

3D – печать то ли сегодня, то ли завтра

Академик Олег Фиговский

С тех пор как Чак Халл в 1984 году обнаружил термин SLA и создал свою первую чашечку, используя технологию 3D-печати, эта отрасль получила феноменальное развитие. Оборудование стало более доступным — сейчас вы можете заказать 3D-принтер не выходя из дома. Улучшилось качество печати, увеличилась её скорость, появились новые методы и материалы, и сейчас эта технология находит применение в разных областях. Данные прогноза увеличения рынка 3D печати более, чем обнадеживающие:

1. Ожидается, что объем мирового рынка промышленной 3D-печати вырастет с \$3,83 млрд в 2023 году до \$16,93 млрд к 2030 году при среднегодовом темпе роста 23,6%.

2. В 2023 году объем мирового рынка промышленного аддитивного производства достиг примерно 13 миллиардов долларов. По оценкам, в период с 2024 по 2032 год темпы роста рынка составят 20,9%.

3. Объем мирового рынка аддитивного производства оценивался в 15 млрд долларов США в 2022 году и, как ожидается, достигнет \$95,62 млрд к 2032 г., демонстрируя темпы роста на уровне 20,4% в течение прогнозного периода с 2023 по 2032 год.

4. В 2021 году объем рынка технологий 3D-печати полимерами составил 4,6 млрд долларов США. К 2030 г. эта цифра, вероятно, превысит \$34 млрд при темпе роста 24,8%. В 2022 году доходы [рынка 3D-печати металлами](#) достигли 2,85 млрд долларов, что соответствует росту на 26% в годовом исчислении. Ожидаемые показатели по 2023-му – \$3,81 млрд. Если рост продолжится такими темпами, к 2032 объем рынка может достичь \$40 млрд.

За последние месяцы 2024 года в мире были сделаны новые разработки, о которых мы и расскажем в данном обзоре. Согласно исследованиям, эта технология применяется в ядерной энергетике в основном для производства оборудования для ядерной энергетике, поскольку она быстрее, гибче и дешевле, чем традиционные процессы. И этот последний момент особенно важен, потому что в настоящее время прибыль атомных электростанций продолжает падать из-за падения оптовых цен на электроэнергию, а 3D-печать может помочь им сократить расходы. Компания Siemens установила металлическое рабочее колесо для пожарных насосов на АЭС Крко в Словении. Китайский научно-исследовательский и проектный институт ядерной энергетике и Southern Additive Technology Co., Ltd. совместно инициировали проект по аддитивному производству корпусов высокого давления реактора ACP100 (3D-печать). Использование крупномасштабной технологии электромуфтовой 3D-печати позволяет точно реализовать интегральное литье крупногабаритных металлических компонентов со сложной структурой, открывая новый путь для высококачественного, высокоэффективного и недорогого производства оборудования для ядерной энергетике. После технической оценки характеристики изделий, напечатанных на 3D-принтере, могут быть выше или даже частично лучше, чем у кованых изделий. Производство ядерных топливных элементов - это высокоточное производство, сочетающее дизайн и обработку. Он имеет сложную структуру и требует перекрестного взаимодействия нескольких процессов. Компания China Nuclear North Nuclear Fuel Element Co., Ltd. (завод 202) использовала технологию 3D-печати с селективным лазерным плавлением для изготовления нижней части трубы автономного топливного прототипа CAP1400.

Инновационный метод был разработан Стратегическим и технологическим центром ВВС США, занимающимся нетрадиционными способами обеспечения тактических потребностей военных. За его разработку отвечала команда из трех человек, которая решала задачу быстрой адаптации небольших БПЛА к различным условиям и запросам военной кампании. На изготовление шести дронов по новой технологии ушло 22,5 часа. «Малые БПЛА становятся боееспособным элементом новой войны, — сказал полковник Дастин Томас, член команды разработчиков новой технологии. — Однако, ВВС не могут быстро менять эти летательные аппараты на основании особенностей угрозы или оперативно использовать новые технологии, чтобы обеспечивать потребности определенных миссий. Наш проект призван найти способ изменить это».

Для ускорения создания БПЛА широкого спектра действия военные инженеры воспользовались программой автоматизации, разработанной аэрокосмической компанией Titan Dynamics. Она проектирует корпус аппарата, учитывая параметры массы, энергии, габаритов и грузоподъемности, всего за 10 минут. Созданный программой код становится инструкцией для печати дронов на 3D-принтере. После этого БПЛА остается только собрать. Технология была впервые протестирована с некоторым успехом этой весной в Юго-Восточной Азии. После доработки ее показали на авиабазе Эглин во Флориде в рамках финальных полевых испытаний, где инженерам пришлось быстро изготовить, собрать и запустить шесть автономных БПЛА для различных задач. В частности, одним из дронов стал дрон-курьер массой 3,5 кг для доставки припасов на территорию противника. «Исторически ВВС относительно медленно адаптируют и тестируют эти технологии, и Эглин пытается изменить эту парадигму», — сказал полковник Томас.

Учёные использовали живые клетки для новых материалов, которые могут расти, развиваться и реагировать на окружающую среду. Управляя такими клетками, появляется возможность вырастить их по заданной форме. Клетками печатали по шаблону, биочернилами, с помощью 3D-принтера. В последнее время исследователи разрабатывают живые инженерные материалы, полагаясь в основном на клетки бактерий и грибов в качестве живого компонента. Но у клеток растений — свои уникальные свойства, так что их также использовали для создания так называемых инженерных растительных живых материалов (EPLM). Однако материалы на основе растительных клеток до последнего времени представляли собой упрощённую версию структурно и ограниченную — функционально. Цзыи Ю, Чжэнгао Ди и другие специалисты [задали целью](#) разработать EPLM сложной формы, с генетически модифицированными растительными клетками, чьё дальнейшее развитие и свойства можно было бы настраивать. Учёные смешали клетки табака с микрочастицами желатина и гидрогеля, содержащими также бактерию *Agrobacterium tumefaciens*. Обычно этот микроорганизм используют для переноса определённых участков ДНК в геномы растений. Затем полученной смесью произвели печать с помощью 3D-принтера по форме — это была плоскость, покрытая избирательным образом другим гелем. Формы в неживом геле представляли собой сетки, снежинки, листья и спирали. Затем напечатанный гидрогель для прочности отверждали специальным синим светом. В течение следующих 48 часов внутри EPLM бактерии переносили ДНК в растущие клетки табака. Затем материалы промывали антибиотиками, чтобы убить бактерии. В следующие недели, по мере роста и деления растительных клеток в фигурках из EPLM, клетки начали вырабатывать белки и цвета по команде от привнесённой ДНК. Добавленная с бактериями ДНК побудила клетки табака производить зелёные светящиеся белки либо, как вариант, беталаины, то есть красные или жёлтые растительные пигменты, которые ценятся как натуральные красители и пищевые добавки. Через 24 дня цвета стали отчётливыми.

Для этого в форме листка печатали двумя разными биочернилами. Один тип материала выработал красный пигмент вдоль «прожилки», а другой — жёлтый краситель на остальной площади листка. Таким образом исследователи показали, что их технология позволяет создавать сложные, пространственно контролируемые и многофункциональные структуры. Итак, разработанные EPLM сочетают признаки живых организмов со стабильностью и долговечностью неживых веществ. Создатели надеются, что новинка найдёт применение на неких клеточных фабриках для производства растительных препаратов, лекарственных белков или даже для экологичного строительства. Для этого в форме листка печатали двумя разными биочернилами. Один тип материала выработал красный пигмент вдоль «прожилки», а другой — жёлтый краситель на остальной площади листка. Таким образом исследователи показали, что их технология позволяет создавать сложные, пространственно контролируемые и многофункциональные структуры.

Итак, разработанные EPLM сочетают признаки живых организмов со стабильностью и долговечностью неживых веществ. Создатели надеются, что новинка найдёт применение на неких клеточных фабриках для производства растительных препаратов, лекарственных белков или даже для экологичного строительства.

Строительство небольшого однокомнатного дома, на которое обычно уходит около месяца, принтер завершит меньше, чем за четыре дня, заявляют разработчики. Университет штата Мэн побил собственный мировой рекорд, создав еще один гигантский полимерный 3D-принтер. Factory of the Future 1.0 (FoF 1.0), как и его предшественник, предназначен для экологичного строительства домов в штате, который страдает от дефицита рабочих. В 2019 году инженеры из Университета штата Мэн попали в книгу рекордов Гиннеса за создание самого крупного полимерного 3D-принтера, который напечатал дом площадью 56 м² из перерабатываемых материалов. FoF 1.0 печатает в четыре раза быстрее: аналогичный дом он напечатает примерно за 80 часов.

Принтер может печатать из термопластичного полимера объекты размером до 30 м в длину, 10 м в ширину и 5,5 метров в высоту, потребляя 220 кг материала в час. Разработчики отмечают, что кроме скорости строительства технология отличается меньшими выбросами — это важно для отрасли, которая производит до 37% парниковых газов. Готовые объекты можно переработать, добавляя их в измельчитель и расплавить, материалы можно использовать повторно. Применение принтера не ограничивается строительством жилья, можно также создавать крупные детали для промышленных станков, кораблей, электростанций.

Инженеры из США разработали инновационный метод 3D-печати VIPS-3DP, обещающий сделать аддитивное производство дешевле. Технология позволяет изготавливать объекты из одного или нескольких материалов, в том числе, из металлов, экономичнее и проще, по сравнению с современными аналогами. Разработчики — специалисты Университета Флориды — назвали свой изобретение «индуцированной паром трехмерной печатью с разделением фаз». Она основана на особых, экологически чистых полимерных «чернилах», в которые могут быть добавлены частицы металла или керамики. При печати в зону печати выделяется нехарактерный пар, от которого жидкий компонент чернил застывает, превращаясь в твердое тело. Процесс этот позволяет инженерам печатать объекты из различных видов материалов с разным, заданным уровнем пористости. Созданные таким методом изделия будут востребованы в медицине и аэрокосмической промышленности.

«Это многообещающий способ производства металлических изделий, требующих различного уровня пористости, — сказал Марк Сол-Грас, один из исследователей. — Хороший пример — искусственная костная ткань. Мы можем напечатать имплант с подходящей пористостью, чтобы он мог образовывать одно целое с расположенными вокруг человеческими клетками». Помимо того, что метод VIPS-3DP требует меньше вложений в инфраструктуру, он расходует меньше электроэнергии и не использует материалы, загрязняющие окружающую среду. Изобретатели уже запатентовали свою технологию и получили финансирование от федеральных агентств, в частности, Национального научного фонда и Министерства энергетики США. Молодая американская компания Urso Major, разработчик ракетных двигателей для ракет малого и среднего класса, подписала контракт с ВМС США на проектирование, изготовление и огневое испытание твердотельного РД, созданного методом аддитивной печати. В случае успеха двигатель будет использоваться для производства зенитных управляемых ракет семейства «Стандарт» класса «корабль — воздух» средней и большой дальности.

В рамках программы NEST ВМС США намерены разработать новый ракетный двигатель Mk 104 для ракет типа «Стандарт-2», «3» и «6». Этот двигатель славится долгим и трудоемким процессом производства, который давно требует упрощения. На фоне дефицита местных поставщиков Штаты испытывают нехватку в твердотельных ракетных двигателях, и аддитивная печать могла бы стать решением этой проблемы. «Мы гордимся поддержкой ВМС и признанием Urso Major доверенным партнером для разработки следующего поколения твердотельных ракетных двигателей Mk 104, — сказал Джо Лауренти, основатель компании. — Наш новый подход к производству твердотельных РД позволяет быстро производить высокоэффективные двигатели, увеличив объемы и снизив расходы на производство, чтобы восполнить критически важные потребности государства».

Инновационная аддитивная технология Urso Major была представлена в ноябре прошлого года. Метод, получивший название Lunx, в честь созвездия Рыси, сочетает трехмерную печать с универсальной инструментальной системой, готовой выпускать твердотельные РД без дорогих и длительных замен инструментов и переобучения системы. «В результате получился адаптивный технологический процесс, предназначенный для массового производства систем, быстрого переключения между моделями, оперативного выпуска надежных твердотельных РД в большом объеме при возможности сотрудничества с отраслевыми партнерами по вопросам энергетики», — пояснил Лауренти.

Твердотельные РД с двигателями производства Urso Major предназначены для военного флота, в частности, зенитных управляемых ракет «Стандарт-2» класса «корабль — воздух», баллистических ракет «Стандарт-3» и ракет увеличенной дальности «Стандарт-6» с активным самонаведением. По мнению Агентства противоракетной обороны США, это единственный летательный аппарат, способный перехватить маневренные гиперзвуковые ракеты. В 2022 году Urso Major заявила о себе, представив два вида двигателей на замену российских РД-180 и РД-181, которые использовались на космических ракетах-носителях тяжелого класса.

Исследователи из Массачусетского технологического института (MIT) разработали 3D-принтер, который может самостоятельно определять параметры печати для неизвестного материала. Это новшество позволяет использовать возобновляемые или перерабатываемые материалы, которые трудно характеризовать. Принтер модифицирован так, что может измерять плотность, давление и поток материала, а затем, основываясь на этих данных, автоматически генерировать параметры печати. Метод уже успешно протестировали на нескольких уникальных материалах. Группа исследователей из MIT, Национального института стандартов и технологии (NIST) США и Национального центра научных исследований в Греции представила новый подход к 3D-печати. Обычно для каждого нового материала параметры печати, которых около 100, приходится настраивать вручную. Это затрудняет использование устойчивых и переработанных материалов, потому что легче выбросить остатки нескольких полимеров, чем смешать их вместе и потратить много времени на настройку принтера.

Новый 3D-принтер сам настраивает параметры, поэтому может работать с любым материалом, в том числе смешанным. Технология основана на модификации экструдера — ключевого компонента 3D-принтера, который отвечает за нанесение материала. К нему добавили несколько приборов. Тензодатчик измеряет давление, оказываемое на печатную нить полимеров, а датчик скорости подачи измеряет толщину нити и фактическую скорость, с которой она проходит через принтер. Эти измерения можно использовать для расчета 2 наиболее важных, но трудно определяемых параметров печати: скорости потока и температуры. Почти половина всех настроек печати в стандартном ПО связана с этими двумя параметрами.

Полученные данные затем обрабатываются математической функцией в течение 20 минут, что в свою очередь позволяет определить оптимальные параметры печати. Затем их можно ввести в готовое программное обеспечение. Таким образом можно получить примерно 50 параметров из 100, которые обычно настраивают вручную. В экспериментах с 6 различными материалами, некоторые из которых были биологическими, метод автоматически генерировал жизнеспособные параметры. Их неизменно использовали для успешной печати сложных объектов.

Метод масс-спектрометрии позволяет исследовать химический состав веществ, в том числе, в медицинских целях. Стоимость этих аппаратов измеряется в десятках миллионов рублей, так что обычно они имеются только в лабораториях, куда посылают образцы на анализ. Американские инженеры напечатали важный компонент масс-спектрометра — миниатюрный ионизатор. Если технология окажется работоспособной, она позволит обеспечить этим аппаратом всех, кто в нем нуждается. «Наша мечта — сделать масс-спектрометрию доступной. Каждый, кто болен хроническим заболеванием, требующим постоянного

наблюдения, сможет иметь аппарат размером с обувную коробку, чтобы проводить анализы дома. Для этого оборудование должно стать недорогим», — сказал Луис Фернандо Веаскес-Гарсия, старший специалист из Массачусетского технологического института.

Он и его команда сделали большой шаг в этом направлении, напечатав дешевый ионизатор, который, к тому же, работает в два раза эффективнее современных аналогов. Устройством длиной в пару сантиметров можно печатать палочками и интегрировать в масс-спектрометры при помощи методов автоматизированной сборки. Такая технология дешевле, чем производство обычных ионизаторов, которые часто требуют ручного труда, наличия чистой комнаты и дорогого оборудования для подключения к масс-спектрометрам. Помимо этого, 3D-печать ионизатора позволяет с высокой точностью контролировать форму устройства и использовать специальные материалы, повышающие производительность.

Излучатель ионизатора изготовлен из металла методом впрыска связующего материала (*binder jetting*), который отличается высокой точностью и эффективностью. Порошкообразный металл вперемешку с полимерным клеем распыливается из сопла, создавая объект слой за слоем. Затем его нагревают в печи для испарения клея. Затем излучатели подвергают электрополированию и покрывают слоем оксида цинка, сообщая ему нужный уровень пористости для фильтрации и переноса жидких образцов. Оптимизация позволила повысить напряжение на 24%, по сравнению с современными версиями. Это выражается в два с лишним раза более высоком отношении «сигнал — шум». В ближайших планах команды — создать прототип, объединяющий ионизатор с фильтром для масс-спектрометра, который они напечатали недавно.

Исследователи [создают](#) трансплантаты, копирующие анатомию и биомеханические свойства человеческого уха. Исследователи из Корнелльского университета создали искусственное человеческое ухо, которое «выглядит и ощущается естественно». Трансплантаты, напечатанные на 3D-принтере, подойдут для тех, кто родился с врожденными аномалиями уха или повредил ушную раковину из-за травмы. Ученые использовали стерилизованный хрящ животного происхождения, обработанный для удаления всего, что могло вызвать иммунное отторжение. Его загрузили в пластиковые каркасы в форме ушей. Техника 3D-печати позволила создать каркасы с размерами и кривыми, основанными на ушах человека, нуждающегося в реконструкции. Небольшие кусочки хряща действовали как внутренние укрепления, стимулируя образование новых тканей внутри каркаса. Как и арматура, он укрепляет трансплантат и предотвращает его сжатие. В течение нескольких месяцев структура превратилась в содержащую хрящ ткань, которая точно повторяла анатомические особенности уха, включая завиток, противозавиток и полость ушной раковины.

Тестирование образца подтвердило, что реплики обладали гибкостью и эластичностью, подобными ушному хрящу человека. Единственный недостаток — искусственный материал не был таким прочным, как натуральный хрящ. Чтобы решить эту проблему, ученые планируют добавить в смесь для печати хондроциты из небольшого кусочка хряща. Эти клетки будут откладывать эластичные белки, которые делают ушной хрящ прочным. Реконструкция помогает устранить аномалию наружного уха, сформировавшуюся при рождении или из-за травмы. Традиционные методы изготовления нового уха часто включают в себя забор хряща из ребер ребенка — процедура, которая может быть весьма инвазивной и болезненной. Кроме того, этот метод может вызвать рубцевание в месте иссечения хряща.

Техасская компания Ison, которая занимается производством 3D-принтеров, показала новую модель Phoenix за работой. Она построила двухэтажный дом в городе Остин. Новый принтер легко настраивать и перемещать с места на место, он требует меньше операторов и быстро справляется с масштабными работами. Его использование вдвое дешевле, чем у Vulcan, предыдущего поколения принтеров Ison. Phoenix состоит из большого свободно движущегося шарнирного рычага на вращающемся основании. Его создавали как более мобильный и автономный аппарат. Предыдущая модель, Vulcan, имела зафиксированные колонны и поперечины. При создании 3D-принтера с головкой, прикрепленной к концу поворотного рычага, труднее всего было обеспечить точность. Для строительства жилых помещений она необходима. Ison сумела разработать систему стабилизации, которая предотвращает раскачивание выталкивающего сопла на конце рычага. Она не только более мобильна, но и может печатать крупные многоэтажные здания.

По данным компании, Phoenix вдвое снижает затраты по сравнению с Vulcan. Использование системы будет стоить около \$25 за квадратный фут (около 0,09 м²) для стеновых систем и \$80 долларов за квадратный фут для фундамента и крыши. Это позволит сэкономить около \$25 тысяч на строительстве типичного американского дома. Руководство Ison считает, что будущее строительства и проектирование принадлежит искусственному интеллекту. Поэтому она выпустила ИИ-систему Vitruvius, которая позволит быстро получить проект дома, который можно напечатать на 3D-принтере. Она поможет любому спроектировать дом и создать планы этажей, визуализацию интерьера и фасада за считанные минуты, исходя из собственных желаний и бюджета. Ison утверждает, что к концу года система Vitruvius сможет предоставлять полную строительную документацию и проекты, готовые к получению разрешений, а также бюджеты и графики строительства.

Ison — американский лидер 3D-строительства с 2018 года, когда компания представила свой первый принтер. С тех пор Vulcan напечатал 130 домов в США и Мексике. Она планирует создать полностью напечатанный район в своём родном штате Техас. Кроме того, компания сотрудничает с NASA. Она создаёт прототипы базы для Марса и работает над 3D-инфраструктурой на Луне, включая посадочные площадки, дороги и жилые помещения. Их возведут в рамках проекта «Олимп».

Американские материаловеды использовали 3D-принтер для печати деревянных конструкций из смеси целлюлозы и лигнина. После горячего прессования при 180 градусах по Цельсию брусок из такого материала оказался схожим с натуральной древесиной из бальзы по визуальным и механическим свойствам. В процессе обработки древесины для изготовления конструкций ненужные части обтачивают или вырезают для придания нужной формы, что приводит к образованию колоссального количества опилок. Опилки, хоть и находят применение при изготовлении древесно-стружечных плит, все еще являются нерациональной тратой древесины.

В современном мире 3D-печать коренным образом изменила подходы к изготовлению конструкций: с его помощью можно печатать разнообразные изделия от дамасской стали и перерабатываемого углеродного транзистора до ушной раковины и десерта из семи ингредиентов. Группа материаловедов под руководством Мухаммада Рахмана (Muhammad M. Rahman) из университета Райса и Ок-Риджской национальной лаборатории разработали состав для 3D-печати материала, по свойствам и составу похожим на древесину. В отличие от других работ, они решили отказаться от добавок и органических растворителей и использовать водный раствор лигнина из твердых пород дерева и смеси нановолокон и нанокристаллов целлюлозы.

Технологии 3D-печати помогают снизить расходы и время на производство, сокращают отходы. И в то же время многим материалам, которые используются в аддитивных технологиях, недостает прочности. Для решения этой проблемы специалисты из США разработали новый процесс печати: изделие из неметаллического материала получается прочнее и в пять раз быстрее, чем у традиционных 3D-принтеров. Принцип жидкой 3D-печати заключается в послойном отверждении жидкого фоточувствительного полиуретана под действием света. Чтобы перейти к печати следующего слоя, платформа с моделью поднимается, постепенно обретая заданную форму. Проблема в том, что застывающий, еще липкий полимер нужно перемещать очень аккуратно, что существенно замедляет процесс печати. Инженеры из Сандийской национальной лаборатории сравнили этот процесс с выпечкой.

«После того как вы испекли печенье, ему надо дать остыть. Если вы попытаетесь оторвать горячее печенье от противня, оно будет слишком мягким и сломается. То же происходит с 3D-принтером, если печатать слои быстро. Модель окажется кривой», — пояснила Леа Эпплханс, участница проекта. Команда разработала инновационный метод охлаждения материала после печати при

помощи двух источников света: синего и ультрафиолетового. На эту идею их натолкнули методы двухволновой печати с полимеризацией акрила и непрерывной жидкой печати (CLIP). Печать идет как обычно, слой за слоем, но второй источник света предотвращает полимеризацию на дне кюветы, чтобы модель не прилипла. Следовательно, деталь можно перемещать быстрее. Вместо акрила инженеры взяли дициклопентадиен, который применяется при производстве красок и огнетушителей. Для того чтобы он лучше полимеризовался, они изменили базовые компоненты материала с акриловых на олефиновые. Это позволило повысить прочность моделей. Главная цель исследователей — расширить для инженеров и дизайнеров диапазон используемых полимеров, чтобы им проще было выбирать подходящий материал для своих проектов.

Компании PERI 3D Construction и KRAUSGRUPPE меньше, чем за шесть дней возвели центр обработки данных Wave House в Гейдельберге (Германия). Новое здание стало крупнейшим строением в Европе, напечатанным на 3D-принтере. Его площадь составляет 600 квадратных метров.

В немецком городе Люнене [начинается](#) строительство социального жилья с использованием 3D-печати. Проект предусматривает возведение трёхэтажных домов с двумя квартирами на каждом этаже площадью от 61 до 81 кв. м. Первые два этажа будут напечатаны на 3D-принтере COBOD BOD 2, а третий этаж будет надстроен из дерева. Процесс печати одного дома займёт около 100 часов. О масштабном проекте объявил производитель 3D-принтеров COBOD. Его реализует компания Peri 3D Construction, которая также знаменита строительством центра обработки данных для KRAUSGRUPPE. COBOD BOD 2 напечатает первые два этажа по чертежам за 100 часов, послышно укладывая смесь, похожую на цемент, из роботизированного сопла. Ранее этот принтер создал сейсмостойкий дом за 26 часов.

Однако верхний этаж создадут и установят люди-строители. В экстерьере первых двух этажей останется оригинальная бетонная конструкция с характерным ребристым внешним видом стен, а деревянный этаж отделают фасадной обшивкой. Помимо деревянного пола и крыши, строители также установят окна, проводку, сантехнику и все остальное. Фабиан Мейер-Брётц, управляющий директор Peri 3D Construction, считает, что технология уже пригодна для широкого использования в строительстве. Он ожидает, что в ближайшие годы 3D-печать домов станет популярной в Германии.

Цементная компания Progreso [завершила](#) строительство первого в Гватемале здания, напечатанного на 3D-принтере. Сам процесс занял всего 26 часов, но вместе с обустройством дома инженерными системами работа растянулась на неделю. Прототип дома был спроектирован так, чтобы противостоять местной сейсмической активности. Проект сочетает современные методы строительства с помощью 3D-печати и местные традиции, реализованные в соломенной крыше. Дом площадью 49 кв. метров был построен с использованием принтера COBOD BOD2, который также применялся при строительстве первого в Европе двухэтажного напечатанного дома. В данном случае 3D-принтер также пошагово создавал оболочку здания, экструдируя цементоподобную смесь по чертежу.

Процесс печати занял всего 26 часов, хотя растянулся на семь дней. Как только бетонный каркас был завершен, строители добавили окна, двери, проводку и сантехнику. Они установили крышу из пальмовой соломы, которая является традиционной в этом регионе. Были установлены деревянные рейки, которые также способствуют естественной вентиляции. Упор был сделан на то, чтобы конструкция выдерживала даже сильное землетрясение. 3D-печать позволила создать стены органической формы, которые иначе было намного дороже возвести из бетонных блоков, главного материала строительства в регионе. Крыша из пальмовых листьев используется столетиями в Латинской Америке, поскольку она недорогая, обеспечивает комфортную температуру и хорошо подходит для сейсмических регионов благодаря гибкому и легкому материалу.

Одноэтажный дом имеет простую внутреннюю планировку, в которой напечатанные из бетона стены остаются открытыми — без дополнительной отделки. В здании есть гостиная, небольшая кухня и спальня, которая может быть и кабинетом. Еще одно помещение — ванная комната с санузлом.

Инженеры [использовали](#) метод медленного отверждения для создания роборуки «совсем как у человека». Исследователи из Швейцарской высшей технической школы Цюриха (ETH Zurich) создали самую человеческую роботизированную руку с костями, связками и сухожилиями, изготовленными из различных полимеров. Устройство создано с помощью новой технологии, которая сочетает 3D-печать с лазерным сканером и механизмом обратной связи. 3D-принтеры обычно создают объекты слой за слоем: сопла наносят заданный материал в вязкой форме в каждую точку. После этого под воздействием УФ-лампы каждый слой быстро затвердевает. Предыдущие методы включали устройство, которое соскребало неровности поверхности после каждого отверждения. Это работает только с полиакрилатами. Медленно затвердевающие полимеры, такие как тиолы и эпоксидные смолы, могут заклеить скребок.

Чтобы использовать при печати и медленно отверждающиеся гибкие полимеры, исследователи усовершенствовали 3D-печать, добавив лазерный сканер, который немедленно проверяет каждый напечатанный слой на наличие неровностей поверхности. Механизм обратной связи компенсирует нарушения при печати следующего слоя, вычисляя и корректируя количество печатного материала в реальном времени и с высокой точностью. Для демонстрации возможностей исследователи напечатали роботизированную руку с костями, связками и сухожилиями, изготовленными из разных полимеров. Ее было бы невозможно создать из быстроотверждаемых полиакрилатов, которые традиционно использовали в 3D-печати. Сейчас мы используем тиолоновые полимеры медленного отверждения. Они обладают очень хорошими эластичными свойствами и гораздо быстрее возвращаются в исходное состояние после изгиба, чем полиакрилаты. Это делает тиолоновые полимеры идеальными для изготовления эластичных связок роботизированной руки, — Томас Бухнер, аспирант ETH Zurich и соавтор исследования.

Европейские и сингапурские ученые разработали новый тип систем трехмерной печати. Они позволяют не только производить сложные металлические конструкции из разных металлов, но и управлять их внутренней структурой, придавая прочность — то, что тыщелетиями выполняли кузнецы в процессековки. Это позволит значительно сократить расходы энергии на изготовление металлических изделий, сообщила пресс-служба Кембриджского университета. «Мы выяснили, что лазер можно применять в качестве микроскопического кузнечного молота для обработки металла давлением при работе 3D-принтеров. Этот же лазер можно использовать для повторного плавления металла и релаксации его структуры — это готовит его к структурным изменениям, которые происходят, когда изделие помещают в печь. Мы ожидаем, что этот подход снизит расходы энергии при изготовлении деталей», — заявил ведущий автор работы, доцент Кембриджского университета Маттео Сейта. Как отмечают Сейта и его коллеги, помимо экономии на процессах производства, система позволит создавать конструкции, состоящие из слоев металла с разными свойствами, идеально подобранными для решения конкретных задач. Этот подход, по словам ученых, можно реализовать на любой системе 3D-печати металлами, оснащенной лазером или возможностью его подключения к устройству.

Работой этого лазера управляет специально разработанный алгоритм. Он способен оценивать то, как лазерная обработка порошка из стали или других металлов будет влиять на механические свойства, структуру, пластичность и другие ключевые параметры будущего металлического изделия. Это позволяет задавать свойства металла примерно таким же образом, как это делают металлурги, периодически нагревая изделия, отбивая их кузнечным молотом и охлаждая их. Для этого, как обнаружили физики, достаточно переплавлять при помощи лазера часть слоев изготавливаемых конструкций и сразу же покрывать их новыми слоями порошка из металла, часть которых также впоследствии переплавляется. В результате этого внутри изделия образуются зерна из металла, которые соединяются и приобретают нужные свойства при кратковременном помещении готовой детали в кузнечную печь с относительно низкой температурой. Опираясь на этот подход, ученые изготовили несколько деталей при помощи

созданного ими трехмерного принтера. Последующие механические испытания и анализ структуры этих изделий показали, что они в целом не уступали аналогичным конструкциям из стали, изготовленным традиционным путем. Это говорит о возможности использования систем лазерной 3D-печати для относительно дешевого и эффективного производства высококачественных металлических изделий, подытожили исследователи.

В США начинаются НИОКР, цель которых применение технологий 3D-печати для изготовления оборудования и запасных частей АЭС, а также деталей тепловыделяющих сборок. Но по мнению российского эксперта — замгендиректора ЦНИИТМАШа, директора Института технологии поверхности и наноматериалов Владимира Береговского использовать трехмерную печать целесообразно только для деталей, имеющих сложную форму, к точности изготовления которых предъявляются повышенные требования. Именно такие изделия используются в конструкциях тепловыделяющих сборок и для производства деталей автоматики системы аварийной защиты реактора или оборудования перегрузки ядерного топлива. По его мнению, «услуги по производству деталей для ядерной энергетики методом 3D-печати будут востребованы в России года через три-четыре».
