

DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-2-08

СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**Т. В. Гавриленко^{1,2,a}, Д. В. Горбунов^{2,b}, В. А. Востров^{1,c}**¹ Сургутский филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»,

г. Сургут, Российская Федерация

² Сургутский государственный университет, г. Сургут, Российская Федерация^a ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3243-2751>, ✉ taras.gavrilenko@gmail.com^b ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4420-9343>, gorbunov.dv@mail.ru^c ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1647-4416>, valeriy-v-mail@mail.ru

Аннотация: аддитивные технологии прочно вошли в современное информационное пространство. Значительному количеству людей понятны принципы функционирования данной технологии благодаря тому, что во многих учебных заведениях установлены несложные аддитивные системы (3D-принтеры), а простейшие приборы — 3D-ручки получили широкое распространение среди детей. Популяризаторы науки и техники информируют общество о безграничных перспективах аддитивных технологий и переходе на новый технологический уровень. Однако отрасль аддитивных технологий пока не демонстрирует удовлетворительных темпов развития. В настоящее время технология, имеющая огромный потенциал, не получает должного импульса для массового внедрения. Одной из причин такого состояния данной отрасли является отсутствие механизмов защиты интеллектуальной собственности 3D-моделей для печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии, моделирование, 3D-печать, 3D-модель, искусственный интеллект, блокчейн, смарт-контракты для аддитивных технологий.

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН по теме № FNEF-2024-0001 «Создание и реализация доверенных систем искусственного интеллекта, основанных на новых математических и алгоритмических методах, моделях быстрых вычислений, реализуемых на отечественных вычислительных системах» (1023032100070-3-1.2.1).

Для цитирования: Гавриленко Т. В., Горбунов Д. В., Востров В. А. Состояние и основные проблемы развития аддитивных технологий. *Успехи кибернетики*. 2024;5(2):75–83. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-2-08.

Поступила в редакцию: 21.04.2024.

В окончательном варианте: 02.06.2024.

ADDITIVE TECHNOLOGIES: CURRENT STATUS AND CHALLENGES**T. V. Gavrilenko^{1,2,a}, D. V. Gorbunov^{2,b}, V. A. Vostrov^{1,c}**¹ Surgut Branch of Federal State Institute “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences”, Surgut, Russian Federation² Surgut State University, Surgut, Russian Federation^a ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3243-2751>, ✉ taras.gavrilenko@gmail.com^b ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4420-9343>, gorbunov.dv@mail.ru^c ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1647-4416>, valeriy-v-mail@mail.ru

Abstract: additive technologies firmly occupy the modern information space. Many people understand the principles of this technology because educational institutions widely use simple devices like 3D pens, making the technology accessible even to children. Science and technology communicators inform society about the vast potential and transformative prospects of additive technologies. However, the additive technology industry has not yet shown a satisfactory pace of development. Currently, the technology, despite its immense potential, does not receive the proper impetus for mass adoption. One major reason for this stagnation is the absence of effective tools to protect the intellectual property of 3D printing models.

Keywords: additive technologies, modeling, 3D printing, 3D model, artificial intelligence, blockchain, smart contracts for additive technologies.

Acknowledgements: this study is a part of the FNEF-2024-0001 government order contracted to the Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, project No. 1023032100070-3-1.2.1 Development and Implementation of Trusted Artificial Intelligence Systems Based on new Mathematical Methods and Algorithms, Fast Computing Models for Domestic Computing Systems.

Cite this article: Gavrilenko T. V., Gorbunov D. V., Vostrov V. A. Additive Technologies: Current Status and Challenges. *Russian Journal of Cybernetics*. 2024;5(2):75–83. DOI: 10.51790/2712-9942-2024-5-2-08.

Original article submitted: 21.04.2024.

Revision submitted: 02.06.2024.

Введение

Необходимость развития аддитивных технологий обусловлена их способностью значительно сокращать время от разработки изделия до его выпуска, уменьшать потребление материалов и энергоресурсов, а также возможностью производства изделий с улучшенными свойствами и сложными конструкциями, которые ранее не могли быть произведены из-за технологических ограничений.

Ситуация с развитием аддитивных технологий напоминает эпоху становления автомобилестроения. До появления конвейера Генри Форда автомобили создавались большим количеством энтузиастов — гаражи, мелкие мастерские и даже мануфактуры выпускали автомобили всевозможных конструкций, но все они не могли удовлетворить даже минимальный спрос.

Появление конвейера полностью изменило ситуацию. За очень короткий период автомобиль превратился из диковинного механизма в рабочий инструмент последующей индустриализации. При этом Генри Форд не является изобретателем конвейера как такового, конвейеры существовали и ранее. И совершенно очевидно, что если бы Генри Форд не выстроил эффективное производство на базе конвейера, то это обязательно сделал бы кто-то другой.

Для появления и работы конвейера обязательным условием являлось наличие эффективной инфраструктуры, позволяющей поставлять необходимые энергоресурсы, детали, компоненты и технологии. Генри Форд создал необходимые условия и сумел выстроить первый эффективный конвейер для машиностроения.

Что должно измениться для того, чтобы аддитивные технологии переступили порог точечного развития? Что необходимо сделать, чтобы аддитивные технологии поставить на конвейер?

Массовое появление на рынке принтеров 3D-печати не привело к появлению малых производств деталей различного назначения, как это ожидалось изначально. Существует мнение, что, возможно, технологии пока недостаточно совершенны и для их развития необходимо время. Но, взглянув на информационные сообщения из разных уголков мира, можно увидеть, что технологии шагнули далеко вперед, но при этом пока не стали инструментом массового производства.

Проблемы развития аддитивных технологий

В настоящее время рынок аддитивных технологий сегментирован по направлениям, на нем присутствуют агрегаторы, предоставляющие следующие услуги: 3D-моделирование и последующая печать, продажи моделей на открытом рынке, оцифровка деталей (сканирование объектов в целях создания 3D-моделей).

Однако данный подход имеет ряд недостатков. Анализ баз данных таких агрегаторов показал, что представленные там модели в подавляющем большинстве случаев имеют непроизводственный характер, как правило, они относятся к категориям: игрушки, уменьшенные копии объектов реального мира (статуи, машины, самолеты и др.), бытовые инструменты (рис. 1). Общей чертой всех этих моделей является их самодостаточность, а та область моделей, которая связана с доработкой и совершенствованием станков или самих 3D-принтеров, имеет больше сходства с «клубом любителей», чем с профессиональным сообществом (рис. 1).

Совершенствования и доработки, предлагаемые на таких платформах, осуществляются без каких-либо стандартов, и при этом чрезвычайно высока их вариативность (существуют десятки, а иногда и сотни версий одного и того же модуля). В подавляющем большинстве представленные модели не являются частями какого-то рабочего механизма или системы. Резюмируя изложенное, можно констатировать, что существует множество открытых источников, где можно найти 3D-модели для различных целей, однако, в основном, они непроизводственного назначения, качество моделей может варьироваться, и многие из них являются неполными или содержат ошибки.

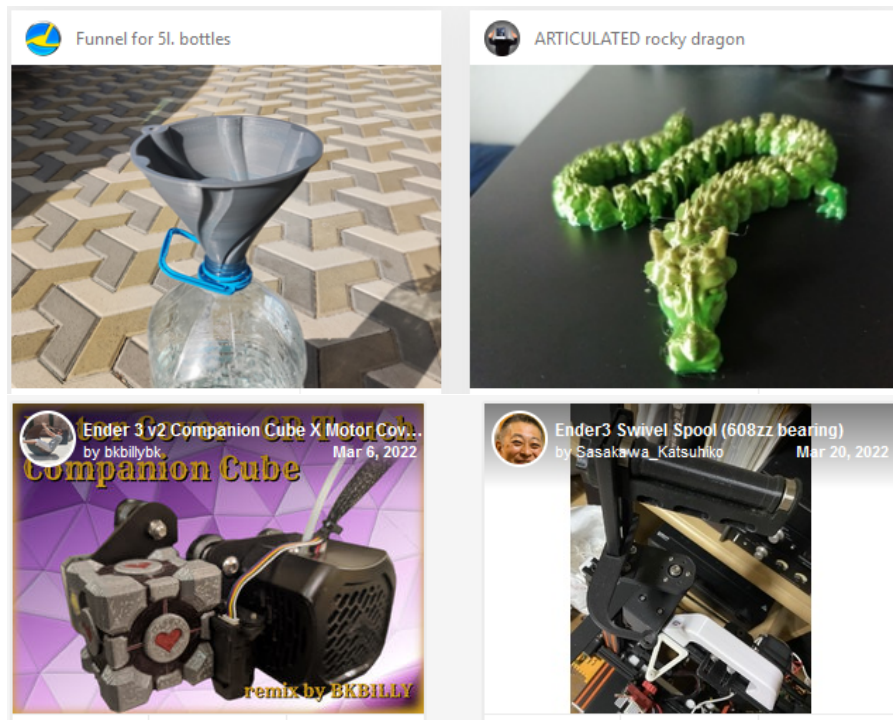


Рис. 1. Примеры моделей для 3D-печати с популярного ресурса *thingiverse.com*

В связи с этим аддитивные технологии преимущественно используются в целях развлечения и обучения, но не для решения промышленных задач, что наглядно демонстрируют данные в таблице.

Таблица

Российский парк 3D-принтеров в разрезе видов материалов, используемых для печати, и направлений применения, ноябрь 2021 года [9]

Вид материала	Подвид	Количество, шт.
Пластик	Промышленные	60
	НИОКР	950
	Учебные	65 990
	Персональные (за искл. 3D-ручек)	16 000
Металл	Промышленные	63
	НИОКР	10
Керамика	Промышленные	2
	НИОКР	5
	Прочие	2
Композиты	НИОКР	10
Цемент	НИОКР	5
Биоматериал	НИОКР	5
Пища	НИОКР	2
Итого		83 104

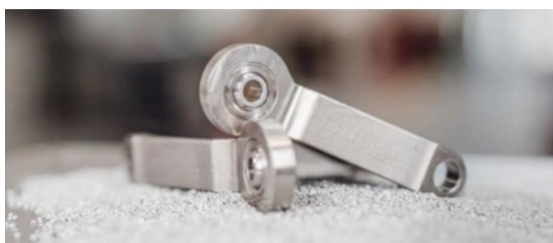
В России количество 3D-принтеров исчисляется десятками тысяч, однако большинство из них имеет непромышленное назначение.

Вместе с тем на протяжении многих лет ведется работа над созданием адекватных и высококачественных цифровых двойников реальных объектов — 3D-моделей, но они не попадают в массовое

пользование и доступны только узкому кругу специалистов.

Опыт последних лет показывает, что потенциал применения аддитивных технологий огромен.

Так, например, в июне 2022 года поставщик авиационных запчастей Premium AEROTEC разработал и изготовил металлический компонент для Lufthansa Technik. Деталь, выполненная из титана и называемая A-Link, используется в системе защиты от обледенения двигателя IAE-V2500. В 2022 году Агентство авиационной безопасности Европейского Союза официально сертифицировало деталь A-Link [11] (рис. 2).



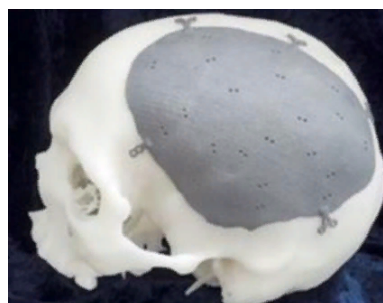
Титановый A-Link, напечатанный на 3D-принтере



Форсунка для авиадвигателя, напечатана на 3D-принтере



Подошва спортивной обуви популярного бренда, напечатана на 3D-принтере



Персонализированный титановый черепной имплантат, напечатанный на 3D-принтере

Рис. 2. Примеры изделий, изготовленных на основе аддитивных технологий [11–13]

В российской промышленности применение аддитивных технологий имеет следующее распределение (рис. 3).

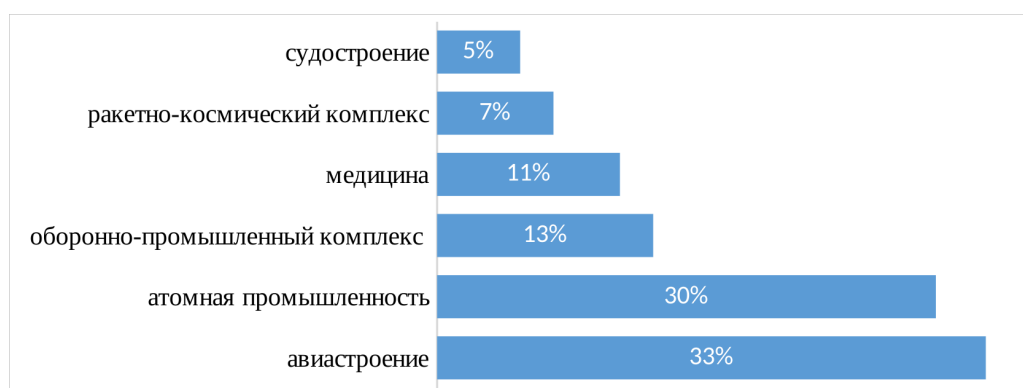


Рис. 3. Основные потребители аддитивного оборудования в РФ [10]

Распространение аддитивных технологий в мировой промышленности представлено на рисунке 4.

Представленные на рисунках 2, 3 и 4 сведения наглядно демонстрируют наличие широчайшего спектра сфер производства, где возможно применение аддитивных технологий, и высокий потенциал их развития в нашей стране при условии устранения сдерживающих факторов, одним из которых является ограниченность доступа к актуальным, потенциально востребованным и качественным



Рис. 4. Распространение аддитивного оборудования в мировой промышленности [11]

3D-моделям.

Необходимо отметить, что некоторые компании предлагают библиотеки 3D-моделей, которые можно использовать для аддитивных технологий. Например, GrabCAD предлагает библиотеку 3D-моделей для различных отраслей, включая автомобильную промышленность и медицину, однако использование этих библиотек является дорогостоящим. Также сдерживающим фактором являются санкционные ограничения, которые существенно осложняют приобретение как материалов и оборудования, так и объектов интеллектуальной собственности во многих зарубежных странах.

Одним из путей решения обозначенной проблемы является использование собственных моделей. В настоящее время накоплен большой опыт проектирования и адаптации объектов реального мира в цифровое пространство, но представители малого бизнеса и энтузиасты-одиночки не имеют доступа к базам данных 3D-моделей реальных объектов, деталей различного оборудования, автозапчастей, инструментов, и т. п. Также отсутствует организованный доступ к технологиям компоновки и сборки 3D-моделей, позволяющим подготовить и создать объекты в доступных им условиях по чертежам и инструкциям, предоставленным конструкторами, проектировщиками и производителями.

Таким образом, с одной стороны, существует множество компаний, обладающих аддитивным оборудованием, но не всегда имеющих возможность использовать это оборудование максимально эффективно. С другой стороны, существует огромное количество производителей различных товаров (от игрушек до автомобилей), которые имеют цифровые копии своей продукции. При этом одни производители не могут занять достойную долю рынка ввиду массы ограничений, а другие даже не думают о возможности извлечения прибыли из находящихся у них в наличии цифровых двойников — 3D-моделей. Проблема массового вывода на рынок цифровых двойников кроется в отсутствии механизма обеспечения взаимодействия вышеперечисленных участников рынка [1–3].

Другой немаловажной проблемой развития аддитивных технологий является сертификация оборудования [6–8]. Отсутствие соответствующих документов может привести к негативным последствиям. В соответствии с главой 14 КоАП РФ наказания предусмотрены и за отсутствие разрешительных документов, и за использование просроченных сертификатов. Также могут быть выписаны штрафы за незаконное использование маркировки ЕАС на упаковке товара и превышение объемов партии принтеров. Размер штрафа достигает 1 млн рублей, работа фирмы может быть приостановлена на срок до 90 дней, а товары — конфискованы. По разным источникам, стоимость сертификации 3D-принтеров варьируется в пределах 150 000 рублей. Ситуация с сертификацией осложнена и тем, что любое изменение в конструкции 3D-принтера может привести к необходимости проводить сертификацию повторно. В этой связи стоимость принтеров становится достаточно высокой для рядового пользователя технологии. Пример стоимости 3D-принтеров среднего класса представлен на рисунке 5.

Потенциал развития аддитивных технологий

Согласно целевому сценарию стратегии развития рынка аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 14 июля 2021 г. № 1913-р, объем рынка в предстоящие пять лет должен вырасти почти вдвое.



Рис. 5. Пример ценовой политики розничных продаж [14]

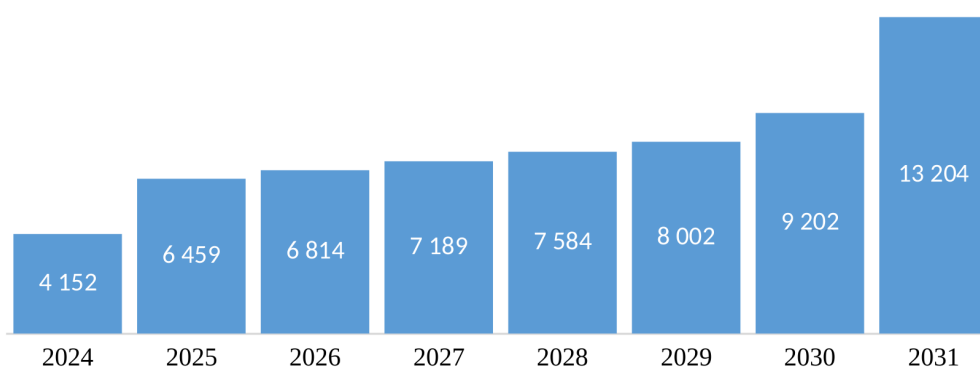


Рис. 6. Прогноз объема российского рынка аддитивных технологий до 2031 года, млрд руб. [10]

Указанные цифры, а также принятие правительством РФ стратегии развития аддитивных технологий на период до 2030 года являются дополнительным свидетельством наличия у данной технологии значительного потенциала развития.

Внедрение аддитивных технологий способствует снижению транспортных расходов, так как производство может быть размещено ближе к конечному потребителю, минимизируя необходимость в длинных логистических цепочках. Это не только ускоряет доставку, но и снижает углеродный след компании, повышая ее экологичность.

Кроме того, аддитивные технологии способствуют кастомизации продуктов без значительного увеличения стоимости. Это позволяет перейти на новый уровень персонализированных решений в сфере здравоохранения, моды, авиастроения и многих других отраслей, давая производителям возможность предлагать изделия, настроенные под конкретные потребности клиентов, по ценам, сравнимым с массовым производством. Такой подход повышает удовлетворенность клиентов, одновременно увеличивая потенциальную прибыль.

Аддитивные технологии также открывают новые возможности в области ремонта и восстановления изделий. Способность точно воссоздавать сложные части позволяет продлить жизнь изделий, что экономически выгоднее производства новых и способствует сокращению отходов и рациональному использованию ресурсов.

Также аддитивные технологии способствуют росту экономической эффективности бизнеса за счет возможности снижения затрат на ремонт. За счет расширения применения аддитивных технологий в сфере изготовления запасных частей и ремонта деталей силами малого бизнеса по лицензионным 3D-моделям и технологиям от производителя возможно снижение нагрузки на компанию производителя и направление высвободившегося производственного потенциала предприятия на совершенство-

вание и развитие компании. При этом потребитель может получить снижение расходов и сокращение сроков ожидания заказанной детали.

Таким образом, развитие рынка 3D-моделей с возможностью контроля количества распечатанных копий может повлечь за собой значительное расширение применения аддитивных технологий в экономике страны, а массовое распространение 3D-принтеров способно расширять потенциал данного направления [4, 5].

Также необходимо отметить, что 3D-принтеры существенно упрощают задачи прототипирования и проведения исследований. Доступ к большой базе данных 3D-моделей различного уровня, как от крупных компаний-производителей, так и от энтузиастов, формирует возможность не создавать новые промежуточные детали, а приобрести готовую 3D-модель с ограниченным числом копий.

Еще одним ключевым направлением развития аддитивных технологий является автоматизированный ремонт изделий, в том числе с применением технологий машинного зрения и обучения — искусственного интеллекта (ИИ) [10]. Использование ИИ возможно в ходе анализа свойств различных материалов для создания более прочных и долговечных изделий и определения, какие из материалов лучше всего подходят для изделия, обладающего конкретными потребительскими качествами.

ИИ может использоваться для автоматизации процесса создания 3D-моделей, а также для улучшения их качества и точности. Алгоритмы машинного обучения способны анализировать сложные наборы данных и эффективно оптимизировать проект с учетом расчета оптимальных конструктивных особенностей деталей.

Кроме того, ИИ может быть интегрирован в процесс управления качеством производства на базе аддитивных технологий. Системы компьютерного зрения, обученные распознавать дефекты печати, смогут непрерывно контролировать процесс 3D-печати и в режиме реального времени осуществлять корректировку. Это поможет повысить качество конечного продукта и снизить издержки, связанные с браком.

ИИ также может играть важную роль в ускорении исследований и разработок в области новых материалов для аддитивного производства. Использование алгоритмов машинного обучения для моделирования свойств материалов и прогнозирования их поведения в процессе печати может значительно сократить время и затраты, связанные с традиционными экспериментальными методами.

В целом, использование ИИ в аддитивных технологиях может привести к значительному улучшению качества продукции и повышению эффективности производства.

Варианты решения проблем 3D-моделирования и печати

Одной из основных проблем в данной сфере является дефицит доступа к 3D-моделям. Причиной сложившейся ситуации является отсутствие заинтересованности обладателей интеллектуальной собственности в предоставлении доступа к ней, так как не сформированы механизмы и инфраструктура рыночной оценки и продажи такого специфического товара, что не позволяет получить возмещение затрат, связанных с созданием 3D-моделей. Эта проблема актуальна не только для крупных производителей, но и для энтузиастов. Очевидно, что существует необходимость разработки механизмов обеспечения копирайта с возможностью контроля и ограничения количества создаваемых копий. В этой связи становится важным вопрос создания новых форматов хранения и распространения цифровых двойников и 3D-моделей, способных решать задачу контроля копирайта и количества воспроизведений.

Одним из вариантов решения указанной проблемы может являться внедрение в цифровые копии ключей, способных отслеживать авторство и количество распечатанных цифровых копий, что может позволить производителям извлечь дополнительную прибыль из имеющихся у них в наличии цифровых копий.

Такой подход окажет дополнительное стимулирующее воздействие для вывода на рынок большого количества оцифрованных «реальных» моделей, подготовленных энтузиастами. Создание эффективного рынка должно обеспечить переход к массовости аддитивных технологий.

В целях решения указанной проблемы возможна разработка комплексного решения, состоящего из хранилища цифровых двойников, 3D-моделей, нового защищенного формата хранения информации с наличием цифровой подписи и механизмов защиты копирайта, программного обеспечения печати и модификации моделей, базы данных авторов (производителей) цифровых копий и их покупателей. Кроме этого, система предполагает обеспечение взаимодействия авторов и покупателей, а также управления финансовыми операциями.

При реализации данного предложения представляется необходимым учесть следующие факторы:

1. Необходимо создать единое хранилище цифровых двойников в виде набора online-сервисов:
 - a) 3D-модели;
 - b) цифровые двойники;
 - c) выкройки.
2. Разрабатываемые сервисы должны быть оснащены компонентами создания, редактирования и просмотра моделей, включая механизмы сканирования.
3. Должны быть представлены платные и бесплатные услуги. Любое заинтересованное лицо, обладающее правами на модель, должно иметь возможность продажи модели и ее копий.
4. Должен быть разработан новый формат хранения и интерпретации 3D-моделей, позволяющий контролировать количество воспроизведений объектов интеллектуальной собственности.

Другим подходом к решению указанной проблемы может быть применение смарт-контрактов на основе технологии блокчейн. Необходимо отметить, что в настоящее время, в том числе в России, активно развиваются технологии блокчейн. На их базе созданы и успешно функционируют цифровые платформы для торговли цифровыми финансовыми активами.

Представляется целесообразным рассмотреть возможность применения блокчейн-технологии для организации удобного, регулируемого, прозрачного, позволяющего соблюсти права и интересы сторон рынка 3D-моделей и цифровых копий. Для представления 3D-моделей и цифровых копий на такой платформе могут быть использованы токены. Это позволит упростить процесс продажи и покупки моделей. Каждый токен может содержать такую информацию о модели, как ее характеристики, авторство и другие важные параметры.

При использовании блокчейн-технологии токены могут быть записаны в блокчейн, что обеспечит безопасность и прозрачность транзакций, а значит, и справедливость ценообразования. Кроме того, смарт-контракты могут автоматически выполнять условия договора между продавцом и покупателем, что способствует значительному упрощению процесса продажи и покупки 3D-моделей и снижению транзакционных издержек.

Блокчейн-технологии также могут обеспечить защиту интеллектуальной собственности.

В условиях ввода в оборот Банком России цифрового рубля, что является значительным шагом на пути формирования инфраструктуры цифровой экономики, и наличия в российской бизнес-среде успешного опыта запуска цифровых торговых систем на базе технологий блокчейн, организация подобной специализированной торговой системы представляется возможной. Такой подход не только позволит более эффективно использовать имеющиеся мощности, но и создаст дополнительный импульс для инвестиций в развитие аддитивных технологий в Российской Федерации.

Также толчком к развитию аддитивных технологий может послужить и государственное субсидирование сертификации для оказания поддержки производителям. Субсидирование сертификации даст возможность снизить затраты производителей, что может позитивно отразиться на повышении ценовой доступности 3D-принтеров и позволит расширить количество конечных пользователей технологии, в том числе и тех, кто занимается НИОКР.

Заключение

Аддитивные технологии в перспективе прочно войдут в повседневную деятельность человека, как в производственных, так и в бытовых целях. При анализе технологий 3D-печати выявлен ряд проблем дальнейшего их развития. Для развития 3D-печати необходимы комплексные решения на государственном уровне, в том числе и финансирование НИОКР в различных сферах (сами технологии 3D-печати и 3D-моделирования, центры прототипирования, промышленное производство, бытовое применение, информационные технологии в 3D-моделировании), а также развитие технологической конвергенции аддитивных технологий с ИИ и технологией блокчейн.

При условии формирования необходимой рыночной инфраструктуры продажа цифровых копий (например, вышедшей из строя шестеренки) для предприятия может оказаться экономически более эффективным шагом, чем выстраивание производственных цепочек промышленного масштаба (с расходами на производство детали, оформление документации, доставку, складирование и хранение).

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов С. С., Дарбеков А. Н. Аддитивные технологии. Преимущества и недостатки. *Научному прогрессу — творчество молодых*. 2018;2:25–27.
2. Лытнева И. И. Применение аддитивных технологий в высшем образовании. *Инновационные научные исследования*. 2021;3–2(5):184–190.
3. Муравлев С. П. Аддитивные технологии в авиакосмической индустрии. *Авиационные системы*. 2015;3:47–51.
4. Преображенский А. П. Особенности аддитивных технологий. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2016;4:85–88.
5. Преображенский А. П., Токарева Н. М. О возможностях внедрения аддитивных технологий. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2021;2:66–68.
6. *Технический регламент Таможенного союза 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования»*. Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 г. № 768.
7. *Технический регламент Таможенного союза 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»*. Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 823.
8. *Технический регламент Таможенного союза 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств»*. Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 879.
9. Овсепян А. Научные проблемы российских аддитивных технологий. *Коммерсантъ*. 2021. Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5089553>.
10. *Об утверждении Стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года*. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14.07.2021 № 1913-р. Режим доступа: <http://actual.pravo.gov.ru/text.html#pnum=0001202107160042>.
11. Рекиччук В. М. *Обзор индустрий, использующих аддитивное производство, за 2023 год. Основанный на прогнозе Wohlers Report*. 2023. Режим доступа: <https://industry3d.ru/at-news/obzor-industriy-i-spolzuyuschie-additivnoe-proizvodstvo-za-2023-god-osnovanny-na-prognoze-wohlers-report/>.
12. Saunders S. *GE Aviation Announces 100,000th 3D Printed Fuel Nozzle Shipped from Auburn Plant*. Режим доступа: <https://3dprint.com/284243/ge-aviation-announces-100000th-3d-printed-fuel-nozzle-shipped-from-auburn-plant/>.
13. Официальный сайт компании Adidas с описанием характеристик обуви, изготовленной на основе технологии 3D. Режим доступа: <https://www.adidas.com/us/4dfwd-3-running-shoes/IG8987.html>.
14. Официальный сайт Интернет-магазина компании 3Dtool с описанием характеристик и ценовыми предложениями по 3D принтерам. Режим доступа: <https://3dtool.ru/category/3d-printery/>.