторской задолженности сроком до одного года, которое распространяется на риски коммерческого и политического характера. Страхование авансовых платежей позволяет российским компаниям, осуществляющим импортную деятельность, застраховать риски невозврата оплаченного аванса при нехватке товаров со стороны поставщиков.

Марат Ахматов, заместитель председателя союза «Торгово-промышленная палата Республики Татарстан», изложил понимание процесса развития отрасли аддитивных технологий. Ключевая инициатива программы развития аддитивных технологий — развитие специализированной инфраструктуры.

В республике создан региональный научно-производственный центр, основной задачей которого является обеспечение равного доступа к научной, испытательной, производственной инфраструктуре для

быстрого прототипирования оборудования, изделий, комплекствующих.

В состав центра входят: 3D-фермы (аддитивные установки различных технологий), научное и лабораторное оборудование, испытательная лаборатория, сертификационный центр, аддитивный учебный центр.

Перспективными направлениями развития аддитивных технологий в Республике Татарстан являются медицина, аэрокосмическая промышленность, автомобилестроение, энергетика,

Медицинский вектор предполагает разработку индивидуальных протезов, имплантов, создание биологических материалов. Аэрокосмическая отрасль требует создания легких и прочных деталей, оптимизации конструкции летательных аппаратов. Автомобильная промышленность диктует необходимость разработки прототипов, создания индивидуальных деталей, оптимизации процесса производства. Энергетическое направление дает запрос на создание элементов турбин, оптимизацию теплообменников, разработку эффективных систем хранения энергии.

В Республике Татарстан сформирована аддитивная отрасль с высоким уровнем технологического развития. Предполагается, что применение аддитивных технологий в различных сферах экономики приведет к увеличению производительности труда и сокращению затрат.

Введение аддитивных технологий позволит создавать продукцию и услуги с более высоким качеством, уникальными характеристиками и более низкой стоимостью. Активное использование аддитивных технологий повысит конкурентоспособность продукции республиканских производителей, тем самым укрепив позиции Республики Татарстан в мировой экономике.

Развитию отрасли аддитивных технологий способствует проведение глобального форума по металлообработке и аддитивным технологиям «ТЕМП». Организатором «ТЕМПа» выступает Торгово-промышленная палата Республики Татарстан в лице ООО «Татэкспо» при поддержке Министерства промышленности и торговли РТ и Агентства инвестиционного развития РТ под патронажем Торгово-промышленной палаты РФ. Функцию технического оператора выполняет ООО «Вико».

Светлана Петрова, вице-президент Межрегиональной ассоциации женского бизнеса, четко обозначила барьеры развития малых предприятий и поделилась способами, позволяющими увеличить срок жизни компании, путем правильного выбора стратегии и подходов к устойчивому росту.

По статистике, большинство компаний малого бизнеса не доживает даже до 7 лет. Совершенно критичным является возраст 2 года, когда примерно половина организаций «умирает». Те, кто выживает и идет дальше, пользуются различными финансовыми и нефинансовыми мерами поддержки, и где-то на этапе 3 лет проходит точка окупаемости малого бизнеса.

В подобных условиях, по мнению докладчика, для успешного развития аддитивных технологий обоснованно выделить определенные ценностные ориентиры:

- Способность реализовывать задачи национального развития.

- Прорыв в научно-техническом и экономическом аспектах с учетом приоритета капитализации и инновационного развития.

- Способность увеличить эффективность производства предприятий промышленности за счет внедрения методов аддитивного производства в производственный цикл изготовления продукции.

- Консолидация ресурсов для реализации комплексных проектов в области аддитивных технологий и выпуска конечной продукции с учетом приоритета участия организаций с частным капиталом, малого и среднего бизнеса.

Компании исчезают из-за дефицита устойчивости, недостатка управленческих знаний, отсутствия долгосрочной стратегии; соответственно, никаких налоговых поступлений не происходит. У предпринимателей не хватает системных знаний:

- в финансовом планировании и инвестиционном анализе;

- в построении бизнес-моделей, масштабировании бизнес-процессов;

- в маркетинге;

- в правовой основе бизнеса;

- в получении господдержки;

- в управлении командой и процессами роста;

- в работе с рисками.

«Предприниматель — это профессия», — подвела итог Светлана Петрова. Настало время признать: предпринимателей нужно готовить системно. Если государство ставит задачи — бизнес должен уметь их реализовывать, даже сильная поддержка неэффективна без подготовленной среды. Зерна должны падать на подготовленную почву — на образованных предпринимателей.

Требуется национальный образовательный предпринимательский стандарт. Необходимо достичь цели укрепления культуры осознанного предпринимательства, направленной на качественное изменение делового климата в стране. Нужно осуществить переход от краткосрочного мышления к стратегическому планированию, от выживания к созиданию, от мелкого торгового партнерства к общественному партнерству.

Участники конференции были едины во мнении, что государственная поддержка такого вида высокотехнологичной продукции, как аддитивные средства производства, оказывает весомое влияние на развитие отрасли. Необходимы меры поддержки, которые станут доступны для всех представителей бизнеса. Особое внимание следует уделить вопросам стандартов, сертификации и технологической интеграции.

В ходе состоявшейся дискуссии были определены приоритетные инициативы, направленные на снятие системных ограничений и ускоренное внедрение аддитивных решений в производственные цепочки.

Владимир Сорокин

Наука и кадры как двигатель наращивания потенциала аддитивных технологий

Как преодолеть дефицит кадров, сделать работу в отрасли аддитивных технологий (АТ) более привлекательной — этот вопрос стал темой обсуждения научно-практической конференции «Наука и кадры как драйвер развития отрасли аддитивных технологий», прошедшей в рамках юбилейной XXV выставки «Металлообработка» на площадке «Экспоцентра» на Красной Пресне.

Представители деловых кругов обсудили текущую ситуацию в сфере аддитивных технологий, обозначили направления их развития, коснулись вопросов разработки программ обучения в области АТ как на уровне вузов, так и дополнительного образования, обменялись мнениями о готовности современной молодежи стать лидерами в практической реализации аддитивных технологий в самых различных областях. Модератором конференции выступил **ректор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) Глеб Туричин**.



Фото: СПбГМТУ

Дмитрий Телышев, директор Института бионических технологий и инжиниринга ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России, поделился с собравшимися опытом подготовки специалистов, имеющих системные знания в области АТ, которые обладают «клиническим» мышлением и хорошо ориентируются в современных методах медицинской диагностики. Актуальность программы подготовки определяется необходимостью производства биотехнических систем с оптимальными технико-экономическими показателями. Аддитивные технологии позволяют создавать сложные геометрические структуры и персонализированные изделия с высокой точностью и долговечностью.

Учебная программа включает в себя в том числе изучение основных требований процедуры регистрации медицинских изделий, что позволяет сократить время и затраты на этот процесс, а также гарантировать соответствие продукции законодательным требованиям. Итогом обучения является уникальный опыт реализации проекта методом 3D-печати.

Сергей Салихов, Первый проректор НИТУ МИСИС, привел убедительные аргументы в пользу дальнейшего совершенствования проекта «Передовые инженерные школы» (ПИШ) как средства формирования кадрового резерва в области АТ.

Так в ПИШ НИТУ МИСИС выполнен большой объем исследований: разработка технологий изготовления целевых изделий из тугоплавкого молибденового сплава; разработка программного обеспечения прогнозирования влияния лазерно-импульсного воздействия на структурно чувствительные характеристики материала синтезируемых изделий; создан опытный образец установки для изготовления объемных заготовок целевых изделий с возможностью использования на структурно чувствительные характеристики материала и так далее.

Темп, цикл производства техники и, соответственно, сохранение качества являются важной задачей, которая стоит перед промышленностью, решать ее необходимо концептуально. Необходимо готовить конструкторов, технологов и технологов-конструкторов с адаптацией к потребностям предприятий. У каждой организации свои типы изделий, свои функции реализации, свои стандартные решения и свои нормативные базы. Требуется учить на конкретных кейсах, конкретных примерах, конкретных решениях для конкретных случаев. Качество должно быть предсказуемым.

Виталий Смелов, директор Института двигателей и энергетических установок Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, проинформировал о подготовке в университете инженерно-технических специалистов и научно-педагогических кадров высшей квалификации в области аддитивных технологий.

Осуществляется реализация прорывных научных проектов фундаментального и прикладного характера, выполнены экспериментальные научно-исследовательские работы на имеющемся научном оборудовании, производится разработка и совершенствование образовательных программ по направлениям «Аддитивные технологии» и «Материаловедение».

Основные направления учебной деятельности:

- Реверс-инжиниринг, в том числе: 3D-сканирование; цифровое проектирование и моделирование; подбор материалов и режимов 3D-печати; определение контура геометрии; проведение комплексных испытаний, включая механические, газодинамические, горение.
- 3D-печать заготовок: селективное лазерное сплавление; прямое лазерное выращивание; электродуговое выращивание проволокой; FDM-печать.
- Прототипирование и НИОКТР: моделирование процессов 3D-печати; материаловедение; исследование

свойств синтезированных материалов; изготовление мастер-моделей, восковых моделей, выжигаемых моделей; разработка системы управления качеством аддитивного производства.

- Производство полного цикла: проектирование технологического процесса; 3D-печать; термообработка; постобработка; механическая обработка; контроль геометрии; испытания (механические, газодинамические, путем горения).

В рамках образовательного процесса применяются учебные программы:

- Цифровые и аддитивные технологии.
- Аддитивные технологии на основе применения порошковых металлургических материалов в авиационном двигателестроении.
- 3D-печать и инженерная практика (после 1-го курса).
- 3D-печать и дизайн-мышление (по университетским субботам).

Исследования направлены в сторону непрерывного совершенствования технологий.

Мария Борисова, начальник управления по развитию бизнеса ООО «Росатом Аддитивные технологии» (РосАТ), в своем докладе определила основные направления комплексного подхода к внедрению аддитивных технологий.

Разработка и создание аддитивного производства обеспечивает сокращение сроков выпуска продукции на 75%, снижение периода освоения срока продукции на 50%, кратное уменьшение капитальных затрат (CAPEX) на создание производства. Одновременно в процессе производства затраты на механическую обработку сокращаются на 1,5–2 раза, объемы затрат на складское хранение снижаются в аналогичном размере, коэффициент использования материалов увеличивается до 80%. В период эксплуатации скорость проведения ремонтных работ увеличивается до 60%, минимизируются затраты от остановки производства за счет 3D-печати запасных частей, затраты энергии снижаются до 75%. На финальном этапе жизненного цикла изделия потери утилизации позволяют снизить издержки производства до 90%, минимизировать источники загрязнений из-за отсутствия вредных веществ в АТ-производстве, применить технологию рециклинга порошков и газов (Азот, аргон).

Вместе с тем на пути гармоничного внедрения аддитивных технологий присутствуют объективные барьеры, самым главным из которых является непонимание сути самой технологии. Параллельно существуют сложности при самостоятельном внедрении, предполагающие высокую стоимость инсталляции, а также объективно медленную окупаемость при ошибках реализации проекта. Важную роль играют дефицит квалифицированных кадров, отсутствие и/или недостаточность нормативной документации по применению.

Компания «Росатом Аддитивные технологии» концентрирует отраслевые компетенции и является центром ответственности за развитие и внедрение АТ в корпорации. Организация предоставляет комплексные решения в части внедрения аддитивных технологий, является крупнейшим отечественным разработчиком стандартов

в сфере аддитивных технологий, производит 3D-принтеры (FDM, SLM, EBAM, DMD), программное обеспечение и металлические порошки. Направлениями деятельности РосАТ являются: разработка и производство оборудования; производство материалов для 3D-печати; разработка и производство комплектующих; разработка программного обеспечения; 3D-печать изделий; разработка технологии производства изделий. В настоящее время специалистами госкорпорации «Росатом» впервые в стране разрабатываются отраслевые технические и технологические стандарты аддитивных технологий, на их основе готовится нормативная база сертификации материалов и изделий, актуальных для аддитивного производства в атомной отрасли и других сферах.

Наталья Андреева, директор АНО «Город детства», изложила принцип построения образовательной экосистемы ранней профориентации как основы подготовки кадров для аддитивной отрасли.

Рынок труда испытывает нехватку специалистов с практическими навыками цифрового производства и проектной культуры. Пока одни учат теорию, другие печатают детали. Наталья Андреева считает, что будущее за теми, кто совмещает и то и другое. Образовательная экосистема — это связь образования, науки и производства. Экосистема предполагает наличие углубленной программы для школьников, изучение инженерии, робототехники и аддитивных технологий. Необходимо разработка проектов на стыке наук от биологии до информатики. Требуется организация процессов от проектирования и сборки до программирования и тестирования. В результате создается среда, в которой ребенок растет как будущий инженер, ученый, творец благодаря междисциплинарному подходу: инженерия, наука, культура, цифровизация.

По мнению докладчика, ранняя профориентация, начиная с детского сада, обеспечивает вовлечение детей в технологический мир через игровые проекты и изучение азов аддитивных технологий. В ходе работы над проектами, в которых дети создают простые конструкции на 3D-принтерах, они получают навыки работы с цифровыми инструментами. Раннее понимание логики производства и технологических процессов формирует устойчивую мотивацию к инженерному обучению.

В связке трех элементов: наука, образование, производство — рождаются инженеры нового времени, способные не просто понимать, а создавать будущее. Наука выступает источником идей, она пробуждает любопытство, ставит вопросы и предлагает направления для исследований. Образование является средой роста, оно превращает научные открытия в опыт, доступный каждому ребенку, подростку, будущему специалисту. Производство становится полем действия, здесь теория превращается в реальность, идеи обретают форму, знания — применение, ученики — профессию.

Центр аддитивных технологий общего доступа на базе АНО «Город детства» (Интехсад и Интехлицей) нацелен на профориентацию и подготовку кадров для высокотехнологичных отраслей. Центральной задачей является подготовка учащихся к реальным задачам

производства и взаимодействию с бизнесом. Ученики реализуют реальные междисциплинарные проекты от идеи до функционирующего продукта.

Иван Иванов, заместитель генерального директора НПО «ЦНИИТМАШ» — директор Института металлургии и машиностроения, раскрыл содержание научно-образовательного обеспечения внедрения аддитивных технологий.

На сегодняшний день можно выделить группу факторов, сдерживающих развитие АТ в России:

- Компании предпочитают проверенные решения.
- 3D-технологии не вписываются в текущие процессы.
- Крупные финансовые ресурсы были инвестированы в другие процессы.
- Нехватка специалистов.
- Неясность экономического обоснования внедрения.
- Недостаток экспертизы в сфере 3D-печати.
- Ненадежность напечатанных деталей.
- Технологии не масштабируются.
- Дороговизна технологии и материалов 3D-печати.

Складывается замкнутый круг: отсутствие производства, дефицит кадров, отсутствие научного и технологического заделов. Для преодоления сложившихся барьеров предлагаются цифровые инструменты для индустриализации аддитивных технологий:

- Базы данных свойств материалов аддитивного производства, содержащие сведения от исходного порошка до технологических режимов, микроструктуры, а также механических и эксплуатационных свойств.
- Геометрическое моделирование трехмерных объектов, топологическая оптимизация, генерация решетчатых структур в зависимости от назначения и условий эксплуатации.
- Моделирование физических процессов (технология селективного лазерного сплавления (СЛП) и прямого выращивания) на разных масштабных уровнях, прогнозирование геометрии детали (короблений), микроструктуры и свойств материала.

- Подготовка и оптимизация процесса печати, создание поддерживающих структур, выработка стратегии печати, оптимизация размещения деталей в зоне печати.

- Программно-аппаратная платформа для управления процессом печати с применением систем мониторинга и контроля в режиме реального времени для обеспечения стабильности качества синтезированного материала.

Для обеспечения качества серийной аддитивной продукции отечественного машиностроения новые единицы оборудования должны быть оснащены системами непосредственного контроля за процессом СЛП:

1. Система контроля температуры жидкой ванны.
2. Система контроля всей области сплавления на основе телевизионной камеры.
3. Система контроля качества порошкового слоя.
4. Система контроля геометрии изделия.
5. Ультразвуковая система контроля качества синтезируемого материала.
6. Система контроля мощности лазерного излучения.

В АСУ заложен инструмент на основе скриптового языка, позволяющий взаимодействовать с системами

контроля и использовать модели для формирования прогноза качества материала и изделия.

Ведется разработка цифрового паспорта, выполняющего функцию базы формирования научного задела. Осуществлено создание открытой базы данных материалов, синтезированных методами АТ, учитывающих марку и тип оборудования, технологические параметры процесса формирования свойств материала.

Дарья Дмитриева, генеральный директор академии аддитивных технологий «Цифра Цифра», проанализировала отечественные учебные заведения, где учат аддитивным технологиям.

Сегодня в России подготовкой специалистов в области АТ занимается широкий круг организаций. Вузы и учреждения среднего специального образования (СПО) дают учащимся глубокие академические знания и обеспечивают получение профессии, при этом имеется отрыв обучения от реальных задач производства, отсутствуют навыки в необходимом объеме. Учебные центры дополнительного профессионального образования (ДПО) дают актуальные практические знания «без воды», осуществляется повышение квалификации и профессиональная переподготовка. Однако в период прохождения краткосрочных курсов невозможно передать весь необходимый объем теоретических знаний, равно как трудноосуществим контроль качества образовательных программ.

В рамках постпродажного обучения производится тренировка в работе на конкретном оборудовании, передается практический опыт. При этом образование носит узконаправленный характер, выполняется обучение сотрудников, которые на текущий момент уже числятся в штате компании. Сроки обучения, как правило, коротки.

Учебные заведения сконцентрированы в Москве, Санкт-Петербурге, Уральском и Дальневосточном Федеральных округах, в Иркутске.

В целях повышения качества образования целесообразно соединить высокий уровень теоретической подготовки в вузах с практическим опытом работы ДПО. Рационально расширить спектр различных форм образовательных мероприятий путем включения очных практических курсов, онлайн-семинаров, проведения форумов специалистов, организации дискуссионных клубов.

Все выступившие на конференции подчеркивали важность разработки программ обучения в области аддитивных технологий, необходимость преодоления дефицита и привлечения кадров в эту сферу, насущность применения международного опыта при подготовке кадров для высокотехнологичных производств.

Качественные учебные планы дают возможность студентам углублять практические знания, просчитывать последствия неверно принятых решений, отрабатывать правильные алгоритмы производственных процессов.

Особенно важен системный подход в подготовке специалистов: чтобы вырастить инженера будущего, нужно включить его мышление как можно раньше, лучше всего, когда он еще ребенок. Для ликвидации кадрового инженерного «голода», необходимо участие всех: от родителей, школ, вузов до органов власти и предприятий.

Владимир Сорокин



Молодые лидеры демонстрируют успехи в аддитивке

Подготовкой специалистов, планирующих работать в области аддитивных технологий (АТ), стремящихся получить навыки управления 3D-принтерами, занимаются ведущие вузы страны. Подобные специалисты играют ключевую роль в современных производственных процессах, открывая новые возможности в области прототипирования, производства на заказ, а также в медицине, аэрокосмической и атомной промышленности.

В рамках выставки «Металлообработка-2025» под председательством ректора Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) Глеба Туричина прошла конференция студенческих работ самой актуальной тематики, которая стала своеобразной олимпиадой молодежных достижений в АТ.

Анна Клешина, студентка СПбГМТУ, выступила с докладом о методах увеличения производительности технологии прямого лазерного выращивания (ПЛВ) за счет увеличения производительности процесса.

Существуют различные методы увеличения производительности, например, за счет увеличения скорости накладки, применения комбинированных источников энергии, использования более мощных лазеров. В данном случае для высокопроизводительного метода была проведена модернизация лазерного источника путем дополнительного охлаждения рабочего воздуха, что позволяет обеспечить рабочую температуру оптической системы. В результате было достигнуто снижение стоимости килограмма изделия и увеличение скорости выращивания изделий. Перспективами развития данного направления являются выращивание из дуплексной стали, расширение диапазона используемых материалов, работа с мощными лазерными источниками.

Опытом исследования структуры и механических свойств сплава ВТ6, полученного лазерно-проволочной

наплавкой, поделился **Игорь Хомутинов, аспирант 3 курса Пермского национального исследовательского политехнического университета кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов» (СПМТМ)**. Особенности процесса являются вертикальная и боковая подача проволоки при различных смещениях фокуса.

Диплом III степени! Екатерина Белякова, студентка второго курса Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), объяснила способы применения аддитивных технологий в разработке фантомов для ультразвуковой диагностики.

Фантомы — антропоморфные модели органов, имитирующие по акустическим и механическим свойствам ткани человека. Благодаря им врачи могут обрабатывать навыки ультразвуковой диагностики и проведение биопсии. Разработка фантомов для ультразвуковой диагностики позволяет производить сегментацию КТ и МРТ-снимков, создавать 3D-модели органов для заливки формы, выполнять печать форм на 3D-принтерах, изготавливать ультразвуковые материалы.

Георгий Кржевицкий, студент Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, дал оценку влияния расположения заготовки на платформе построения на геометрическую точность при изготовлении изделий методом селективного лазерного сплавления (СЛП).

В круг задач работы входило: создание экспериментальных образцов с использованием СЛС; оценка точности изготовленных образцов с фиксированием результатов проведенных измерений; анализ результатов измерений и формулировка заключения. План эксперимента охватывал пять параметров процесса: толщина; радиус кривизны по вертикали; радиус кри-

визны по горизонтали; угол поворота на платформе; расположение на платформе. Кроме того, учитывались внешние условия процесса и специфика геометрии образцов СЛС. Для понимания степени влияния варьируемых параметров производился корреляционный анализ, который выявил сильные связи между углом поворота и толщиной образца.

Ангелина Гаврилова, студентка четвертого курса Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана), выделила особенности изготовления колеса турбореактивного двигателя методом селективного лазерного плавления (СЛП, SLM). Небольшие турбореактивные двигатели могут использоваться для беспилотных летательных аппаратов, а также крылатых ракет в малой пилотируемой авиации.

Колесо турбины турбореактивного двигателя может быть изготовлено различными методами:

- Селективное лазерное плавление имеет набор преимуществ: быстрый цикл изготовления; возможность получения почти готового изделия; высокую точность (до 100 мкм); возможность получения сложных конфигураций с высокой точностью. Вместе с тем производительность у СЛП низкая при изготовлении изделий среднесерийного, крупносерийного или массового производства.
- Коаксиальное лазерное плавление (КЛП) имеет несколько преимуществ: быстрый цикл изготовления; более экономичное использование порошка, чем при СЛП; возможность получения почти готового изделия. Наряду с этим в процессе производства возникает большая шероховатость и волнистость заготовки, имеются сложности получения ряда участков изделия. Производительность остается на низком уровне.

• Литье по выплавляемым моделям имеет свои положительные специфики: отработанность технологии; возможность получения отливок самой сложной конфигурации практически из любых сплавов. К сожалению, цикл изготовления детали долог, отсутствует возможность быстрого внесения изменения по результатам экспериментов. Механическая обработка дает высокую точность размеров и возможность автоматизации, но при этом ей сопутствует большой расход материала, трудоемкость изготовления тонких лопастей, значительные затраты времени.

Олег Ширунов, студент магистратуры Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ), раскрыл суть экспериментального исследования газопорошковой струи с помощью высокоточных весов.

Целью исследования являлась разработка методики экспериментального определения плотности потока порошка в газопорошковой струе. Объемное распределение плотности потока в струе, сформированной технологическим соплом, оказывает существенное влияние на результат обработки и, в частности, определяет геометрии получаемых валиков, коэффициент захвата порошка, наличие дефекта в готовом изделии. Использовались

высокоточные весы специального класса точности с дискретностью в 0,1 мг.

Экспериментально было доказано, что поток порошка является стационарным. По мере удаления от среза инжектора эффективный радиус распределений меняется линейно. Коэффициенты линейной функции изменения эффективного радиуса струи были определены с помощью метода наименьших квадратов.

Эмиль Аскеров, представитель Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова (Сеченовский университет), Институт бионических технологий и инжиниринга, посвятил свой доклад теме изготовления гидрогелевых деталей методом фотополимерной печати.

Гидрогель является полимерно-органическим гидрофильным веществом, имеющим в своем составе сшивающие агенты. Субстанция, которая использовалась в работе, состоит из четырех основных веществ и из воды. В состав входят акриламид, нитилен-бисакриламид, персульфат аммония и репеплорин. Акриламид — это основное вещество, используемое для данного микроэлемента, сшивающий агент. Сульфат аммония — соль. Арифлавин — витамин B2. Вывод работы состоит в том, что была предложена технология 3D-печати гидрогеля собственного производства из практически подручных материалов, которые можно спокойно купить и самостоятельно приготовить.

Диплом I степени! Илья Бородин, студент Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, в деталях рассказал о разработке программного комплекса для инженера-технолога по электродуговому выращиванию.

Объективно существует проблема, связанная с трудоемкостью написания управляющих программ для роботизированных комплексов (РТК) электродугового выращивания (ЭДВ). Стояла цель автоматизировать процесс создания управляющих программ. Задачами работы являлось: проанализировать имеющиеся наработки других компаний; выделить наиболее простой в исполнении и доступный способ; адаптировать выбранный способ под имеющееся оборудование; апробировать полученное решение на изделиях сложной геометрической формы и деталях вращения.

Перспективами дальнейшего развития темы исследований является: внедрение в обработку сварочных параметров постпроцессора; реализация возможности устанавливать межслойные паузы, в том числе динамические; интеграция автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера технолога в ЭВД.

Диплом II степени! Светлана Евсеева, студентка второго курса Уральского федерального университета им. первого президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ), кафедры «Технологии машиностроения, станки и инструменты» (ТМСИ) в составе Института новых материалов и технологий (ИНМТ), поделилась своими соображениями о разработке, изготовлении и испытании

линейки сборных резцов для обработки канавок с применением аддитивной SLM-технологии.

В рамках практической реализации предстояло решить ряд технических задач:

- Разработать инструмент, имеющий более высокую производительность, чем имеющиеся аналоги.
- Добиться увеличения скорости резания, например, при обработке титановых и жаропрочных сплавов, за счет подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания под высоким давлением по специальным каналам.
- Снизить затраты на изготовление режущих инструментов.
- Уменьшить объем корпусов.
- Сократить размер синтезирующей части.

Выводами работы стало доказательство конкурентоспособности аддитивных SLM технологий при производстве малогабаритных корпусов режущих инструментов, имеющих сложную форму. Время от разработки 3D-модели до изготовления готовой детали сократилось настолько, что не может сравниться с традиционными технологиями механообработки. Появилась возможность производства заготовок, требующих минимального объема постобработки.

Захар Дементьев и Анастасия Комарова, студенты пятого курса Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Баумана), выступили с совместным докладом об особенностях изготовления крупногабаритных заготовок методом прямого лазерного выращивания (ПЛВ).

Достоинствами прямого лазерного выращивания являются:

- Высокая производительность.
 - Возможность получать изделия с градиентными свойствами за счет динамической регулировки расхода порошков из различных питателей.
 - Габариты выращиваемой детали ограничены только возможностями системы перемещения.
 - Отсутствуют поддерживающие структуры.
- Вместе с тем у технологии имеются свои недостатки:
- Низкая точность выращиваемых изделий.
 - Зависимость свойств материала от параметров процесса обработки и геометрических особенностей каждой выращиваемой детали.

- Высокая сложность и стоимость оборудования.

Основными типами заготовок, получаемых методом ПЛВ, являются:

- Крупногабаритные полые тонкостенные корпусные детали цилиндрической и конической формы.
- Крупногабаритные силовые детали сложной формы.
- Корпусные детали с фасонными поверхностями газовых и жидкостных трактов.
- Корпусные детали коробчатого типа.

Мощность лазерного излучения является основным изменяемым параметром, влияющим на тепловложение в материал. Одной из важнейших задач инженера-технолога является нахождение стабильного режима выращивания. После завершения процесса наплавки

заготовка требует механической обработки. Необходимо учитывать требуемый контур детали, точность наплавки, шероховатость, технологические деформации.

Вадим Хапутдинов, студент Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, проинформировал об исследованиях влияния режимов сканирования контуров на качество поверхности изделий, полученных методом селективного лазерного спекания (СЛС).

Одной из наиболее актуальных проблем технологии СЛС является высокая шероховатость изделий, получаемая поверхность является очень грубой для деталей воздушного тракта или каналов, обеспечивающих какие-то расходные характеристики. Снижение шероховатости изделий, полученных методом СЛС, позволяет снизить влияние на эксплуатационные свойства изделий, уменьшить стоимость за счет сокращения затрат на постобработку, а для внутренних каналов — сохранить расходные характеристики.

Иван Максимов, студент Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, сделал сообщение об оптимизации двигателя внутреннего сгорания. В ходе работы была предложена гипотеза о том, что производство блока цилиндра изделия методами аддитивных технологий повысит эксплуатационные характеристики. Сокращение массы приведет к повышению эффективности двигателя. Снижение температуры повысит производительность и долговечность. Оптимизация ребер может значительно сказаться на теплопроводности. Возможность получения сетчатых структур является одним из преимуществ аддитивного производства, однако выбор типа решетки в соответствии с процессом выращивания достаточно трудоемкий. Материалы, используемые для построения летательных аппаратов, должны иметь наименьшую плотность. Детали двигателей внутреннего сгорания должны хорошо отводить тепло. Доступность исходного сырья на рынке является критически важным параметром. Наилучшим сырьем станут порошки литейных алюминиевых сплавов, легированные кремнием. Силумины обладают малой усадкой при кристаллизации расплава, что благоприятно влияет на выращивание методом СЛП.

Молодые специалисты продемонстрировали высокий уровень компетенций, практически в каждом выступлении присутствовали инновационные предложения. Проведение студенческого форума показало ответственный подход ведущих вузов страны к подготовке нового кадрового корпуса для новейших передовых технологий. Завершилась конференция награждением авторов самых интересных докладов.

Планируется, что подобные мероприятия станут регулярными, а исследования молодых специалистов будут приносить все больше и больше пользы отечественной промышленности и экономике.

Владимир Сорокин

От спутника в консервной банке к космическим орбитам: ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СПУТНИКОСТРОЕНИИ И РАКЕТОСТРОЕНИИ

Дмитрий Иванов, генеральный директор «Дома занимательной науки и техники»
dmitri.g.ivanov@gmail.com

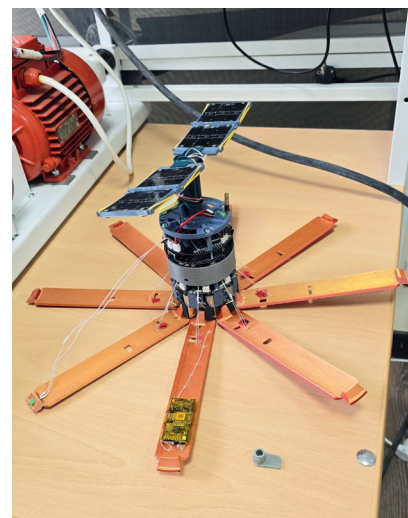
Воздушно-инженерная школа — молодежный образовательный инженерно-космический проект, реализуемый при поддержке государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и компании «Иннопрактика». В основу проекта заложены принципы международных соревнований формата CanSat (Can — консервная банка, Satellite — спутник), в котором ставится задача создания и летных испытаний радиоэлектронного зонда с датчиками, который должен поместиться в заданный контейнер с ограничениями, который запускается в полет на ракете на высоту до двух километров и после отстрела от носителя должен передать телеметрию с датчиков в соответствии с программой летного научно-технического эксперимента (<https://roscansat.com/history/>).

Проект нацелен на совершенствование траектории непрерывного технического образования и воспитание новых поколений мотивированных инженеров, программистов и конструкторов для ракетно-космической отрасли. За время реализации проекта с 2011 года через него прошло более 8000 участников, представляющих около

1200 команд из многих регионов России и ближнего зарубежья. Многие участники проекта выбрали технические вузы для обучения и сейчас активно работают в космических компаниях России, считают траектории полета к Марсу и Венере, продолжают запускать спутники систем CubeSat уже в космос на орбиту.

Чемпионат Воздушно-инженерной школы — главное мероприятие проекта, проводимое ежегодно, имеющее свои вводные, отборочные, региональные и всероссийские этапы. Участники чемпионата получают уникальную возможность разработать, а затем испытать в полевых условиях собственные модели спутников, ракет и беспилотных летательных аппаратов.

В течение всего учебного года команды проходят дистанционную учебную программу, готовят и защищают свои проекты перед экспертной комиссией, состоящей из специалистов предприятий госкорпорации «Роскосмос» и представителей ведущих технических вузов страны (в частности, «Созвездия Роскосмоса»), создают свои изделия и соревнуются за шанс испытать провести летные испытания на специально оборудованном полигоне во Владимирской области.



Только за 2024 год образовательные программы интенсивного обучения ВИШ прошли в городах: Южно-Сахалинск, Анапа, Калининград, Черняховск, Тюмень, Симферополь, Луганск, Алчевск, Мариуполь, Ярославль и в городе Алма-Ата Республики Казахстан.

На участие в 14-м российском чемпионате Воздушно-инженерной школы поступили заявки от 265 школьных и студенческих команд из России, Белоруссии, Казахстана и Узбекистана, но до финала допущены только 75 лучших проектов.

Финал чемпионата состоялся в период с 5 по 11 июля в городе Владимир, на базе Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, а также на аэродроме «Каменово» во Владимирской области. В ходе чемпионата прошли старты ракет с высотой полета от 200 метров до 2 километров.

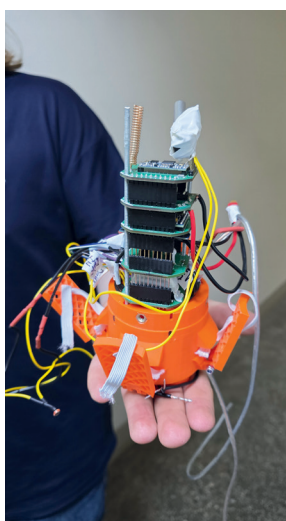
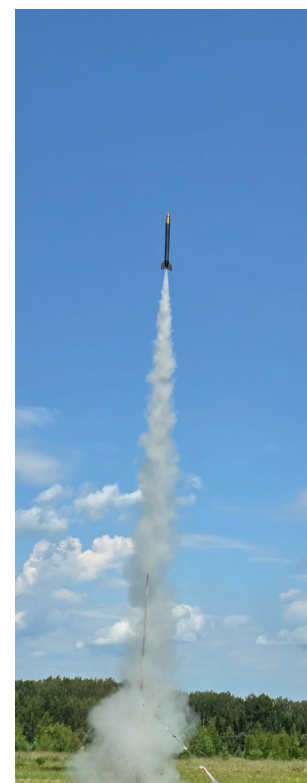
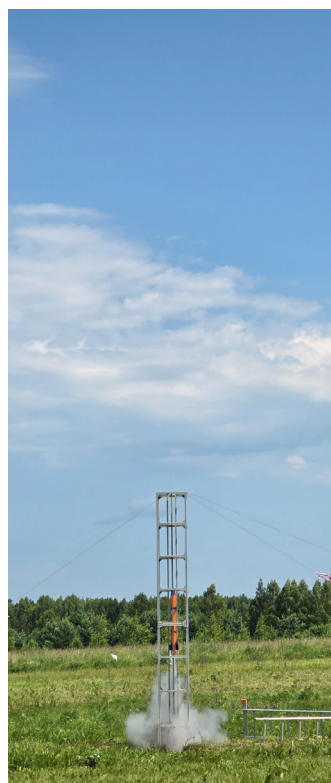
Участники ракетных соревнований все более активно используют аддитивные технологии для производства деталей конструкции ракет-носителей разных классов, полезной нагрузки и систем передачи и приема телеметрии с зондов во время полета.

На представленных фотографиях показаны примеры использования FDM-печати из различных пластиков для производства обтекателей, силовых кронштейнов для крепления стабилизаторов, изготовления аэродинамических рулей, механизмов раскрытия и самих решетчатых стабилизаторов. В некоторых случаях сама ракета полностью печатается на 3D-принтере либо на принтере делается оснастка для изготовления корпуса или деталей ракеты-носителя.

Кроме того, печать активно используется при изготовлении силовых элементов зондов, к которым крепится электроника, поворотные механизмы солнечных батарей и другие элементы конструкции.

Остронаправленные антенны, на которые идет прием телеметрии с датчиков во время полета ракеты и спуска зонда после отделения, также используют элементы, напечатанные на 3D-принтере.

Планируется еще большее использование печати для производства экспериментальных ракет и спутников-зондов, внедрение SLA- и SLM-печати.





3DMIX: актуальные цели и задачи

3–5 июня 2025 года в Национальном исследовательском московском государственном строительном университете (НИУ МГСУ) проходила вторая Международная конференция по аддитивному строительному производству 3DMIX-2025 и первая выставка передовых технологий аддитивного строительного производства 3DMosPrint (рис. 1). Организованная НИУ МГСУ и агентством «Квинтет» конференция привлекла внимание не только экспертов отрасли строительной 3D-печати, специалистов вузов и инвесторов, но и представителей государственных структур, в т.ч. от Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, Департамента станкостроения и тяжелого машиностроения Минпромторга России. Поддержка мероприятия осуществлялась рядом профессиональных союзов – Российским союзом строителей (РСС), Ассоциацией профессионалов аддитивного строительства (АПАС), Российской гипсовой ассоциацией и Союзом производителей сухих строительных смесей. Также в ней приняли участие представители Ассоциации развития аддитивных технологий (АРАТ), Ассоциации производителей строительных принтеров (АПСП), Ассоциации участников рынка малоэтажного и индивидуального жилищного строительства (Ассоциации МЖС). Всего было зарегистрировано 112 специалистов от 58 организаций. Это показывает высокую актуальность обсуждаемых тем, заинтересованность в развитии данного перспективного направления и стремление к консолидации усилий разного рода специалистов для эффективного решения вопросов обеспечения ускоренного развития.

Спонсором конференции выступил производитель энергоэффективных теплоизоляционных материалов «Мосстрой-31», а спонсором выставки — строительная

компания, разработчик и производитель строительных 3D-принтеров Smart Build. В открытии выставки приняли участие ректор НИУ МГСУ Павел Акимов и заместитель министра строительства и ЖКХ РФ Сергей Музыченко. Модерировал конференцию Алексей Адамцевич, директор НИИ СМиТ НИУ МГСУ.

Строительство аддитивно по природе

Как отметил в своем докладе **Андрей Пустовгар**, научный руководитель НИИ СМиТ НИУ МГСУ, председатель комитета по науке и инновационному развитию строительной отрасли РСС, аддитивному строительству порядка 40 тысяч лет, поскольку строительство аддитивно по своей природе. Поэтому текущие исследования направлены на модернизацию технологии и формирование нового взгляда на ее развитие. И задача участников конференции и специалистов отрасли в целом — открывать перспективные направления.

По мнению всех выступавших, 3D-печать имеет массу преимуществ для строительной отрасли: позволяет строить быстрее, дешевле, с меньшим количеством отходов в самых сложных условиях, обеспечивает свободу дизайна (создание изогнутых элементов любой конфигурации, индивидуальный эргономичный дизайн, создание внутренней структуры в объеме конструкций, переход в перспективе к рациональным бионическим формам архитектурных объектов), стирает границы между строительством и искусством, сокращает трудоемкость, сроки возведения зданий и сооружений, сокращает численность рабочих на площадке. Из технологических преимуществ: огромный потенциал в автоматизации строительства, работа на одном и том же оборудовании с широкой



Рис. 1. Торжественное открытие выставки технологий аддитивного строительства 3DMosPrint и подписание соглашений о сотрудничестве

гаммой материалов непосредственно на стройплощадке, отказ от опалубки (сокращение затрат, энергии, труда, сроков строительства).

В строительной печати (3DCP) наблюдается много трендов. Главным для нашей страны Андрей Пустовгар считает дистанционное строительство, причем при использовании местных материалов. Согласно исследованиям, проведенным в НИУ МГСУ, страна готова к внедрению аддитивных технологий в строительство: есть порядка 280 производителей сухих строительных смесей и появляются новые; есть производственные мощности и производители строительных принтеров, причем соотношение цена – качество принтеров одно из наиболее высоких в мире; потенциал рынка также огромный. Развивается печать отдельных элементов здания, несъемной опалубки и несущих ограждающих конструкций целиком. Вместе с США и Китаем Россия входит в тройку лидеров по цитированию тематических публикаций, хотя по сравнению с ними публикационная активность в нашей стране не такая большая. В 2024 году произошло знаковое событие — первый строительный проект, выполненный на 3D-принтере, прошел государственную экспертизу. Переход на новый уровень кроме прочего позволит современным технологиям создать положительный образ строителя для молодых людей, которые с удовольствием придут в отрасль по призванию.

Рынок строительной 3D-печати

Строительная 3D-печать становится все более заметным направлением в современной индустрии, однако ее реальный потенциал и ограничения требуют тщательного анализа. На конференции, посвященной инновациям в строительстве, управляющий партнер компании **Aspira Максим Неретин** представил обзор мирового рынка аддитивных технологий, основанный на данных исследований ведущих аналитических агентств, включая Grand View Research, McKinsey, Deloitte и другие. При этом он отметил, что некоторые опубликованные показатели могут быть завышены, и призвал профессиональное сообщество к совместной выработке более точных оценок.

Согласно представленным данным, объем мирового рынка строительной 3D-печати в 2024 году составляет \$9,34 млрд с годовым ростом 20–30% в зависимости от

региона. Ожидается, что к 2033 году этот показатель достигнет \$93,67 млрд при среднегодовом увеличении на 54,2%. Однако, несмотря на высокие темпы развития, доля технологии в общем объеме строительных работ пока крайне мала — менее 0,1%. Прогнозы предполагают, что к 2040 году она может вырасти до 5–15% в отдельных сегментах, таких как малоэтажное жилье и инфраструктурные проекты.

Кадровый потенциал отрасли сегодня оценивается в 10–20 тыс. специалистов, включая инженеров, операторов и проектировщиков. Однако к 2030 году благодаря автоматизации и расширению сферы применения число занятых в этом направлении может увеличиться до 1 млн человек. Что касается количества реализованных объектов, то при сохранении текущих темпов внедрения к 2030 году их будет около 20–40 тыс., тогда как в оптимистичном сценарии — до 50–100 тыс. с учетом жилых, коммерческих и инфраструктурных проектов.

Среди ключевых тенденций строительной отрасли на 2025 год лидируют искусственный интеллект и автоматизация (36%), устойчивое строительство (18%) и специализированное программное обеспечение (17%). На долю 3D-печати приходится лишь 3%, что подчеркивает ее пока еще нишевой статус. Тем не менее технология обладает значительным экологическим потенциалом: за счет оптимизации конструкции печатаемых элементов и отказа от опалубки удается сократить количество отходов на 25–40%, а использование инновационных материалов, таких как «зеленый» бетон с добавлением стеклобоя или золы-уноса, позволяет снизить углеродный след на 20–25%.

Экономические преимущества 3D-печати включают сокращение трудозатрат на 50–70% и ускорение строительства в 20 раз по сравнению с традиционными методами. Например, дом площадью 100 кв. м можно возвести за 2–3 дня вместо 2–3 месяцев. Дополнительная экономия достигается за счет отказа от опалубки (15–20% экономии), снижения потерь материалов (25–30%) и уменьшения транспортных расходов благодаря локализованному производству.

Однако у технологии есть и серьезные ограничения. К ним относятся высокая стоимость оборудования (от \$500 тыс. до \$2 млн) и специализированных строительных смесей, которые на 30–50% дороже обычного бетона.



Рис. 2. Проект коттеджа, разработанный компанией Aspira

Таблица 1. Сравнительный анализ строительных материалов (экологический и экономический аспект)

	Цемент	Керамические строительные блоки
Выбросы CO ₂	~0,6–1 тонна CO ₂ на 1 тонну цемента	~0,2–0,5 тонны CO ₂ на 1 тонну продукции
Энергозатраты	Огромные ввиду необходимости высоких температур (до 1450 °C)	Меньше по сравнению с цементом (требуется температура от 900 до 1100 °C)
Добыча сырья	Значительные разрушения ландшафтов + невозможность восстановления карьеров	Менее агрессивные методы добычи в сравнении с цементом
Другие загрязнители	Пыль; NO _x (оксид & диоксид азота); SO ₂ (диоксид серы); тяжелые металлы	Фториды и сернистые соединения (в меньших количествах, чем при производстве цемента)
Стоимость единицы продукции	~5 000–8 000 руб./тонна (в среднем около 6 000 руб.)	~50–150 руб./шт. (в зависимости от производителя, плотности, размера)
Примерная стоимость 1 м³	• 1 800 руб. – только цемент (без песка, щебня и воды) • ~3 500–6 000 руб. – готовый раствор	35 шт. × 100 руб. = 3 500 руб. (только блоки, без раствора)
Сравнение для кладки 1 м³ стены	• 1 800–3 500 (только вяжущее) • 3 500–6 000 (готовый бетон)	• 3 000–5 000 (только блоки) • 4 500–7 000 (с кладочным раствором)

Нормативные барьеры также остаются значительным препятствием: лишь 15 стран имеют четкие стандарты для сертификации 3D-печатных зданий. Кроме того, технология пока плохо адаптирована к экстремальным погодным условиям, а ее применение в высотном строительстве возможно только в сборном варианте.

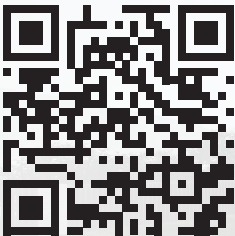
В качестве примера практического применения был рассмотрен проект коттеджа площадью 310,4 кв. м, где стоимость 3D-печати стен составила 1,6 млн руб. (2,4% от общего бюджета), в то время как возведение аналогичных стен из керамических блоков обошлось бы в 1,9 млн руб. (рис. 2) При этом анализ жизненного цикла материалов показал, что производство цемента, несмотря на его низкую стоимость, сопряжено с высокими энергозатратами и значительными выбросами CO₂, тогда как керамические блоки, будучи готовым стеновым материалом, не требуют дополнительного армирования (таблица 1).

Таким образом, строительная 3D-печать демонстрирует значительный потенциал в повышении эффективности и экологичности строительства, но ее широкое внедрение пока сдерживается технологическими, экономическими и нормативными факторами. Дальнейшее развитие отрасли потребует как совершенствования самих технологий, так и формирования единых международных стандартов.

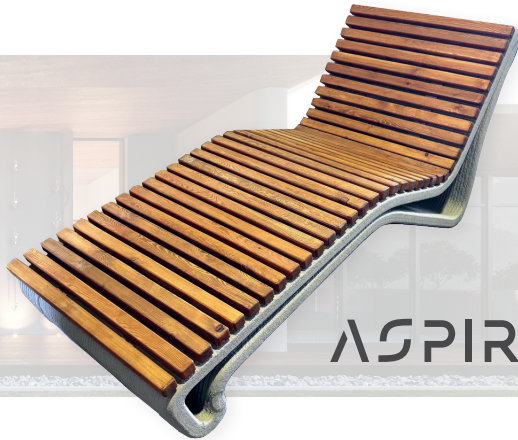
Ольга Оспенникова, исполнительный директор Ассоциации развития аддитивных технологий представила информацию по российскому рынку строительной 3D-печати (рис. 3):

- По итогам 2024 года объем продаж компаний, занимающихся производством оборудования для строительной 3D-печати, а также выполняющих строительные работы, превысил 660 млн руб.
- Объем выпуска материалов для строительной 3D-печати оценивается до 4 тысяч тонн, что в денежном выражении составляет до 80 млн руб.
- Среди производителей оборудования выделяют компании: AMT, Arkon, RVS3D, Smart Build Service, «Лерто».
- По объему строительства в денежном выражении выделяется компания «3D Строй».
- Рынок характеризуется увеличивающимся интересом к строительной 3D-печати, наблюдается рост количества строительных проектов в России.
- В качестве объектов на рынке есть как типовые, так и индивидуальные архитектурные решения.

Что касается материалов, то на рис. 4 представлены НИИ НИУ МГСУ по ведущим российским производителям в области 3D-строительства. Также университетом на основе анализа объемов производства и потребления материалов был оценен потенциал рынка: средние



3D-печать домов и элементов благоустройства из бетона



ASPIRA

Реклама

Оборудование и строительные услуги

Выручка в 2024 году, млн руб.

Источники: оценки АРАТ

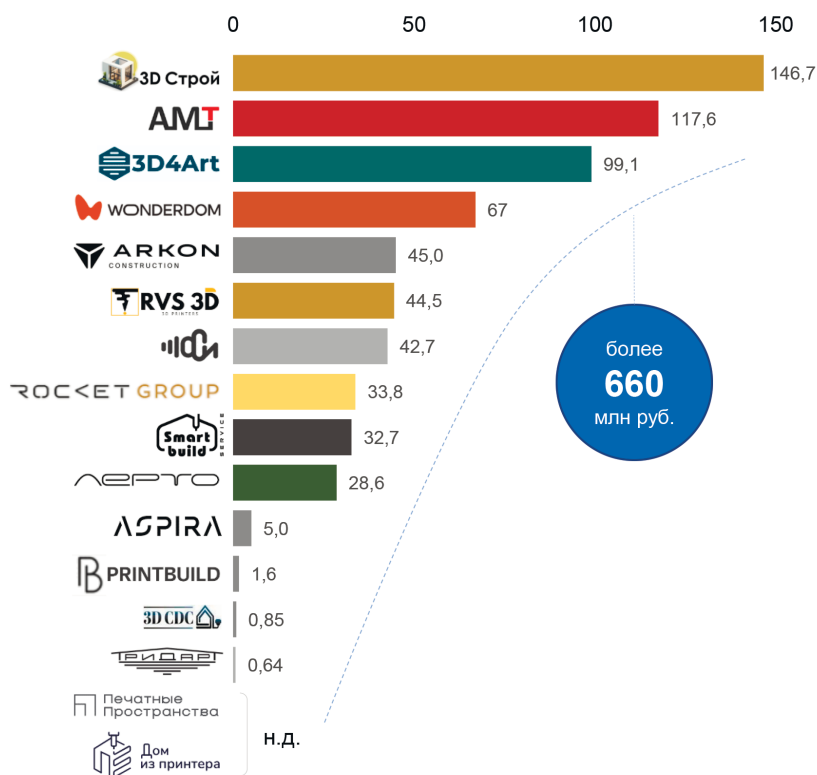


Рис. 3. Игроки на рынке 3D-печати: оборудование и строительные услуги. Оценка АРАТ

текущие темпы роста объемов производства материалов для 3DCP — 90% г/г; расход материала для создания 1 м² конечного объекта ~ 0,4 т/м²; объем ввода жилья к 2030 г. — 120 млн м²/год; объем ввода жилья

до 2026 года — 1,38 млрд м² (М.Ш. Хуснуллин). То есть в случае сохранения текущих темпов роста к 2036 году объем вводимого 3D-напечатанного жилья может составить уже ~10%.

«Заглядывая за горизонт», Андрей Пустовгар предлагает не относиться к аддитивной технологии как к игрушке или эксперименту, а видеть ее глобальное место в строительстве. Ведь именно 3D-печать позволяет сделать внедрение информационного моделирования в строительстве реально эффективным, согласно принятым программам поддержки, в Китае к 2030 году 30% построек должны будут выполняться по аддитивным технологиям, в Эмирате Дубай — 25%. Аналогичная программа принята в США. России также надо стремиться к такому показателю.

Барьеры развития отрасли

Но есть и целый ряд барьеров, которые не позволяют полностью раскрыть потенциал данной многообещающей технологии.

Так **Роман Павленко**, основатель и генеральный директор компании «3Д Арт» (проект 3D4Art), обозначил проблемы и перспективы развития полевой строительной 3D-печати в России. К области рисков он отнес: климат, оборудование, материалы

3D-печати, заполнители стен, технологию, персонал, документацию, нормы и правила, конструктивные решения, программное обеспечение, смежные работы. Соответственно, все позиции, кроме климата, были названы как перспективные направления для развития.

Материалы

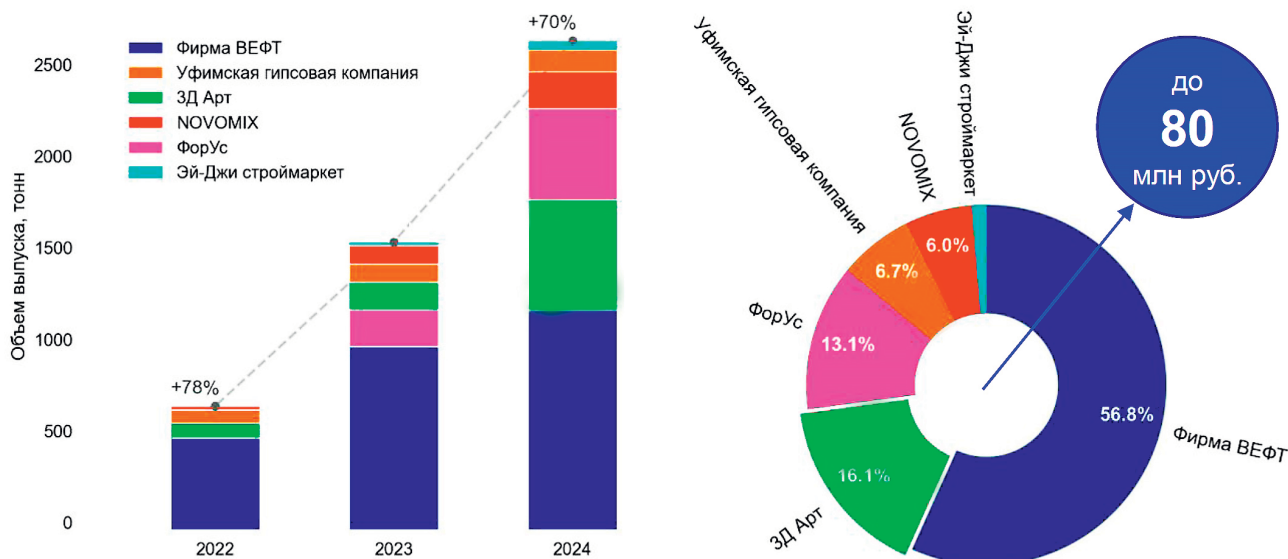


Рис. 4. Основные игроки на рынке 3D-печати: материалы. Оценка НИИ НИУ МГСУ

Большой интерес у участников конференции вызвал круглый стол, организованный крупнейшей нефтегазо-химической компанией России «СИБУР», поставляющей полимерные материалы для строительной отрасли. Здесь обсуждались проблемы на рынке строительной 3D-печати, была сделана попытка обозначить и проранжировать вызовы, стоящие перед аддитивной строительной отраслью, рассмотрена ситуация на рынке материалов, выделены пробелы в сфере технического регулирования. Присутствующие специалисты приняли активное участие в диалоге и обозначили как необходимость:

- Разработку стандартов и правил производства сооружений. Определение набора нормативных документов на строение для прохождения экспертизы.

- Определение базовых составов бетонов для 3D-печати.

- Сертификацию материалов для 3D-печати с четко прописанными требованиями к ним и к методам их контроля. При этом на рынке могут предлагаться строительные смеси с разными составами под разные задачи. Развитие материалов может осуществляться с целью увеличения стойкости, прочности, повышения качества, экологичности, экономичности и так далее. Также необходимо уделить внимание материалам-утеплителям, материалам для защитных покрытий бетона.

- Поскольку 3D-печать все больше входит в специальное строительство, то перспективно исследование стойкости и долговечности бетонов в особых условиях эксплуатации. Более того, данная тематика должна быть распределена между разными коллективами, чтобы оценить воспроизводимость и статистическую достоверность результатов.

- Совершенствование технологии 3D-печати как полевой, так и цеховой.

- Создание технологии, которая позволяет производить армирование непосредственно печатного слоя, как вертикального, так и горизонтального.

- Развитие логистики.

- Создание спроса в России на 3D-печать, в т.ч. с получением разрешений на многоэтажное строительство, что увеличит потребление материалов.

- Учет возможностей аддитивных технологий в конкурсных и закупочных процедурах.

- Демонстрация пилотов и интересных решений. Их широкая реклама.

- Создание образовательных профстандартов в области аддитивного производства, что будет способствовать решению кадрового вопроса.

Были отмечены: недостаточная поддержка государства; важная роль профильных ассоциаций в продвижении пилотных проектов, лучших практик и решений; необходимость создания рабочей группы экспертов для обсуждения актуальных вопросов.

Надо сказать, что большая работа по стандартизации в области аддитивных технологий в строительстве уже проводится. Как отметил **Андрей Копытин**, директор ФАУ «ФЦС» (Федеральный центр нормирования и стандартизации), в рамках работы ТК 182 «Аддитивные технологии» регламентируются требования в части материалов и оборудования для АТ; в ТК 465 «Строительство» регулируются требования к проектированию конструкций, изготавливаемых аддитивными методами.

В 2020 году были приняты ГОСТы на материалы для аддитивного строительного производства в части терминов и определений, методов испытаний, технических требований. В 2023 году были внесены изменения в СП 70.13330.2012 (СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции») с учетом применения АТ, а именно в направлениях:

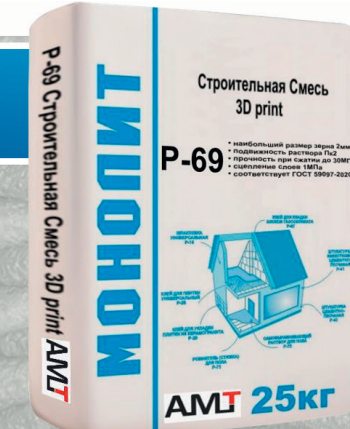
- Внедрение положений по приемке конструкций, выполненных с применением технологий аддитивного строительного производства.

- Требования к качеству поверхности и внешнему виду монолитных бетонных и железобетонных конструкций.

- Расширение применения конструкций, выполненных методом аддитивного производства.

НИОКР и НИР проводятся НИУ МГСУ, КГАСУ, компанией «СтройДизайн», Санкт-Петербургским университетом Петра Великого и др.

Многие вопросы берут на себя профильные ассоциации. Так, Ассоциация профессионалов аддитивного строительства (АПАС) взаимодействует с производителями сухих строительных смесей для снижения логистических нагрузок за счет регионального производства смеси на местном сырье, способствует разработкам облегченных составов и составов со специальными смесями. Уделяется внимание созданию проектно-конструкторских решений, например, узлов несущих элементов с повышенной сейсмостойкостью, интеграции системы теплоизоляции



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

СТРОИТЕЛЬНАЯ СМЕСЬ 3D print "МОНОЛИТ"

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

Серийное производство с 2021 года.

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



ции стен с воздушными каналами, облегчению плиты перекрытия с заданным контуром, производству гибридных конструкций, сочетающих традиционные и аддитивные технологии. Поддержка производителей оборудования осуществляется по направлениям: оптимизация технических характеристик оборудования, подбор и адаптация материалов для различных типов принтеров, содействие в сертификации и стандартизации материалов, коммерциализация, организация демонстрационных проектов для потенциальных заказчиков и др. Образовательные и маркетинговые инициативы включают: разработку и апробацию учебных программ, создание учебно-демонстрационных центров, организацию стажировок, конгрессно-выставочную деятельность, проведение мотивационных мероприятий для молодежи. Особое внимание уделяется созданию социально значимых объектов, например, восстановлению сооружений в Курской области и других приграничных областях, разработке типовых проектов доступного жилья для быстрого возведения в районах ЧС, созданию модульных медицинских и других учреждений быстрого развертывания и др.

Ассоциация участников рынка малоэтажного и индивидуального жилищного строительства (Ассоциация МЖС) рассматривает возможность рекомендовать всем регионам использование технологии 3D-печати в рамках комплексного развития территорий. На базе Ассоциации МЖС работают более 20 комитетов — от регионального развития, юридического и финансового направлений до инновационных строительных материалов, а также поддержки цифрового маркетинга.

Исполнительный директор Российского союза строителей Константин Буравлев подчеркнул, что в РСС всегда относятся внимательно к перспективным направ-

лениям развития, и 3D-печать, безусловно, одно из них, а также поддерживают тех, кто проводит системную и последовательную работу по развитию технологии и обеспечивает конкурентоспособность российской инженерной мысли.

Строительная 3D-печать: русский опыт и достижения

Российские компании в области строительной 3D-печати предлагают множество архитектурных решений, которые не просто представляют интерес, но становятся значимым примером и ориентиром для новых компаний.

«Мелля» — там, где будущее уже наступило», — назвал свой доклад **Алексей Деревянкин**, руководитель портфеля проектов социального строительства УРПС, ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина. Компания выступила инвестором строительства центра «Мелля» (рис. 5) — самого большого по площади напечатанного здания в мире. Застройщиком стала известная российская компания «ЗД Арт». В Книге рекордов России здание отмечено как самое высокое, напечатанное на строительном 3D-принтере. Высота здания — 10,1 м, общий объем 3D-печатных стен — 1069 м³, для строительства использованы 440 тонн специализированной 3D-печатной смеси, более 6 км арматуры и более 4200 м² композитной сетки. Это первый в России крупный объект, при возведении которого использовалась 3D-печать, прошедшая официальную экспертизу. Пространство центра, оборудованное по последнему слову техники, предлагает сельским жителям современные условия для работы и отдыха. В центре расположены: многофункциональный зал с мультимедийным оборудованием, библиотека,



Рис. 5. Центр «Мелля» в Татарстане (застройщик «ЗД Арт»)



Рис. 6. Проект компании SmartBuild



Рис. 7. Модульные дома компании Rocket Group

почтовое отделение, фельдшерско-акушерский пункт, спортзал, пожарное депо.

Михаил Шиленков, генеральный директор ООО «СмартБилдСервис», привел примеры сооружений, выполненных компанией для самых различных целей: жилые дома, туристические объекты, малые архитектурные формы, сельскохозяйственные постройки и др. Это и цех компании для строительной 3D-печати, где оттачивались навыки эффективной и быстрой работы на 3D-принтере, и центр обучения для профессиональной подготовки специалистов (рис. 15, в проекте были заложены неординарные решения для остекления — 6-метровое овальное окно и отсутствие углов на всех примененных в проекте окнах), и дом «Облако» (здание 180 м² было напечатано за 165 часов, потребовалось 99 тонн смеси, 102 м³ пенобетона). На рис. 6 показан проект здания 1,75 (91 м², 48 тонн смеси, 56 м³ пенобетона, 82 часа печати). По утверждению докладчика, скорость печати уже такова, что три человека печатают 100 квадратных метров приблизительно за 75 часов.

Огромное количество жилья сейчас требуется на новых территориях. Если строиться не ввысь, а в горизонт (страна у нас большая, места хватит), то стоимость печати такого жилья, по утверждению докладчика, может составлять от 50 до 75 тысяч рублей за м² в зависимости от региона.

Вообще вопрос стоимости напечатанных сооружений периодически возникал на конференции и не нашел единого значения, выявив совершенно различные калькуляции и опыт строительства в различных регионах.

Компания ООО «Рокет Групп» в своей работе использует разные технологии. Во-первых, она изготавливает

модульные дома (печатная площадь готовых изделий до 40 кв. м, рис. 7), которые укомплектованы и готовы для проживания. Доставка и установка дома осуществляется в течение одного дня, не требует разрешения и фундамента. Во-вторых, на базе PreFab технологии освоено блочно-модульное строительство зданий и сооружений. По данным **Артема Бальчугова**, генерального директора компании, срок производства здания 36 кв. м составляет три дня, технология сокращает материалоемкость производства в четыре раза, срок службы здания — более 100 лет, стоимость строительства — от 50 000 руб. за кв. м. Среди проектов компании индивидуальные жилые дома, коммерческие объекты, загородные отели, малые архитектурные формы.

Дмитрий Черепков, основатель экопарка Ясно Поле и проекта WonderDom, рассказал о творческом поиске и многочисленных экспериментах, которые выливаются во все новые сооружения на территории парка на удивление и к радости его отдыхающих (рис. 8). Так, в 2023 году был объявлен конкурс, на который были представлены 65 проектов, из которых для исполнения выбраны 20. Стратегия застройщика на сегодня — это отработка конструктивных узлов. При реализации уникальных проектов ставится цель на своем опыте понять, как в будущем можно будет решать какие-то задачи проектированной и печати.

Михаил Данилов, начальник отдела аддитивных технологий ООО «Фирма АВТОР», рассказал о специализации компании на создании уникальных объектов (рис. 9), включая здания и строения, малые архитектурные формы. 3D-печать позволяет создавать не просто объекты, а часть городской среды.



Рис. 8. Проект «Луковица», арх. Вандердом, на территории отеля Ясно Поле — в работе



Рис. 9. Проекты архитектурного бюро «АВТОР»

Зарубежный опыт

Большим вниманием пользовалось онлайн-выступление **Андрея Руденко**, основателя американской компании Total Kustom. Напечатанная в 2014 году в Америке беседка в виде средневекового замка (рис. 10) и реализованный с помощью 3D-печати в 2015 году проект строительства первого в мире отеля на Филиппинах стали визитными карточками компании и одними из первых примеров, показавших возможности новой технологии для строительной отрасли.

По мнению Андрея Руденко, десять лет развития — это достаточный срок, чтобы утверждать, что индустрия строительных 3D-принтеров состоялась, и тому подтверждение — достаточно большое количество зданий, построенных с помощью 3D-печати по всему миру. И сейчас стоит вопрос не столько о том, как можно ускорить ее развитие, а почему 3D-печать не заняла 25 или 50% мирового рынка строительства.

Итак, почему? Во-первых, это сложная технология, можно сказать, завод под открытым небом. Приходится решать тысячи вопросов, связанных с электричеством, водой, коммуникацией, инженерией, архитектурой и так далее, то есть необходимо работать за архитектора, технолога — за всех вместе взятых в любых экстремальных погодных условиях.

Второй вопрос, который часто задают, это долговечность здания. Пример той самой первой беседки, установленной в штате Миннесота, где морозы бывают до -35°C , напечатанной из самого простого раствора (цемент, песок, известь и шампунь), без покрытия крышей, без обработки гидрофобными добавками подтверждает надежность конструкции. Она и сейчас выглядит как одиннадцать лет назад.

Важный момент — дефекты. Если печатаешь небольшой объект, то можно обеспечить ровные качественные слои, непрерывную печать. Когда же объект большой и необходима высокая скорость печати в течение продолжительного времени в непредсказуемых погодных

условиях, появляются вибрации и дефекты. Самый распространенный — граница после возобновления печати при останове. С этим приходится работать. Могут быть использованы разные средства и методы, чтобы скрыть дефекты, например, красители-пигменты, текстуры (рис. 11). Как особый пример Руденко привел постройку одного из домов в рекордно жаркое лето с сильными ветрами. Ветер выдувал влагу из слоев, в течение пары минут слой подсыхал, и появлялись трещины. Но благодаря этому случаю были предприняты определенные усилия для создания методики, позволившей полностью избавиться от трещин и улучшить 3D-принтер, который сейчас способен печатать в сложных погодных условиях до $40\text{--}50^{\circ}\text{C}$.

Если говорить об организации процесса, то в своей практике Андрей Руденко в основном использует пенобетон и полистиролбетон, считает, что оптимальное количество людей в бригаде — четверо (удобно и для разгрузки, и для поездок за материалами без остановки процесса и т.д.). Он отказался от быстро разбираемого смешительного оборудования в пользу более дорогого, которое монтируется на трейлерах (рис. 12).

Важным Андрей Руденко считает выбор ниши для работы. Компания давно уже ушла от того, чтобы предлагать дешевые дома для всех. На американском рынке была выбрана ниша, связанная с безопасными домами, то есть домами, которые выдерживают разные погодные условия (торнадо, пожары, затопления). Кроме того, приятным дополнением для клиента является печать элементов внутри сооружения (например, джакузи). Однако для американского клиента вопрос цены за квадратный метр важен, и он часто делает выбор дешевого предложения. Это приходится постоянно учитывать.

По поводу дизайна зданий он отметил, что в разных уголках мира абсолютно разные требования. Например, в Азии лучший размер дома, который укладывается в бюджет, — это $50\text{--}60\text{ м}^2$. В Америке любят одноэтажные длинные здания. Типичный размер зданий для Америки — это порядка 240 м^2 . На Ближнем Востоке хотят



Рис. 10. Беседка, напечатанная Total Kustom в Калифорнии в 2014 г.



Рис. 11. Напечатанная текстура



Рис. 12. Оборудование для строительной 3D-печати, размещенное на трейлере

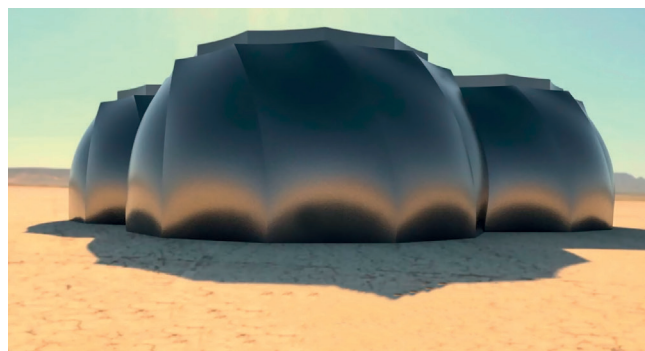


Рис. 13. Перспективное строение компании Total Kustom площадью 957,7 м²

получить дом 600–800 м². Если говорить про форму, изначально заказчиком озвучивались требования прямых углов в зданиях, а это связано с определенными трудностями, но впоследствии все стали спрашивать закругленные углы. Трудно сказать, что будет в дальнейшем.

Что касается выбора оборудования, компания использует все три вида 3D-печати: порталная (принтеры стабильные, устойчивые, хорошо подходящие для строительства одноэтажных зданий); ставшая популярной последнее время 3D-печать с помощью робота-руки (преимущества: быстрое разворачивание оборудования, подходит для многоэтажного строительства, но предполагает использование дорогих двухкомпонентных растворов и более сложна для планирования коммуникаций); цеховая печать (хорошо подходит для регионов, где жара, холод, трудный подъезд, например, горы). Сейчас в компании работают над большими роботизированными принтерами для печати двухэтажных, трехэтажных домов с площадью этажа 100–155 м² и 957 м² (рис. 13). Также продолжается исследование новых материалов: костробетона, гибрида с геополимерами (это нишевая продукция). Работают над софтом, поскольку идея использовать универсальный софт для всех случаев не оправдала ожиданий. Без особых достижений пробуют разные варианты печати с крышами.

Если говорить о перспективах развития, то Андрей Руденко считает, что по большому счету в прошедшие десять лет при росте количества построенных зданий и работающих в отрасли компаний изменения не коснулись самой печати (качества слоев и скорости построения), и то, к чему надо стремиться, это скорость, безопасность, комфорт.

Технологические задачи и исследования

Большую работу в сфере исследований и разработок на направлении 3DCP ведет НИИ СМиТ НИУ МГСУ. Так, с 2000-х гг. здесь проводятся НИОКР и разработка составов модифицированных сухих строительных смесей, в 2017 г. разработан материал для первого здания в России, в 2019 г. разработаны материалы на местном сырье для крупнейшего в мире здания, включенного книгу рекордов Гиннеса (ОАЭ), в 2020 г. выпущен первый стандарт в области аддитивного строительного производства, в 2022–2024 гг. осуществлялась разработка

моделей расчета напечатанных конструкций под нагрузкой, в 2024 г. проводилась сертификация материалов для 3DCP в России и готовилась отраслевая аналитика. К задачам текущего времени, которые привел в докладе **Андрей Пустовгар**, относятся: формирование библиотек материалов и узлов для проектировщиков; формирование расценок (пока это сложное ценообразование). Важной задачей является разработка новой системы качества. Результаты исследования бетонов для 3D-печати, проведенные в НИИ СМиТ, показали необходимость разработки адекватных методов контроля бетонных смесей и бетона для 3D-печати, учитывающих структурные особенности материалов. К направлениям исследования относятся: применение альтернативных вяжущих; снижение CO₂ при производстве цемента путем добавления минеральных добавок и др. К альтернативным материалам, демонстрирующим интересные свойства и требующим дополнительных исследований, относятся: цемент с известняком и кальцинированной глиной, аклюменатные цементы, магниевые цементы, гипсовые связующие, гидрат силиката магния и др. **Олег Кабанцев**, профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», директор научно-технических проектов НИУ МГСУ, рассмотрел в докладе концепцию инженерной методики расчета бетонных конструкций, выполненных по технологии 3D-печати методом послойной экструзии.

Серьезные наработки на конференции представили и другие вузы (рис. 14). Специалисты уделили внимание: оценке прочностных и деформационных характеристик используемых строительных смесей — профессор ФГБОУ ВО Уфимского государственного нефтяного технического университета **Игорь Недосеко**; методам и средствам управления пластичностью смесей — **Георгий Хренов**, доцент кафедры технологии строительных материалов и метрологии СПбГАСУ; рациональному выбору материалов и оценке свойств смеси для строительной 3D-печати, — **Наталья Копаница**, профессор Томского государственного архитектурно-строительного университета; возможностям электродного прогрева конструкций для регулирования процесса печати — **Рустем Мухаметрахимов**, руководитель лаборатории аддитивных технологий строительного производства, доцент КГАСУ.

Галина Славчева, главный научный сотрудник Высшей школы строительного материаловедения Воронеж-

ского государственного технического университета, выделила нерешенные прикладные проблемы, ограничивающие применимость аддитивных технологий в строительстве, направления дальнейших исследований для снятия данных ограничений:

— обоснование информирование требований к показателю (показателям) работоспособности смесей и методике (методикам) оценки: срокам начала и окончания схватывания смесей для АТ, времени сохранения их первоначальных технологических свойств;

— комплексные исследования для установления номенклатуры и значений параметрических рядов показателей качества слоистых 3D-печатных композитов с учетом ярко выраженной анизотропии их свойств;

— комплексные исследования влияния на прочность стен армирования их слоев в зависимости от направления укладки арматуры, процента армирования слоев и т.д.;

— комплексные исследования влияния на снижение потенциала прочности слоистого композита в конструкции совокупности технологических факторов — режимов печати, твердения, технологических характеристик смеси;

— расширенные экспериментальные исследования по оценке термического сопротивления в зависимости от вида и характеристик утеплителя, конфигурации 3D-печатных наружных стен.

Приятное заключение

На третий день конференции участники познакомились с объектами, выполненным с помощью строительной 3D-печати (рис. 15): фонтан в ЖК «Римский», строительная площадка 3D-коттеджа от компании «3Д Арт», учебный центр аддитивных технологий компании SmartBuild. Эти проекты уже далеко не проба пера — технология становится неотъемлемой частью строительства, открывая новые горизонты возможностей.

Конференция стала значимым событием для специалистов строительного сектора, подчеркнув необходимость дальнейшего изучения и активного внедрения аддитивных технологий в практику российского строительства.

Татьяна Карпова

Решения 3DMIX-2025

По итогам конференции (представлены на сайте МГСУ) были приняты следующие решения:

1. Сформировать рабочую группу для содействия эффективному и целенаправленному развитию рынка аддитивного строительного производства в России.

Было решено сформировать рабочую группу, в которую войдут представители участников рынка, профильных ведомств, научного сообщества и другие заинтересованные стороны. Ключевыми функциями рабочей группы должны стать: разработка стратегических инициатив по интеграции аддитивных технологий в строительную отрасль; согласование позиций для включения задач аддитивного строительства в государственные программы поддержки инноваций; координация взаимодействия между бизнесом, наукой и регуляторами для ускорения внедрения технологий; подготовка рекомендаций по совершенствованию нормативно-правовой базы и мерам стимулирования рынка.

2. Развивать совместными усилиями систему нормирования и стандартизации строительной 3D-печати.

Участники конференции подчеркнули необходимость совместной работы по формированию плана стандартизации в области аддитивного строительного производства. Для этих целей в рамках деятельности рабочей группы предполагается заняться:

- разработкой предложений в план национальной стандартизации в интересах развития применения аддитивного строительного производства в России;
- адаптацией международного опыта к российским условиям;
- взаимодействием с профильными техническими комитетами и регуляторами для внедрения новых норм.

3. Поддержать инициативу печати 1 000 000 м² жилья к 2030 году.

Участники конференции поддержали инициативу Министра России о применении новой технологии для решения приоритетных национальных задач формирования рынка доступного жилья и обеспечения комфортных условий проживания для граждан России и предложили проработать на уровне профильных ассоциаций и ведущих игроков рынка аддитивного строительного производства возможность реализации программы печати не менее 1 млн м² до 2030 года.



Рис. 14. Общее фото участников конференции второго дня



Рис. 15. Экскурсия по строительным объектам, выполненным с помощью 3D-печати: посещение фонтана в ЖК «Римский» (высота — 12 м, вес — 20 т, использованы 50 напечатанных блоков), площадка 3D-печати коттеджа компании «3Д Арт» в Наро-Фоминском районе, площадка учебного центра аддитивных технологий компании SmartBuild в Клиском районе. Фото Елены Данилюк

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: НОВОСТИ МЕДИЦИНЫ

Сегодня аддитивные технологии уверенно занимают лидирующие позиции в инновационном развитии медицинской отрасли, демонстрируя впечатляющие темпы роста. Согласно анализам консалтинговой компании The Business Research Company, объем рынка 3D-печати в здравоохранении стремительно вырос за последние годы [1]. Он вырастет **с 2,08 млрд долларов в 2024 году до 2,49 млрд долларов в 2025 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 19,7%**. Рост в исторический период можно объяснить достижениями в области медицинской визуализации, настройкой под уход за пациентами, одобрением и стандартами регулирующих органов, ростом хронических заболеваний, увеличением расходов на здравоохранение. В отчете компании учитываются: персонализированное медицинское оборудование, модели для хирургического планирования и обучения, протезирование и имплантаты, биоматериалы, персонализированная печать в области медицины и другие.

Ожидается, что объем рынка 3D-печати в здравоохранении будет стремительно расти и в ближайшие несколько лет. Он вырастет **до 5,06 млрд долларов в 2029 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 19,4%**. Рост в прогнозируемый период можно объяснить появлением биопечати, телемедицины и удаленной медицины, увеличением старения населения, государственными инициативами и финансированием, обучением и вовлеченностью пациентов. Основные тенденции в прогнозируемый период включают достижения в области биопечати, персонализированное производство имплантатов, интеграцию искусственного интеллекта (ИИ), разработку фармацевтических препаратов на 3D-принтере, применение в зубном протезировании и ортодонтии.

Рассмотрим некоторые новые интересные внедрения для медицины.

Самовосстанавливающийся сердечный клапан [2]

Американские ученые разработали инновационный сердечный клапан с возможностью естественной регенерации. Новое изобретение, созданное в Технологическом институте Джорджии, способно в корне изменить лечение клапанных заболеваний сердца.

Уникальная разработка представляет собой биоразлагаемый клапан из материала поли (додекандиоата глицерина), который вводится в организм с помощью катетера. После установки под воздействием температуры тела клапан принимает нужную форму и начинает стимулировать рост собственных тканей пациента. В течение нескольких месяцев первоначальная структура постепенно растворяется, оставляя после себя полностью регенерированный клапан.



Особенно важным преимуществом нового клапана является его способность адаптироваться к растущему организму, что делает его идеальным решением для детей с пороками клапанов сердца. В отличие от существующих аналогов, срок службы которых ограничен 10–15 годами, новая разработка может прослужить пациенту всю жизнь.

Новые возможности в лечении рака молочной железы [3]

В сфере лечения рака молочной железы происходит трансформация благодаря 3D-биопечати. Традиционные силиконовые имплантаты, несмотря на широкое распространение (84% всех операций), сталкиваются с серьезными проблемами: образованием рубцовой ткани вокруг имплантата, риском разрывов и протечек, а также более редкими, но серьезными осложнениями вроде анапластической крупноклеточной лимфомы.

На смену им приходят инновационные решения. Компании CollPlant и Stratasys разрабатывают регенеративные имплантаты, которые могут стимулировать рост естественных тканей и полностью рассасываться со временем. Эти имплантаты создаются с помощью биоинъектора и биотинового коллагена, что позволяет



избежать иммунной реакции организма. Параллельно компания ReConstruct, отделившаяся от Гарвардского университета, тестирует метод реконструкции груди с использованием биопечатной ткани из клеток пациента. Этот подход обещает стать более естественной и долговечной альтернативой традиционным имплантатам для женщин, перенесших рак груди.

Спасение новорожденного с помощью 3D-технологий [4]

В Федеральном центре сердечно-сосудистой хирургии Минздрава РФ в Красноярске врачи провели уникальную операцию с использованием 3D-печати.

Малыш поступил в кардиоцентр с врожденным пороком сердца через несколько дней после рождения. Врачи диагностировали коарктацию аорты и дефект межжелудочковой перегородки, препятствующий стандартному проведению операции. Чтобы спасти маленького пациента, врачи использовали 3D-печать для реконструкции его сердца.

На основе напечатанной 3D-модели врачи пришли к выводу, что кровь можно перенаправить из левого желудочка в легочную артерию. Было принято решение выполнить крайне редкую операцию по методу Ясуи. В ходе вмешательства хирурги создали искусственный путь для нормального тока крови — как у здорового человека.

История насчитывает не более двадцати подобных случаев в медицинской практике. Операция очень редкая и довольно сложная, но 3D-технологии позволили хирургам сохранить полноценную работу сердца и дать полноценную жизнь.

Уникальная операция во Вьетнаме [5]

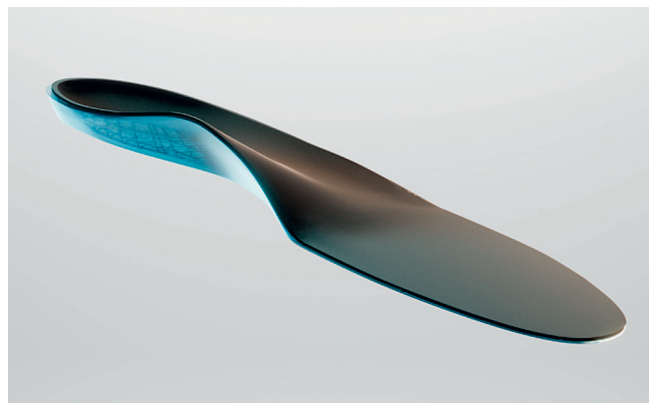
Во вьетнамской международной больнице Vinmec Times City проведена уникальная операция по реконструкции грудной клетки с использованием 3D-печати. Хирурги успешно удалили опухоль размером 11,5 см и заменили поврежденную часть грудной клетки титановым имплантатом, созданным на 3D-принтере. Это первое подобное вмешательство в Юго-Восточной Азии. Пациенткой стала 55-летняя женщина с большой опухолью, сдавливающей внутренние органы. Традиционные методы реконструкции с использованием тканей пациента оставляли большие шрамы и не обеспечивали достаточной защиты жизненно важных органов. Ранее применяемые искусственные материалы также были недостаточно прочными.

Новый имплантат, разработанный совместно с инженерами из VinUniversity, имеет особую конструкцию со встроенной сеткой для предотвращения грыж легких. Операция заняла менее трех часов, а восстановление пациентки прошло вдвое быстрее обычного. Уже через три недели женщина могла проходить более полутора километров без дискомфорта, а ее дыхательная функция полностью нормализовалась.

Это достижение позволило Вьетнаму войти в число передовых стран Азии, использующих 3D-печать для защиты сердечно-сосудистой системы.

Искусственный интеллект и 3D-печать в ортопедии [3]

Компания Nike Medical объединила искусственный интеллект и 3D-печать, внося существенный вклад в развитие ортопедических изделий. Ранее процесс изготовления индивидуальных стелек был сложным и дорогостоящим: требовались визиты к врачу и специальные направления. Теперь пациенты могут получить персонализированные стельки всего за 7–10 дней, не выходя из дома.

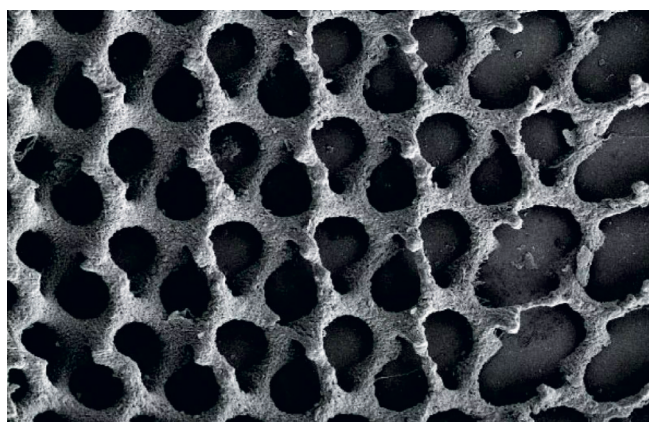


Инновационная платформа insoles.ai использует ИИ для анализа снимков стоп, сделанных на любое устройство с камерой. За считанные минуты создается точная 3D-модель стопы, на основе которой печатаются индивидуальные ортопедические стельки с учетом особенностей биомеханики каждого человека.

Компания уже получила одобрение регулирующих органов на производство диабетических вкладышей и активно сотрудничает с крупными организациями.

Инновационная технология 3D-печати костной ткани [2]

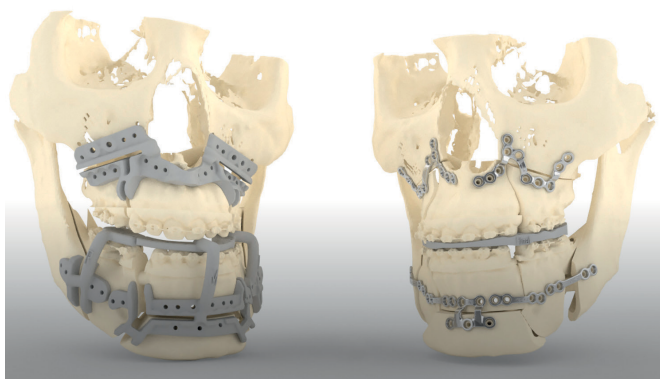
Австралийские ученые разработали технологию 3D-печати, способную воссоздавать структуру кости с беспрецедентной точностью в 300 нанометров. Новая методика, разработанная в Сиднейском университете, позволяет создавать биосовместимые импланты из фосфата кальция, которые по своим характеристикам значительно превосходят существующие аналоги.



Ключевое преимущество разработки заключается в использовании специальных чернил с кластерами прекурсоров, которые естественным образом управляют процессом минерализации. Это позволяет точно воспроизводить микро- и наноструктуры натуральной костной ткани. В отличие от традиционных металлических имплантатов, новые биокерамические материалы не просто выполняют опорную функцию — они активно участвуют в процессе заживления и постепенно интегрируются в организм.

Магниево-имплантаты вместо титановых [3]

Медицинская компания OsseoLabs из Таиланда совершила прорыв в области 3D-печати имплантатов. Традиционно при операциях на челюсти используются титановые пластины, требующие двух хирургических вмешательств: установки и последующего удаления через месяц. Это увеличивает риск осложнений и удлиняет период восстановления. OsseoLabs разработала инновационное решение — рассасывающиеся магниево-имплантаты, которые постепенно растворяются в организме после заживления. Новая технология исключает необходимость повторной операции, сокращая время восстановления и снижая затраты на лечение.

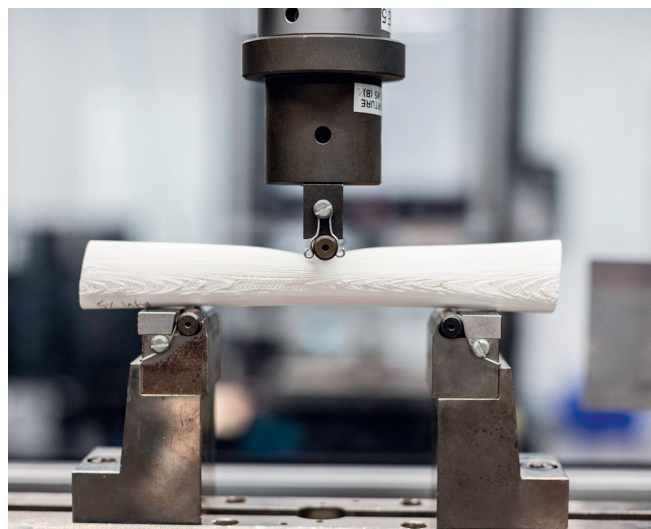


Новый подход к восстановлению костей [2]

Исследователи из Техасского университета в Далласе создали инновационную 3D-печатную модель бедренной кости, которая может усовершенствовать подходы к хирургическому лечению и обучению. Новый метод предлагает эффективное и экономичное решение для подготовки к ортопедическим операциям и биомеханическим исследованиям.

В настоящее время хирурги используют для тренировок и оценки имплантатов донорские кости или синтетические модели. Однако эти методы имеют существенные недостатки: донорские материалы дороги и труднодоступны, а искусственные аналоги часто не обеспечивают необходимую анатомическую точность.

Разработанная модель бедренной кости напечатана из полимолочной кислоты (PLA) — биоразлагаемого полимера. При стоимости всего 7 долларов за экземпляр модель демонстрирует механические свойства, близкие к свойствам естественных костей человека. Размер прототипа — около 20 см в длину и 2,5 см в диаметре.



Ключевое преимущество новой технологии — возможность точной репродукции геометрии конкретной кости пациента. Это особенно важно при лечении опухолей, где необходима точная копия пораженного участка для тестирования терапии.

Технология получила одобрение [6]

В области 3D-печати медицинских имплантатов достигнут значительный прогресс. Китайские регуляторы одобрили первый в мире коленный имплантат, изготовленный методом лазерной 3D-печати. Разработка принадлежит компании Naton Biotechnology и представляет собой важное достижение в производстве металлических имплантатов.

Исследователи из Южно-Китайского технологического университета и Пекинской больницы Цинхуа Чангун решили ключевую проблему неоднородности материалов при 3D-печати. Первоначально в имплантатах из кобальт-хром-молибденового сплава обнаруживались серьезные различия в прочности: относительное удлинение варьировалось от 9,3% до 19,1% в разных направлениях.

Ученые разработали инновационную двухэтапную термическую обработку, которая значительно улучшила характеристики материала. Процесс включает нагрев до 1150°C с последующим охлаждением и повторный нагрев до 450°C. Это позволило достичь впечатляющей прочности: 906,1 МПа и 879,2 МПа в разных направлениях.

Сейчас команда работает над дополнительными методами обработки поверхности, включая дробеструйную и ультразвуковую обработку, чтобы повысить износостойкость и биосовместимость имплантатов.

Искусственные легкие: новый шаг в развитии регенеративной медицины [3]

Калифорнийская компания Frontier Bio совершила прорыв в области биопечати, создав функциональную ткань человеческого легкого на 3D-принтере.

Инновационная технология сочетает стволовые клетки с биоматериалами, создавая трехмерные структуры, способные к самосборке. Искусственная ткань воспроиз-

водит сложную архитектуру легких, включая бронхиолы и альвеолярные мешочки — зоны газообмена.

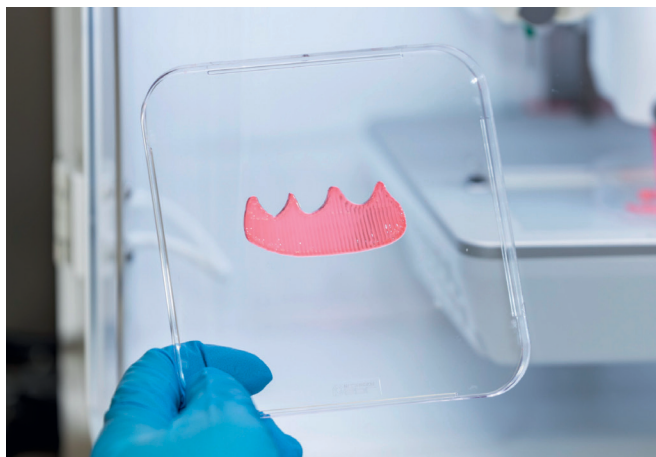
Особенно впечатляет способность созданной ткани выполнять жизненно важные функции: она формирует мерцательные реснички для очистки дыхательных путей, вырабатывает защитную слизь и сурфактант. В результате полученный материал фактически «дышит» подобно настоящим легким.

Успех Frontier Bio знаменует собой важный шаг к созданию полноценных искусственных органов и обещает революционизировать лечение легочных заболеваний.

Улучшенные искусственным интеллектом 3D-трансплантаты десен [7]

Ученые из Национального университета Сингапура создали новый метод изготовления персонализированных трансплантатов с помощью 3D-биопринтинга и искусственного интеллекта.

Главное преимущество разработки в том, что она позволяет избежать забора тканей из полости рта пациента. Вместо этого врачи могут напечатать индивидуальный трансплантат с помощью специального 3D-принтера. Технология использует особые биочернила, которые поддерживают рост здоровых клеток.

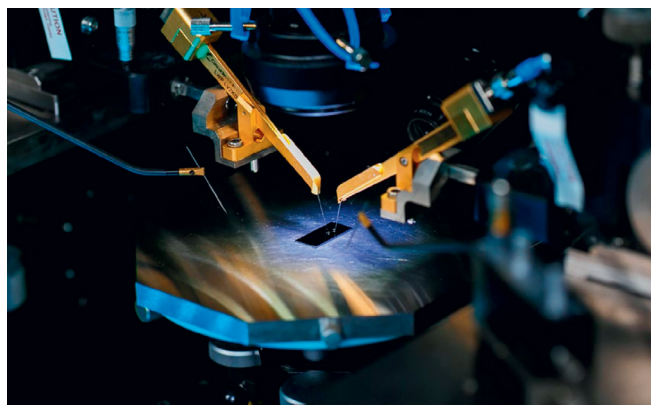


Искусственный интеллект помогает оптимизировать процесс печати, делая его более точным и эффективным. Это значительно упрощает работу врачей и сокращает время на эксперименты с параметрами печати. После печати трансплантаты демонстрируют высокую жизнеспособность клеток — более 90%.

Новый метод восстановления поврежденных нервов [4]

Российские ученые из Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН создали технологию соединения разорванных периферических нервов с помощью специальных волокон, покрытых полимеризованным дофамином. Особенность материала заключается в его способности реагировать на инфракрасное излучение, что позволяет управлять процессом регенерации.

Механизм действия основан на контролируемом нагреве тканей при воздействии светом определенной длины волны. Температура повышается до 20°C, что



способствует ускорению роста нейронов. В результате количество нервных клеток с отростками длиной более 80 микрон увеличивается вдвое.

Безопасность материала подтверждена лабораторными испытаниями: при выращивании на нем клеток нейробластомы человека в течение трех суток не наблюдалось их массовой гибели. Это указывает на хорошую биосовместимость нового композита.

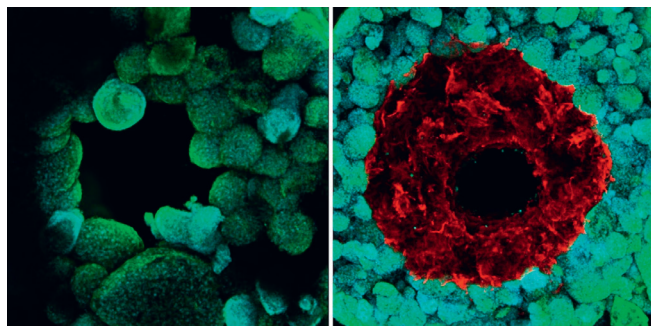
Разработка имеет широкий спектр применения: от исследований процессов регенерации тканей до практической трансплантологии. В рамках проекта ведется сотрудничество со специалистами по биопринтингу, что позволяет создавать 3D-печатные тканеинженерные конструкции для удаленного контроля клеточной активности.

По словам старшего научного сотрудника института Ольги Антоновой, сейчас исследователи работают над адаптацией технологии для клинического применения.

В Гарварде создали искусственные кровеносные сосуды [3]

Исследователи из Гарвардского Института Висса разработали инновационный метод создания искусственных кровеносных сосудов. Новая технология co-SWIFT (коаксиальный SWIFT) позволяет печатать сложные сосудистые сети, которые максимально приближены к естественным структурам человеческого организма.

Главное преимущество co-SWIFT заключается в создании многослойной структуры сосудов, включающей полый центр для кровотока, окруженный слоями гладкой мускулатуры и эндотелиальных клеток. Это значительное улучшение по сравнению с предыдущей версией технологии SWIFT, которая могла создавать только простые полые каналы.



Оригинальный метод SWIFT (слева) и co-SWIFT (справа)

Уникальная конструкция сопла с двумя каналами позволяет печатать сосуды с использованием специальных чернил на основе коллагена и желатина. После печати желатиновая сердцевина удаляется, формируя каналы для кровотока, а внешние слои обогащаются клетками гладкой мускулатуры и эндотелием.

Успешные испытания показали, что напечатанные сосуды сохраняют прочность и функциональность в течение минимум семи дней. Особенно важным стало тестирование технологии на живых клетках сердечной ткани, где созданная сосудистая сеть продемонстрировала способность к синхронному сокращению после перфузии искусственной кровью.

Первый в мире 3D-печатный микроскоп стоимостью менее 50 фунтов [3]

Ученые из Университета Стратклайда представили революционное решение в области микроскопии — полностью 3D-печатный микроскоп, способный различать отдельные клетки крови и детализировать структуры тканей.

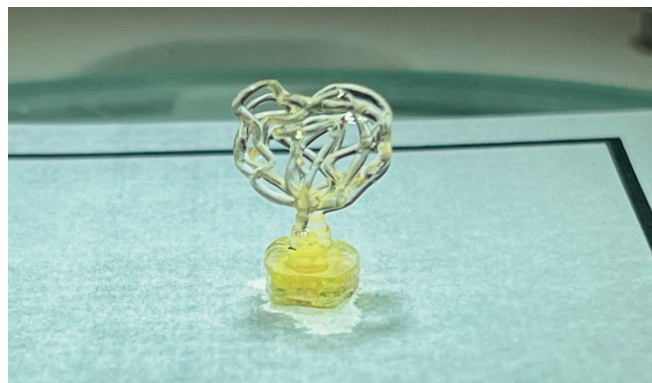
В конструкцию микроскопа входят CMOS-камера, светодиодная лампа и модуль управления на базе Raspberry Pi. Несмотря на простоту и дешевизну, устройство демонстрирует впечатляющие возможности: оно способно четко визуализировать эритроциты и сложные структуры почечной ткани, что подтверждает его исследовательский потенциал.

Особую значимость разработка приобретает для медицины и науки в странах с ограниченными ресурсами.



Биопечать в космосе [8]

Компания Auxilium Biotechnologies успешно протестировала на МКС свой 3D-биопринтер AMP-1. В ходе шестинедельной миссии стояла задача продемонстрировать, что в условиях микрогравитации можно создавать медицинские импланты с беспрецедентной точностью.



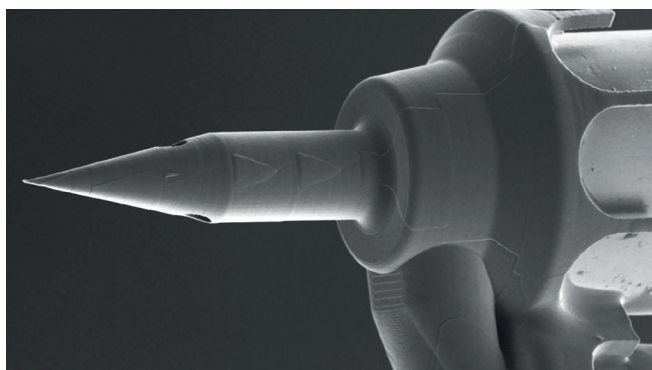
Главным преимуществом космической биопечати стала возможность равномерного распределения биологических материалов, чего невозможно достичь на Земле из-за гравитации. Это особенно важно при создании имплантов для восстановления периферических нервов, где критична точность распределения регенеративных компонентов.

Система AMP-1 использует легкие картриджи с биологическими материалами и требует минимального участия человека — всего около минуты работы астронавта на сеанс печати. За два часа работы на МКС было создано восемь медицинских устройств, что подтверждает эффективность новой технологии.

Успешные испытания показали, что биопринтер способен создавать не только нервные импланты, но и перфузируемые сосудистые структуры — фактически, кровеносные сосуды.

Микроигла для лечения потери слуха [9]

Исследователи из Колумбийского университета создали 3D-напечатанную микроиглу для лечения заболеваний внутреннего уха. Это достижение особенно важно, поскольку ранее эта область была практически недоступна для медицинских вмешательств из-за сложной анатомии и хрупкости структур.



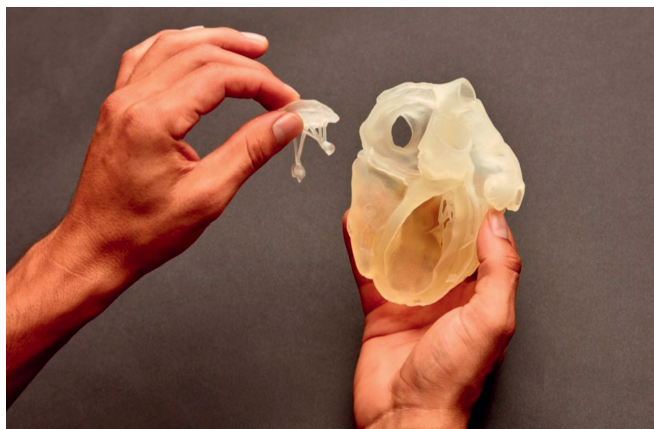
Для создания микроиглы ученые использовали метод двухфотонной фотолитографии, позволяющий создавать высокоточные структуры. Ключевой особенностью устройства стала его миниатюрность — толщина иглы сравнима с человеческим волосом. Это позволяет безопасно проникать через тонкую мембрану внутреннего уха (всего 2 мм), не повреждая ее.

Новое устройство открывает возможности для точной диагностики и лечения различных заболеваний, включая болезнь Меньера. Микроигла позволяет вводить контрастные вещества и забирать образцы жидкости из улитки без риска потери слуха. Успешные испытания на животных показали, что мембрана полностью восстанавливается всего за два дня после процедуры.

Новая эра в исследованиях в области медицинской визуализации [3]

Stratasys и Siemens Healthineers представили решение для создания персонализированных 3D-печатных фантомов, которые открывают новую эру в медицинской визуализации. Используя материалы RadioMatrix и технологию Digital Anatomy, компании разработали высокоточные модели для планирования операций и обучения хирургов.

Главное преимущество новых фантомов — их анатомическая точность и возможность создания моделей для конкретного пациента. Это позволяет улучшить качество диагностики и планирования операций, а также ускорить разработку новых алгоритмов компьютерной томографии.



Технология особенно важна для тестирования и калибровки медицинского оборудования. Фантомы обеспечивают беспрецедентную точность при сканировании, демонстрируя отклонения всего в несколько единиц Хаунсфилда в таких критических областях, как серое вещество мозга и вены. Это значительно превосходит существующие стандарты в области компьютерной томографии.

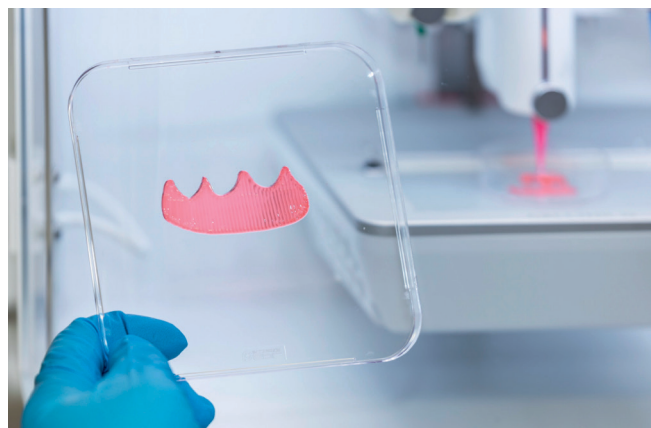
Новые фантомы также решают этические и практические проблемы, связанные с использованием человеческих тканей для тестирования медицинского оборудования. Благодаря возможности многократного сканирования одной и той же модели, обеспечивается высокая повторяемость результатов и надежность исследований.

Это сотрудничество не только улучшает диагностику и лечение пациентов, но и открывает новые возможности для медицинского образования и исследований, снижая при этом зависимость от использования биологических образцов.

Персонализированные лекарства от goatAM [9]

Стартап goatAM представил систему производства персонализированных таблеток. Основатели компании — инженеры-машиностроители Тилманн Шпиц и Фабиан Луз — начали свою деятельность с исследований в области промышленной 3D-печати, но вскоре переключились на фармацевтику после сотрудничества с Университетом Генриха Гейне.

Ключевое достижение goatAM — разработка специального 3D-принтера для создания персонализированных таблеток. В отличие от обычных FDM-принтеров, использующих непрерывные катушки, здесь применяются особые хранилища с предварительно смешанными активными веществами. Материалы производятся на фармацевтическом шнековом экструдере и специально разрабатываются для безопасного метаболизма в организме.



Технология позволяет точно контролировать дозировку и скорость высвобождения активных ингредиентов. Можно комбинировать несколько компонентов в одной таблетке, что особенно важно для пожилых пациентов. Система оснащена искусственным интеллектом для контроля качества в реальном времени, автоматически корректируя параметры печати при необходимости.

Инновация уже готова к внедрению в больницах и аптеках.

Обзор подготовил Иван Жоглов

Использована информация с Интернет-ресурсов:

1. www.thebusinessresearchcompany.com
2. <https://3dprinting.com>
3. <https://3dprint.com>
4. https://t.me/additiv_tech
5. www.vinmec.com
6. www.news-medical.net
7. <https://news.nus.edu.sg>
8. www.businesswire.com
9. www.3dnatives.com

Обзор рынка PETG-пластиков и исходные данные для задачи машинного обучения

П.А. Петров*, Г.Р. Аглетдинова

Московский политехнический университет, г. Москва, Россия

e-mail: * petrov_p@mail.ru

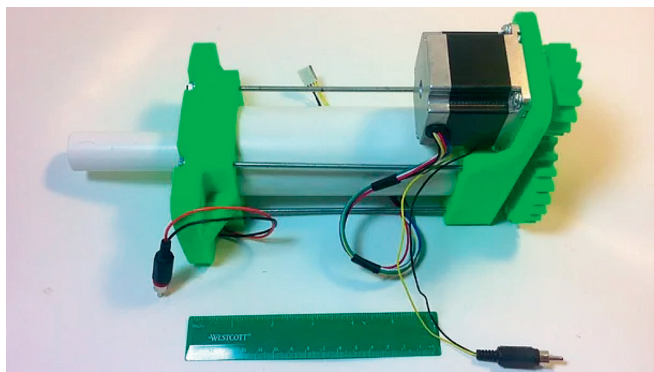
Ни для кого сейчас уже не секрет, что аддитивные технологии позволяют изготовить не только сувениры, но и функциональные изделия, не уступающие по своим свойствам изделиям, выпускаемым серийно с применением традиционных технологий. Наиболее популярным примером машиностроительной детали, изготавливаемой в аддитивном производстве, является шестерня и зубчатое колесо. По публикациям в зарубежных изданиях известны несколько вариантов их изготовления [1-4]. Выбор материала и, соответственно, аддитивной технологии определяется областью применения: машиностроение, потребительские товары и т.п.

В аддитивном производстве можно выделить несколько популярных полимерных материалов, применяемых для изготовления шестерен и зубчатых колес (рис. 1): нейлон (полиамид), АБС, ПЛА, ПЭТ (ПЭТ-Г) и металлонаполненные полимерные филаменты (например, со-

держающие медь, нержавеющую сталь и т.п.), а также металлические материалы (нержавеющая сталь разных марок). Каждый из материалов имеет свои преимущества и недостатки; перерабатывается с применением разных аддитивных технологий: FFF/FDM, SLM, SLS, MBJ и др.

В работе [5] выделены четыре потребительские характеристики (таблица 1) и приводится достаточно интересное сравнение между полимерными материалами, применяемыми для изготовления шестерен и зубчатых колес в аддитивном производстве.

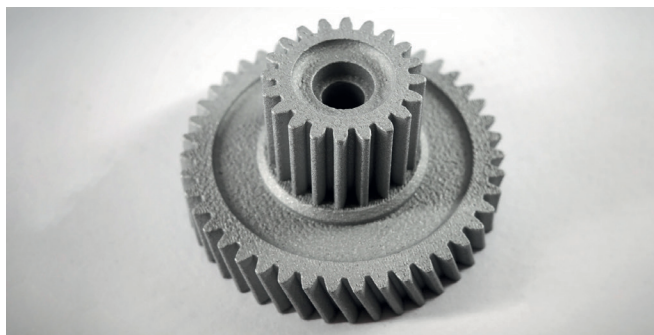
Из сравнения полимерных материалов (таблица 1) можно выделить ПЭТ-Г как популярный «средний» материал для изготовления шестерен и зубчатых колес по критерию «прочность — износостойкость — простота настройки 3D-печати — стоимость исходного материала». Неудивительно, что за период 2015–2025 гг. число производителей филамента из ПЭТ-Г увеличилось.



Материал: АБС, FDM-технология [1]



Материал: нейлон, FDM-технология [2]



Материал: SS316L, SLM-технология [3]



Материал: 17-4PH SS, MBJ-технология [4]

Рис. 1. Примеры зубчатых шестерен и колес, изготовленных с применением экструзионной аддитивной технологии [1–4]

Рассмотрим в данной статье несколько вопросов, связанных с экструзионным процессом (FDM/FFF) аддитивного производства, применяемым для переработки филамента из полимера ПЭТ/ПЭТ-Г: 1) какие виды входного контроля качества исходного материала (филамента) регламентированы стандартами; 2) чем обусловлен выбор производителя филамента; 3) какие задачи входного контроля качества филамента могут быть решены с применением алгоритмов машинного обучения (ML) для его автоматизации и сокращения числа лабораторных испытаний.

Различают несколько видов полиэтилентерефталата (сокр.— ПЭТ, или, что более точно, ПЭТФ, обозначение по ГОСТ 24888, а общие требования по ГОСТ Р 51695), отличающихся друг от друга улучшенными техническими характеристиками: ПЭТ-А, ПЭТ-Г, ПЭТ-ГАГ.

ПЭТ-А (А-РЕТ) при комнатной температуре является аморфным полиэтилентерефталатом; характеризуется повышенной прозрачностью и достаточно хорошей гибкостью. При нагревании свыше 75°C происходит кристаллизация полимера; он становится белым и хрупким.

Таблица 1. Характеристика материалов для изготовления шестерен и зубчатых колес [5]

Материал	Прочность (strength)	Износостойкость (wear resistance)	Простота настройки 3D-печати (ease of printing)	Стоимость
ПЛА	неприменим для сильно нагруженных шестерен и зубчатых колес	низкая износостойкость; быстро разрушается при трении	настройка 3D-печати не требует много времени; подходит для прототипирования	низкая стоимость — самый бюджетный материал для 3D-печати
АБС	применим для средненагруженных шестерен и зубчатых колес	хорошо работает при неинтенсивных нагрузках	требуется подогреваемый рабочий стол и чуть более сложная настройка, чем для ПЛА	низкая стоимость, но несколько выше, чем у ПЛА
ПЭТ-Г	применим для изготовления шестерен и зубчатых колес общего применения	износостойкость выше, чем у ПЛА и АБС	настройка 3D-печати не требует много времени, практически отсутствует коробление	несколько выше, чем у АБС
Нейлон (полиамид)	отлично подходит для высоконагруженных шестерен и зубчатых колес; высокий срок службы	хорошо подходит для применения в условиях высоких нагрузок и износа	требуется сушка филамента до начала 3D-печати по причине гигроскопичности нейлона	более дорогой материал в сравнении с ПЛА, АБС, ПЭТ-Г; идеально подходит для высоконагруженных зубчатых соединений
Нейлон, армированный углеродным волокном	является более прочным материалом в сравнении с нейлоном	характеризуется высокой износостойкостью; подходит для высоконагруженных условий эксплуатации и высокого износа	применение материала требует применения сопла, изготовленного из износостойкого материала (например, нержавеющей или закаленной стали и т.п.)	более дорогой материал в сравнении с нейлоном из-за включения в состав композиции углеродного волокна
ТПУ	эластичный материал, не рекомендуется для высоконагруженных шестерен и зубчатых колес	отлично подходит для изготовления зубчатых зацеплений, выполняющих функцию демпфера	требуется времени для подбора настроек 3D-печати и особенно скорости печати (чем ниже скорость, тем выше качество изготавливаемой детали)	более дорогой материал в сравнении с ПЛА, АБС, ПЭТ-Г из-за повышенной эластичности и специализированных областей применения
РЕЕК	один из самых прочных полимерных материалов	предпочтительные области применения: авиастроение и энергомашиностроение	требуется высокотемпературный принтер и опыт работы с высокотемпературными материалами для 3D-печати	один из дорогостоящих материалов для FFF/FDM-3D-печати
Металлонаполненный полимерный филамент (включающий, например, медный порошок либо порошок нержавеющей стали)	один из самых прочных материалов на полимерной основе	характеризуется высокой прочностью, но уступает материалу, из которого изготавливают цельнометаллические шестерни	требуется применения FFF/FDM-принтеров с износостойким соплом, а также специального оборудования для постобработки изготовленных изделий	дорогостоящий материал из-за включения в его состав металлического порошка с высоким процентным содержанием

ПЭТ-Г (PET-G) является разновидностью полиэтилентерефталата, модифицированного гликолем, и характеризуется уникальным комплексом тепловых, механических, оптических, электрических и других эксплуатационных свойств [6-10]. ПЭТ-Г не кристаллизуется и остается прозрачным благодаря тому, что температура его плавления ниже, чем ПЭТ-А.

Столь противоположные свойства полимерный материал ПЭТ получает за счет влияния скорости охлаждения полимерной массы на этапе производства. При быстром охлаждении полимер остается аморфным (ПЭТ-Г) и сохраняет прозрачность; при медленном охлаждении — кристаллический (ПЭТ-А), непрозрачный, белого цвета.

Совмещая ПЭТ-А и ПЭТ-Г в одном продукте, получают третью разновидность полиэтилентерефталата — трехслойный полимер ПЭТ-ГАГ. Средний слой — ПЭТ-А; крайние слои — ПЭТ-Г. ПЭТ-ГАГ не применяется в настоящее время в аддитивном производстве для 3D-печати. Известно его применение для изготовления корректирующих кап — элайнеров.

Филамент для FFF/FDM-технологии 3D-печати представляет собой композицию на основе ПЭТ и имеет свойства, определяемые видом полимера-основы, что не всегда указывается производителем. На упаковке производитель указывает обозначение пластика по ГОСТ 33366.1. Хотя из вышеприведенного описания видов ПЭТ следует, что комплекс свойств филамента зависит от вида ПЭТ и является критичным для производства конкретной продукции, например, шестерен и зубчатых колес. В этом случае важную роль на производстве играет входной контроль закупаемого филамента. Основная цель этой процедуры — исключить попадание на производство некачественного филамента либо филамента со свойствами, не соответствующими регламентам и стандартам, принятым на предприятии. В связи с этим является актуальной методика входного контроля филамента, в контексте данной статьи — ПЭТ-пластика. Далее покажем, к чему может быть сведена задача входного контроля в случае применения алгоритмов машинного обучения.

ГОСТ Р 57587 регламентирует требования к контролю качества исходных материалов для аддитивного производства, выделяя входной и операционный контроль, а также контроль качества изделия, изготовленного из исходного материала. Входной контроль производится в соответствии с ГОСТ Р 57556, со стандартами либо техническими условиями на поставку филамента. В случае наличия дополнительных требований в чертежах на изделие из филамента определенной марки — в соответствии с этими требованиями.

В соответствии с ГОСТ Р 59100 документ о качестве филамента должен содержать данные о показателе текучести расплава материала, его температурных характеристиках и физико-механических свойствах, массовой доле влаги и других характеристиках в соответствии с рекомендациями изготовителя материала, а также рекомендации по переработке.

С другой стороны, любая композиция пластика ПЭТ может быть охарактеризована двумя физическими па-

раметрами — молекулярная масса (M_n) и температура стеклования (T_g) [11]. Увеличение молекулярной массы композиции приводит к повышению ее температуры стеклования; начиная с некоторого значения M_n (около 20 тыс. ед) практически перестает зависеть от ее значения и остается постоянной. При производстве филамента в его состав вводятся пластификаторы, которые придают определенные требуемые свойства полимеру и в то же время приводят к понижению его температуры стеклования и облегчают его переработку.

Температура стеклования может быть определена по результатам ДСК-анализа и для пластика ПЭТ, учитывая разные его виды, варьируется от 65 до 85°C [12]. В зависимости от температуры стеклования может меняться и минимальная температура нагрева сопла для 3D-печати, т.е. режим переработки филамента с применением 3D-принтера. Предел повышения температуры сопла определяется началом деградации полимерного материала [7, 13], а также техническими характеристиками 3D-печатающей головки. Перечисленные особенности как минимальный набор факторов приводят к тому, что филамент ПЭТ различных производителей по-разному перерабатывается на одном и том же 3D-принтере.

Анализ рынка производителей филамента пластика ПЭТ показывает, что только в нашей стране компаний-производителей насчитывается более двадцати [14]; за рубежом (Европа, Азия, Америка) — компаний-производителей более тридцати. За редким исключением температура стеклования не указывается в спецификации на филамент. Например, компании PrintProduct, PolyMaker, Sharebot, Taulman и др. приводят значения T_g . Распространенным показателем, который приводится практически всеми из известных производителей ПЭТ-филамента, является температура размягчения (T_r). С точки зрения изменения физического состояния при изменении температуры показатели T_r и T_g имеют различный смысл, рассмотренный в ГОСТ 15088 и ГОСТ Р 56753 соответственно.

Машинное обучение находит все большее применение при решении исследовательских, конструкторских, технологических задач в аддитивном производстве. Оценка качества исходного сырья рассматривается как этап производства, на котором алгоритмы машинного обучения могут быть внедрены для решения как минимум двух задач [15]: задача № 1 — классификация исходного сырья, учитывая вышеописанные особенности полимерного материала ПЭТ; задача № 2 — прогнозирование (в частном случае рекомендация) режима 3D-печати пластика ПЭТ на FFF/FDM-3D-принтере, имеющемся на производстве.

Первая задача основана на сборе статистики как для поставляемого на производство филамента ПЭТ, так и филамента ПЭТ, который не поставляется на производство, но имеется возможность получения пробных образцов, достаточных для лабораторного определения параметров, необходимых для входного контроля.

В качестве собираемых параметров в датасет включаются следующие признаки: производитель филамента, рекомендуемые производителем диапазон температуры (минимальная $T_{\min}$ и максимальная $T_{\max}$) нагрева сопла пе-

чатающей головки 3D-принтера, диапазон температуры нагрева рабочей платформы, скорость 3D-печати, скорость охлаждения, а также температура стеклования (T_g), температура плавления ($T_{пл}$). Датасет представляет собой структурированный набор данных, которые служат основой для обучения, тестирования и оценки моделей машинного обучения, позволяющих выполнить их классификацию или расчет текущего/будущего значения при различном сочетании параметров модели.

Последние два параметра T_g и $T_{пл}$, как правило, производитель филамента не указывает ни на упаковке, ни в спецификации на пластик. По ГОСТ Р 59100 это и не требуется. Тем не менее эти два параметра являются ключевыми для классификации филамента по типовым группам, формируемым на основе диапазона температур нагрева сопла, а также для выбора режима 3D-печати, который зависит от значения $T_{пл}$. В свою очередь, значение $T_{пл}$ зависит от температуры стеклования; значение T_g — от технологии производства производителя. Определение значений (T_g) и ($T_{пл}$) для филамента ПЭТ основывается на проведении лабораторного испытания методом динамического механического анализа (ДМА; ГОСТ Р 56753) или методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК, ГОСТ Р 55134, ГОСТ Р 56754). Зная значение T_g , имея достаточно многочисленный датасет, оказывается возможным разработать модель для классификации филамента ПЭТ, поступающего на производство. В качестве целевой переменной будет выступать диапазон температур нагрева сопла. Например, филамент ПЭТ компании AzureFilm (Словения) имеет температуру T_g около 76,95°C, $T_{пл}$ около 217,74°C, а заявляемый диапазон рекомендованных температур нагрева сопла 180–250°C. На основе этих и подобных целевых данных составляется вышеописанный датасет; часть его используется в качестве обучающего датасета, а часть — датасета для тестирования. Количество выделяемых классов определяется по числу характерных диапазонов температуры нагрева сопла. Допустим, производитель № 1 ПЭТ-филамента заявил диапазон температур 230–260°C; производитель № 2 — 180–250°C; производитель № 3 — 205–235°C; производитель № 4 — 215–235°C и т.д. В этом случае выделить один класс не имеет смысла по причине достаточно большого разброса между минимальной и максимальной температурой нагрева, что приведет к упрощению модели классификации — каждый раз модель будет предсказывать класс со стопроцентной точностью. Тогда из анализа характерных значений в диапазоне температуры, рекомендованном производителями, выбираются такие, которые обеспечивают их перекрытие по принципу дополнения. Исходя из вышеприведенного примера количество классов может быть назначено равным трем. Дальнейшие действия по разработке, обучению и тестированию модели классификации основываются на применении алгоритмов машинного обучения, например, дерево решений (Decision Tree), случайный лес (Random Forest) или k-ближайших соседей (K-Nearest Neighbors, KNN) [15].

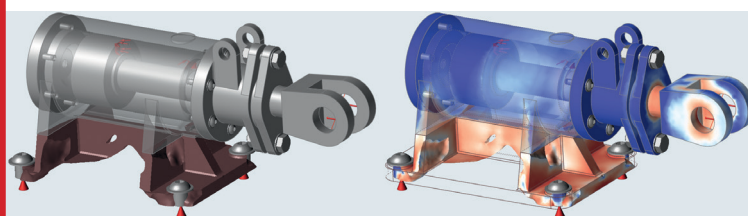


**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

Кафедра «Обработка материалов давлением и аддитивные технологии» Московского политехнического университета специализируется на компьютерном проектировании технологий и создании ее 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 объемная 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 черных и цветных сплавов;
- повышение стойкости штамповой оснастки и кузнечно-штамповочного оборудования;
- разработка моделей материалов для компьютерного моделирования технологий обработки давлением.

КАФЕДРОЙ ВЕДЕТСЯ 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>

Вторая задача, решаемая на этапе входного контроля, является более объемной, и предполагается решение задачи регрессии в контексте предсказания значения температуры 3D-печати либо набора значений, определяющих рекомендуемый режим 3D-печати. В этом случае разрабатывается модель машинного обучения с применением алгоритмов: линейной регрессии дерева решений (Decision Tree), регрессии лассо (LASSO, Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) или гребневой регрессии (ридж-регрессии) [15]. На детализации вышеперечисленных алгоритмов в данной статье не предполагается останавливаться.

Однако укажем область применения каждого из вышеперечисленных алгоритмов и некоторые важные достоинства [15–18].

Алгоритм Decision Tree может быть применен как для решения задачи классификации (задача № 1), так и для решения задачи регрессии (задача № 2). Алгоритм сводится к построению модели, внешний вид которой представляет иерархическую структуру (дерево), имеющей уровни, на каждом уровне есть узлы, из узлов выходят ребра (ветви), которые могут заканчиваться значением (листом). В листе фиксируется некоторое значение, сопоставляемое с целевой переменной. Задача классификации характеризуется тем, что в листе фиксируется постоянное целое значение, являющееся классом целевой переменной (например, класс 1 — к нему относятся все производители пластика, для которых температура стеклования меньше 230°C). Задача регрессии, наоборот, характеризуется тем, что в листе определяется численное значение. Это значение сопоставляется также с целевой переменной (например, температура плавления пластика).

Алгоритм Random Forest является более универсальным алгоритмом, который позволяет повысить точность решения за счет того, что включает несколько моделей типа дерева решений (ансамбль из деревьев решений), и на основе случайного выбора варианта решения определяется наиболее часто встречающийся, т.е. «победитель». Главное преимущество алгоритма «Случайный лес» — возможность повысить точность решения: предсказание класса либо расчет значения целевой переменной.

Алгоритм K-Nearest Neighbors применяют только при решении задачи классификации. Он позволяет получить более точное решение, чем алгоритмы, описанные выше. Суть алгоритма сводится к следующему. Выполняется поиск кратчайшей дистанции между тестируемым объектом и ближайшими к нему классифицированными объектами из обучающего датасета. Классифицируемый объект будет относиться к тому классу, к которому принадлежит ближайший объект датасета [18].

Алгоритм-регрессию LASSO либо регрессия «Ридж» применяют только при решении задачи регрессии (прогнозирования) [16]. Lasso и «Ридж» — разновидности линейной регрессии, разработанные для данных, имеющих сильную взаимосвязь друг с другом. Отсутствие независимости признаков друг от друга не является положительным фактором для разрабатываемой моде-

ли; снижает ее точность. Lasso и «Ридж» по-разному решают данный вопрос и в целом позволяют повысить точность модели.

Таким образом, на этапе входного контроля применение алгоритмов машинного обучения может обеспечить:

- разработку модели классификации исходного филамента ПЭТ, поставляемого на производство, и в перспективе, по мере накопления данных в датасете, сокращение числа лабораторных исследований;
- разработку модели предсказания режима 3D-печати по технологии FFF/FDM;
- разработку рекомендательной системы внутри производства, построенную по принципу «свойство исходного филамента — режим 3D-печати»;
- автоматизацию при проверке качества исходного филамента ПЭТ-пластика.

Литература

1. A Practical Guide to FDM 3D Printing Gears [электронное издание] URL: <https://www.instructables.com/A-Practical-Guide-to-FDM-3D-Printing-Gears>
2. Best 3D printing Material/filament for Gears! [электронное издание] URL: <https://3dsolved.com/best-3d-printing-filament-for-gears/>
3. SLM 3D Printed SS316L Gear Prototypes [электронное издание] URL: <https://facfox.com/case/mechanics-case/slm-3d-printed-ss316l-gear-prototypes/>
4. Design for Additive Manufacturing (DfAM): Binder Jetting Technology demystified [электронное издание] URL: <https://www.metal-am.com/articles/design-for-additive-manufacturing-3d-printing-dfam-binder-jetting-technology-demystified/>
5. 3D Printed Gears: A Complete Guide [электронное издание] URL: <https://www.unionfab.com/blog/2024/12/3d-printed-gears>
6. ПЭТ [электронное издание] URL: <https://uventaplastiktara.ru/articles/pet>
7. All You Need to Know About PETG for 3D printing [электронное издание] URL: <https://www.3dnatives.com/en/petg-3d-printing-guide-181220194/>
8. Серова В.Н. Полимерные оптические материалы. СПб.: Научные основы и технологии, 2011. С. 384.
9. Шевлик Н.В., Строгонова С.С., Тынская Л.Ю., Коваль В.Н., Щербина Л.А. Синтез и свойства аморфного светопрозрачного С-ПЭТ // Полимерные материалы и технологии. 2016. № 3. Т. 2. С. 35–46.
10. Обидин И.М., Котомин С. В. Разработка и свойства алюмополиэтиленового полиэтиленотерифталатгликоля // Пластические массы. 2021. № 3–4. С. 42–45.
11. Температура стеклования полимеров: подробное руководство [электронное издание] URL: <https://proleantech.com/ru/glass-transition-temperature-of-polymers/>
12. Петров П.А., Шамова Н.С., Чмутин И.А., Сапрыкин Б.Ю. Электрические свойства ПЭТГ-пластика после 3D-печати по экструзионной технологии // Аддитивные технологии. 2023. № 4. С. 31–33.
13. L.G. Blok, M. L. Longana, H. Yu, B.K.S. Woods, An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites, Additive Manufacturing, Volume 22, 2018, Pages 176–186.
14. Российский рынок материалов для аддитивных технологий. // Аддитивные технологии. 2023. № 1. С. 22–25.
15. Учебник по машинному обучению [электронное издание] URL: <https://education.yandex.ru/handbook/ml>
16. 5 алгоритмов регрессии в машинном обучении, о которых вам следует знать [электронное издание] URL: <https://habr.com/ru/companies/vk/articles/513842/>
17. 10 самых популярных алгоритмов машинного обучения [электронное издание] URL: <https://cloud.vk.com/blog/samyepopulyarnye-algoritmy-mashinnogo-obucheniya/>
18. Обзор методов классификации в машинном обучении с помощью Scikit-Learn [электронное издание] URL: <https://tproger.ru/translations/scikit-learn-in-python>

Хранение металлических порошков: практические рекомендации

Блог компании iQB Technologies, <https://blog.iqb.ru>

В аддитивном производстве металлический порошок служит сырьем, которое используется для создания конечных объектов на 3D-принтере по технологии селективного лазерного плавления (SLM, DMLS, LPBF и др.). Качество и характеристики металлического порошка напрямую влияют на общее качество напечатанной детали.

Цель этой статьи — дать краткий обзор порошков для металлической 3D-печати, рассмотреть лучшие практики их хранения и обращения с ними, а также подчеркнуть важность использования высококачественных материалов для достижения оптимальных результатов.

Расходные материалы, используемые в SLM-печати, чаще всего являются мелкодисперсными и высокореактивными, в силу чего они подвержены окислению, поглощению влаги и загрязнению. При неправильном обращении и хранении они могут утратить необходимые свойства, что приведет к низкому качеству печати и потенциальной угрозе безопасности.

Использование герметичных контейнеров, обеспечение надлежащей вентиляции и хранение порошка вдали от влаги и источников тепла — вот лишь несколько ключевых рекомендаций, благодаря которым производители могут минимизировать риски, связанные с 3D-печатью.

Свойства металлов и сплавов для 3D-печати

Каждый вид металлического порошка имеет свои уникальные свойства и характеристики, определяющие сферы его применения. Например:

- нержавеющая сталь — коррозионная стойкость и высокая прочность;
- алюминий — легкость и отличная теплопроводность (подходит для изготовления теплообменников и электронных компонентов);
- титан — высокая удельная прочность и биосовместимость (широко используется в аэрокосмической и медицинской промышленности);
- никель — высокая термостойкость и превосходные механические свойства;
- кобальт-хром — износостойкость и биосовместимость.

Сегодня ассортимент доступных материалов весьма широк, и вы можете заказать варианты с заданными характеристиками, необходимыми для ваших задач. При выборе металла или сплава для 3D-печати важно учитывать требования конкретного проекта, чтобы обеспечить оптимальную производительность и качество.



© GE Additive

Преимущества и недостатки порошков

Когда речь заходит о манипуляциях с порошками для аддитивного производства и их хранении, учитывайте плюсы и минусы каждого вида. Одно из главных преимуществ SLM-печати — способность создавать сложные конструкции с высокой точностью. Это особенно выгодно для таких отраслей, как аэрокосмическая и автомобильная. Кроме того, металлический порошок легко перерабатывается, что ведет к сокращению количества отходов и способствует защите окружающей среды.

К недостаткам относятся потенциальные риски для здоровья и безопасности, связанные с мелкодисперсностью порошков. Для минимизации угроз необходимо обеспечивать надлежащие меры безопасности, например, носить защитное снаряжение и работать в хорошо вентилируемом помещении.

Обращение с металлическим порошком

Хранение

Чтобы сохранить целостность порошка и избежать загрязнений, окисления или воздействия влаги, важно содержать его в среде с контролируемой влажностью и температурой.

- Температура в помещении: $20 \pm 2^\circ\text{C}$, с колебанием не более $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в час.
- Относительная влажность: ниже 15% RH (5% для нанопорошков).

Помещение для хранения должно быть сухим, хорошо вентилируемым и свободным от любых источников возгорания. Порошки не следует помещать вблизи кислот, щелочей, коррозионных, взрывоопасных или легковоспламеняющихся веществ либо реактивных материалов. Между порошками разных видов должно быть не менее 1,5 м безопасного расстояния, а между чрезвычайно реактивными химическими веществами — не менее 3 м.

Порошки следует хранить и транспортировать в герметичных контейнерах. Рекомендуется использовать емкости из нержавеющей стали 304 или 316L. Для обеспечения особой герметичности применяется двухслойная уплотнительная конструкция с фтор-резиновыми кольцами.

Правильная маркировка, описание состава порошка и инструкции по обращению с ним также необходимы для предотвращения перекрестного загрязнения и возможной путаницы.

Как предотвратить загрязнения

Любое загрязнение может негативно повлиять на качество и целостность конечных деталей, напечатанных на 3D-принтере. Одна из важнейших мер — обеспечить чистую и контролируемую среду на протяжении всего процесса. Сюда входит не только использование специальных контейнеров для хранения и средств защиты, но и проведение необходимых процедур очистки. Выявить и устранить потенциальные источники загрязнения помогают регулярные проверки помещений для хранения и техническое обслуживание оборудования.

Влага и влажность

Металлические порошки очень легко впитывают влагу из окружающей среды, что может привести к их комкованию, окислению и снижению качества печати. Именно поэтому важно хранить материал в сухом помещении или в помещении с контролируемой влажностью.

Использование осушителей или влагопоглощающих материалов может дополнительно защитить порошок от воздействия влаги. Регулярный мониторинг уровня влажности и обеспечение надлежащей вентиляции также будут способствовать поддержанию качества расходного материала.

Стойкость к УФ-излучению

Большинство материалов, о которых мы говорим, не являются светостойкими, поскольку ультрафиолетовые лучи могут катализировать окисление некоторых их видов. Например, воздействие УФ-лучей катализирует окисление оксида меди (Cu_2O) до оксида меди (CuO) в медном порошке, изменяя его цвет с красного на черный, при этом значительно увеличивается уровень кислорода.

Контроль и поддержание качества порошка

Регулярный контроль качества порошка включает в себя анализ размера частиц, проверку на наличие загрязнений и оценку сыпучести. Тщательный мониторинг этих параметров позволяет своевременно выявлять лю-

бые отклонения или проблемы и принимать меры по их устранению.

Специфика хранения отдельных материалов

Некоторые металлические порошки проявляют разную степень чувствительности к вышеупомянутым факторам и могут требовать более строгих условий хранения.

1. Порошки титановых сплавов, такие как Ti6Al4V, требуют особого внимания к контролю кислорода. Концентрация кислорода в среде хранения не должна превышать 10 ppm. Рекомендуется использовать специальные контейнеры, которые перед заполнением высокочистым аргоном подвергаются вакуумной дегазации. Следует избегать использования азота в качестве защитного газа, чтобы предотвратить азотирование, которое может ухудшить свойства материала.

2. Алюминиевые сплавы, к примеру, AlSi10Mg, очень чувствительны к влажности. В дополнение к стандартным мерам контроля влажности внутри контейнеров следует разместить датчики уровня кислорода и индикаторные карточки влажности для мониторинга условий окружающей среды в режиме реального времени. Помещение для хранения должно быть оборудовано комплексной системой электростатической защиты, включая антистатическое напольное покрытие и ионизирующие вентиляторы, для поддержания электростатического потенциала в безопасных пределах.

3. Порошки из нержавеющей стали, такие как 316L, обладают относительно хорошей химической стабильностью, но все же требуют защиты от коррозии, вызванной хлоридами. Место хранения нужно изолировать от сред, содержащих хлор, а для дополнительной защиты в контейнеры можно поместить антикоррозионные таблетки VCI (ингибитор коррозии под действием паров). Для партий, предназначенных для длительного хранения, каждые три месяца следует проводить испытания на содержание кислорода и сыпучесть.

4. Суперсплавы на основе никеля, включая Inconel 718, требуют особого внимания к температурной стабильности. Помимо поддержания постоянной температуры окружающей среды следует избегать частых колебаний температуры, чтобы предотвратить старение порошка. Эти материалы лучше всего хранить в небольших, заранее отмеренных количествах, и немедленно запечатывать емкость после каждого использования, чтобы минимизировать воздействие внешних факторов.

Техника безопасности

Риски при операциях с порошком

Одна из основных проблем — риск возгорания и взрыва. Металлические порошки, особенно мелкие и с большой площадью поверхности, легко воспламеняются и могут загореться при контакте с источником возгорания. Они также могут выделять токсичные пары при нагревании или сгорании, что представляет опасность для дыхательной системы. Чтобы предотвратить эти риски, следует предусмотреть в помещении систему вентиляции

и использовать средства индивидуальной защиты. Повторим, что необходимо соблюдать надлежащие процедуры хранения и обращения, чтобы предотвратить случайное просыпание или смешивание несовместимых порошков, — это может привести к химическим реакциям или другим опасным ситуациям.

Требования к средствам индивидуальной защиты

Использование необходимых СИЗ, таких как перчатки, защитные очки и средства защиты органов дыхания, позволяет предотвратить или минимизировать опасные воздействия и другие риски. Персонал должен обладать знаниями и навыками, необходимыми для эффективной защиты, для чего нужно проводить регулярные тренинги по использованию и обслуживанию СИЗ.

Как реагировать на чрезвычайные ситуации

Прежде всего важно немедленно оповестить соответствующие органы и аварийные службы. Персонал должен пройти обучение по конкретным опасностям, связанным с металлическими порошками, и действиям в чрезвычайных ситуациях. Это включает в себя знание путей эвакуации, мест сбора и грамотного использования противопожарного оборудования. Процедуры реагирования также отрабатываются в ходе тренингов.

Будущие разработки

Оборудование совершенствуется, свойства расходных материалов улучшаются благодаря новым разработкам.

При этом учитывается и повышение эффективности и безопасности процесса аддитивного производства и переработки порошков.

Одно из направлений разработок — применение передовых технологий автоматизации и роботизации, которые помогут оптимизировать и сделать более удобными операции с порошками и их хранение, а также снизить риск загрязнения и обеспечить более стабильное качество напечатанных деталей.

Эти достижения откроют новые возможности для промышленности, позволяя создавать более прочные, легкие и сложные металлические детали в более безопасных условиях.

Итоги: кратко

При манипуляциях с металлическим порошком и его хранении необходимо строго соблюдать меры безопасности и уделять особое внимание защите материалов от влаги и загрязнений. Соблюдение этих правил позволяет свести к минимуму риск несчастных случаев и травм, а также повысить общую безопасность на рабочем месте.

Следуя рекомендациям, приведенным в этом обзоре, пользователи смогут обеспечить безопасную рабочую среду, продлить срок службы расходных материалов и добиться оптимального качества печати.

В статье использованы материалы из следующих источников: am.printing.com, powder.samaterials.com

МАШИНОСТРОЕНИЕ

МЕТАЛООБРАБОТКА

СВАРКА

ВЫСТАВКА
ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИБОРОВ
И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ,
МЕТАЛООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ И СВАРОЧНОЙ
ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

1-3 ОКТЯБРЯ
КАЗАНЬ 2025

МВЦ «КАЗАНЬ ЭКСПО»

ГЛОБАЛЬНЫЙ ФОРУМ
ПО МЕТАЛООБРАБОТКЕ
И АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ТЕМП

ТЕХНОЛОГИИ
МЕТАЛООБРАБОТКИ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

5000+ ПОСЕТИТЕЛЕЙ

ВЫСТАВКА МЕТАЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО
И СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ДЕМОНСТРАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В РАБОТЕ

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА
ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ОТРАСЛИ

B2B – ВСТРЕЧИ

ОРГАНИЗАТОР

ТАТ ЭКСПО

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

INVEST
TATARSTAN

ПОД ПАТРОНАЖЕМ

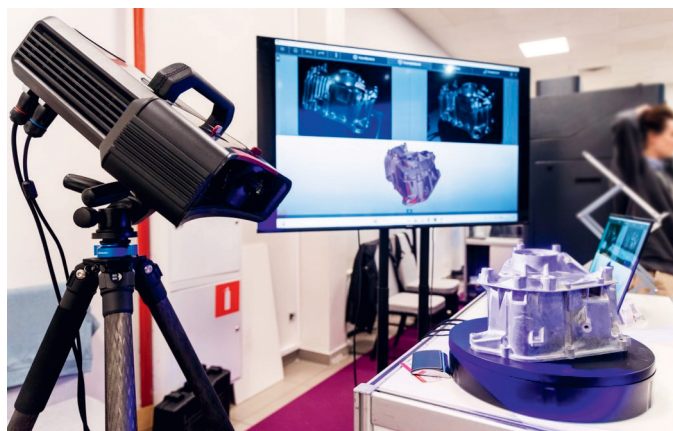
ТЕХНИЧЕСКИЙ ОПЕРАТОР

ВИКО

ООО «ВИКО»
+7 (965) 585-14-29
expo-kazan@mail.ru
tempkazan.ru

12+

Мастер-классы без шоу: зачем инженеры идут в практику на Аддитивный конгресс



Когда обучение — это не лекция, а рабочий процесс

На Аддитивном конгрессе #1, который пройдет 19 сентября в Москве, одной из самых ожидаемых частей программы станут практические мастер-классы. Это не шоу и не демонстрация — здесь каждый участник получает свое рабочее место, оборудование и задачи, которые максимально приближены к реальности.

Организаторы подают мастер-классы как отдельный формат внутри конгресса — с ограниченным числом мест и фиксированной нагрузкой на одного преподавателя, чтобы обеспечить полноценную работу.

FDM-печать

Участники курса по FDM-печати погрузятся в нюансы подготовки моделей: от особенностей проектирования геометрии до тонкой настройки слайсера. Особое внимание — выбору материалов и их поведению в разных режимах. Все это — на практике, под контролем наставников, с возможностью получить обратную связь сразу после первого запуска.

Фотополимерная печать

Практический курс по фотополимерной печати проведет команда HAZ Labs — разработчик российских фотополимеров с глубоким пониманием технологии. На курсе по фотополимерной печати (SLA/DLP) каждому участнику выделяется отдельный настольный принтер, чтобы отработать полный цикл: подготовка модели, настройка экспозиции, запуск, промывка детали в УЗ-ванне, постобработка. Подача материала построена так, чтобы научиться не «в целом разбираться», а четко понимать, как добиться результата с первого раза.

Реверс-инжиниринг

Мастер-класс по реверс-инжинирингу проведет команда 3Dvision, специализирующаяся на промышленной 3D-оцифровке. Участники попробуют цифровое воспроизведение реальных объектов: от сканирования до

создания CAD-моделей. Будет показано, как корректно собрать геометрию, работать с облаками точек, минимизировать искажения. Для многих это будет первый опыт реверса, построенный не на рекламных слайдах, а на реальных задачах.

3D-моделирование

Новичкам и тем, кто только осваивает 3D, подойдет курс по моделированию. Он построен пошагово: от интерфейса и логики работы в CAD-среде до создания простых, но технически верных объектов. Главная цель — дать прочный базис, чтобы участник мог самостоятельно дорабатывать модели под печать.

Expert Talk

Закрытая экспертная сессия с Андреем Кодыковым (директор по развитию, Haensch Group), на которой участники обсудят свои реальные задачи с практикующим технологом по SLA. Формат живого разбора, без камеры и микрофона. Можно показать свой проект, получить совет и, возможно, — прямой контакт для сотрудничества.

Почему это важно?

Аддитивные технологии перестали быть экзотикой. Но те, кто работает в производстве, знают: ключевая проблема — не оборудование, а квалификация.

Мастер-классы на конгрессе дают возможность не просто увидеть, а проработать технологию своими руками. Без этого ни один участок 3D-производства не заработает стабильно.

Если вы ищете практику, а не презентации — вам будет интересно

19 сентября в Москве соберутся инженеры, интеграторы и производственники, чтобы обсудить, как реально работает 3D-печать, — с цифрами, выводами и опытом.

Программа и подробности — на сайте конгресса.

Аддитивный конгресс #1

19 сентября 2025 года, Москва, Skynia Hall. Количество мест на мастер-классы ограничено.

Подробнее на сайте: additivecongress.ru По вопросам участия: info@2cifra.ru

ЦИФРА
ЦИФРА АКАДЕМИЯ
АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

ОНЛАЙН-КУРС ПО ФОТОПОЛИМЕРНОЙ 3D-ПЕЧАТИ

Фотополимерная 3D-печать с нуля —
обучение в удобном формате

ПРОМОКОД НА СКИДКУ 15 %
ЧИТАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА

ATJOURNAL

*Доступ к курсу бессрочный



Зарегистрироваться на курс

Реклама

ЦИФРА
ЦИФРА АКАДЕМИЯ
АДДИТИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

19 СЕНТЯБРЯ 2025

МОСКВА

АДДИТИВНЫЙ КОНГРЕСС #1

Доклады, живое общение и практические
мастер-классы — весь цикл аддитивных
технологий на одной площадке

ПРОМОКОД НА СКИДКУ 5%
ЧИТАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА

ATJournal

ДЛЯ СВЯЗИ: INFO@2CIFRA.RU

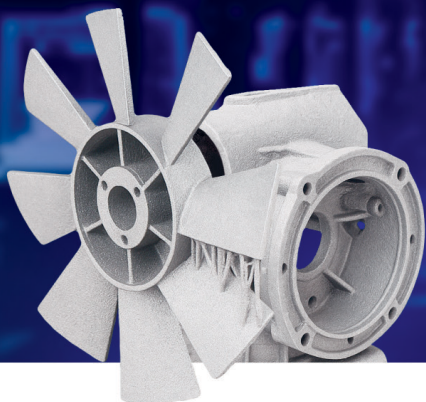


Регистрация по QR-коду

Реклама

ФОРУМ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОНВЕРГЕНТУМ 2025

ГДЕ РОЖДАЕТСЯ БУДУЩЕЕ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



При поддержке

120 Минпромторг
России



Правительство
Москвы

2-3 сентября

Кластер «Ломоносов»

Москва, Раменский бульвар, 1



«Конвергентум-2025»: точка сборки будущего российской промышленности

2–3 сентября 2025 года в Москве состоится главное отраслевое событие осени — форум аддитивного производства **«Конвергентум-2025»**, организуемый Клубом аддитивных технологий (КАТ) при поддержке Минпромторга России и Правительства Москвы. Это специализированное мероприятие объединит разработчиков оборудования, промышленные предприятия, научные центры, инвесторов и государственные структуры для обсуждения аспектов практической интеграции 3D-печати в реальный сектор экономики. Форум станет площадкой, где ключевые игроки отрасли примут решения, определяющие будущее российской промышленности.

«Конвергентум» отличается акцентом на решении конкретных производственных задач. Участники смогут погрузиться в обсуждение кейсов внедрения аддитивных технологий в авиакосмическую отрасль, машиностроение, энергетику, оборонно-промышленный комплекс и другие сферы. Особое внимание уделено синергии 3D-печати с искусственным интеллектом, беспилотными системами, робототехникой и цифровыми решениями. Программа включает пленарные заседания, рабочие сессии, демонстрации оборудования и интерактивные форматы, такие как кейсодромы, питчинг-баттлы и симуляторы для технологов.

Первый день форума начнется с анализа текущего состояния рынка аддитивного производства в России. Эксперты обсудят масштабирование серийного выпуска, обеспечение качества изделий и интеграцию технологий в существующие производственные линии. Особый интерес представляет закрытая секция для Минобороны, где будет рассмотрено применение 3D-печати в ремонте критически важных компонентов. Второй день будет посвящен инновациям: новым материалам, программному обеспечению, внедрению ИИ в управление процессами и устойчивому развитию.

Экспозиционная зона станет визуальным отражением возможностей сферы аддитивного производства. Здесь

будет представлено оборудование от ведущих производителей, материалы для печати, программные решения и готовые промышленные кейсы. Отдельная зона выделена для конечных пользователей — компаний, которые уже внедрили аддитивные технологии в свои процессы. Ярмарка вакансий и пресс-зона обеспечат дополнительные возможности для взаимодействия между участниками.

Организаторы пересмотрели традиционные форматы представления и обсуждения информации и ввели иммерсивность для вовлечения аудитории в обсуждение. Участников ждут интерактивные игры, такие как квиз-симулятор «Путь самурая» и виртуальная головоломка «Пазл славы», где победители получают не только призы, но и инвестиции. Иммерсивные кофе-брейки в формате «индустриальных лабораторий» превратят перерывы в площадки для коллабораций.

Промышленные предприятия здесь найдут партнеров для импортозамещения, а инженеры — практические решения для оптимизации производственных циклов. Научные коллективы обсудят пути коммерциализации исследований, а стартапы презентуют проекты инвесторам. Государственные структуры получают инструменты для формирования стандартов и поддержки отрасли.

«Конвергентум» задуман как манифест промышленного прорыва, где 3D-печать становится «новым кислородом» для экономики. Впервые мероприятие организовано отраслевыми компаниями, что гарантирует его фокус на реальных потребностях рынка. Участники смогут не только увидеть тренды, но и стать их создателями, влияя на развитие технологического суверенитета России.

Регистрация открыта на официальном сайте форума — **convergentum.ru**. Мероприятие пройдет в кластере «Ломоносов» (Москва, Раменский бульвар, 1). «Конвергентум-2025» — это не просто форум, а полигон для действий, где будут формироваться правила игры в эпоху аддитивных технологий.



weldex

24-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА СВАРОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ

7–10.10.2025
МОСКВА, КРОКУС ЭКСПО

+7 499 750 08 28 | WELDEX@ITE.GROUP

ЗАБРОНИРУЙТЕ
СТЕНД
НА WELDEX.RU







6500+
ПОСЕТИТЕЛЕЙ

ИЗ **76**
РЕГИОНОВ

И **19**
СТРАН



ОРИГАНИЗАТОР
ORGANISER

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА
OFFICIAL SUPPORT







АССОЦИИРОВАННАЯ
КОМПАНИЯ

Реклама



VI Международная конференция «Электронно-лучевая сварка и смежные технологии»



Время проведения: 24–28 ноября 2025 г.

Место проведения: г. Томск, конгресс-центр «Рубин»
Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственная компания «Томские электронные технологии».

Цель конференции: представление и обсуждение новейших научно-технических достижений в области электронно-лучевой обработки (сварки, наплавки, термообработки, нанесения покрытий и т.п.), аддитивного производства, диагностики и контроля материалов.

Основные разделы программы проведения конференции

- Физические процессы при обработке концентрированными потоками энергии.
- Технологии электронно-лучевой сварки, наплавки, термообработки, нанесения покрытий и др.
- Аддитивные технологии.
- Оборудование для электронно-лучевой обработки.
- Сварочное материаловедение, прочность, контроль и диагностика сварных соединений.

Условия участия

1. Участие **с докладом/без доклада** (крайние сроки для отправления)
Заявка для участия **до 15 октября 2025 г.**
2. Участие в конференции **бесплатное**, регистрационный взнос не предусмотрен.
3. Русскоязычные доклады конференции, успешно прошедшие рецензирование, будут размещены в Научной электронной библиотеке (НЭБ) — e-library.ru, интегрированной с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ).
4. **Официальный язык конференции:** русский и английский.
5. **Проживание:** участники конференции могут забронировать места в гостиницах г. Томска по предварительному согласованию с оргкомитетом конференции, либо сделать это самостоятельно.
О бронировании гостиницы в Томске через оргкомитет конференции нужно сообщить до 30 сентября 2025 г.

Контакты: тел. +7 (495) 362-70-48 / +7 903-717-90-25, e-mail: ebw2025@mail.ru, сайт: <http://ebw.mpei.ru>

Реклама

Специализированный проект и конференция
по аддитивным технологиям
в промышленности



27-30 ЯНВ
2026
МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»

в рамках выставки:



Международная специализированная
выставка пластмасс и каучуков

RUPLASTICA

Место проведения:

 **КРОКУС ЭКСПО**
Международный выставочный центр

Организатор:


**ЭКСПО
ФЬЮЖН**

16+



Металлообработка. Металлургия

18-я выставка современных технологий, оборудования, материалов для машиностроения, металлообрабатывающей промышленности, подготовительного и литейного производства

23–26 сентября 2025
Пермь

масштабный
специализированный
региональный проект в России



телеграм-
канал

@expometal



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

metal.proexpo.ru



Реклама



21–23 октября 2025
Москва, МВЦ «Крокус Экспо»

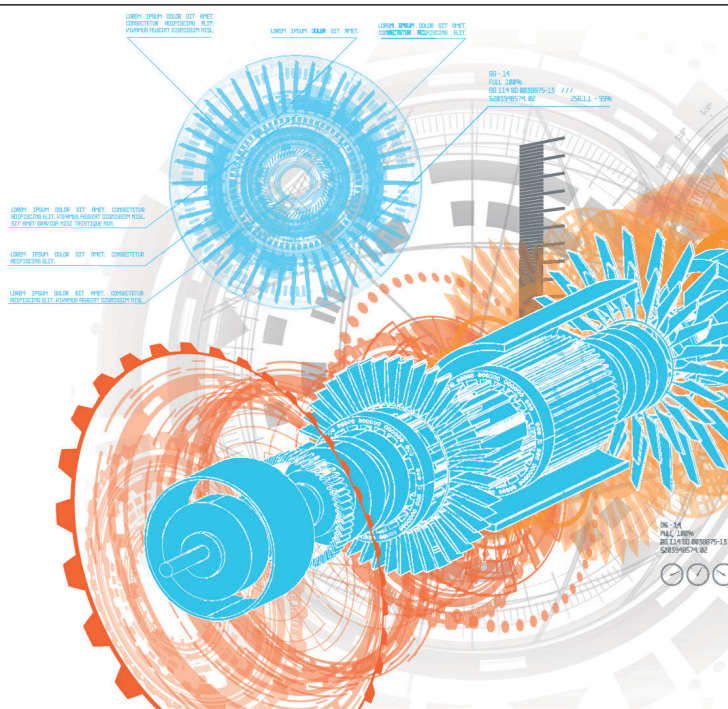
22-я Международная
выставка испытательного
и контрольно-измерительного
оборудования

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+7 (495) 252 11 07
control@mvk.ru



Получите билет
по промокоду: ritm25



Реклама

ПОДПИСНАЯ КАМПАНИЯ — 2025



Ведущее отраслевое
периодическое
издание в сегменте
металлообработки



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

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

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



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

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



При поддержке:



Минпромторг
России



11-14 ноября 2025



МЕТАЛЛ

31-я Международная промышленная выставка

ЭКСПО 2025



Оборудование и технологии
для металлургии
и металлообработки
МеталлургМаш'2025



Металлопродукция
и металлоконструкции
для строительной отрасли
МеталлСтройФорум'2025



Транспортные
и логистические услуги
для предприятий ГМК
МеталлТрансЛогистик'2025

Генеральный
информационный партнер:



Металлоснабжение и сбыт

12+

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

www.metal-expo.ru



НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТАЛЛО — ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ФОРУМ 2025



NMF
EXPO

ГЛАВНАЯ ОСЕННЯЯ ВЫСТАВКА ПО МЕТАЛЛО- ОБРАБОТКЕ

07 - 10

ОКТАБРЯ 2025

МОСКВА
КРОКУС ЭКСПО

ОРГАНИЗАТОР ВЫСТАВКИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ СОЮЗ
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ
ОБОРУДОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТА
ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР

РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ЗАБРОНИРУЙТЕ
ЛУЧШЕЕ МЕСТО
СЕЙЧАС

