

Управление цифровым аддитивным производством: особенности и перспективы

Игорь Викторович Абрамов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия,
abramov@globatek.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0933-0458>

Аннотация

Цель. Поиск и аргументация точек роста развития аддитивных производств, а также обоснование актуальности и значимости новых бизнес-моделей с использованием цифровых платформ.

Задачи. Рассмотреть особенности управления цифровым аддитивным производством; проанализировать причины низких темпов развития аддитивных технологий; показать перспективы именно цифрового развития аддитивных производств; обосновать важность развития цифровых платформ аддитивных услуг как новой бизнес-модели и доказать, что цифровое аддитивное производство можно характеризовать как системную инновацию.

Методология. При проведении исследования применены общенаучные методы (анализ, синтез, монографический, группировка). Изучены лучшие российские и мировые практики, фундаментальные и прикладные труды национальных и зарубежных исследователей, ученых, практиков в области управления, цифровой трансформации с использованием поиска релевантных исследований в открытых источниках, как в поисковых системах общего назначения, так и в специализированных поисковых системах и базах данных.

Результаты. Доказано, что цифровое аддитивное производство следует рассматривать как системную инновацию, и ее масштабные преимущества могут быть реализованы, если технология будет дополнена различными инновациями в области продуктов, процессов и услуг. Очевидны, с позиции автора, потенциал и перспективы новой бизнес-модели на онлайн-рынке аддитивного проектирования и производства: цифровой платформы аддитивных услуг для изготовления деталей из различных материалов.

Выводы. Аддитивное производство играет жизненно важную роль в Индустрии 4.0 из-за сокращенного времени цикла экономического процесса и высокой степени децентрализации производственных процессов. Поэтому для раскрытия их возможностей требуется системный подход с использованием цифровых платформ. Клиенты, которым требуются детали, произведенные по этой технологии, могут разместить свои проекты на платформе и найти партнера по производству на основе имеющихся технических ресурсов, особенностей географического положения и объема предполагаемых затрат. Реализация стратегии проектирования цифровой платформы, которая объединяет все стадии процесса проектирования и производства разных изделий, способствует отслеживанию данных и обеспечению воспроизводимости продукции на различных машинах аддитивного производства, значительно повышает потребительскую ценность.

Ключевые слова: аддитивные технологии, аддитивное производство, цифровизация производства, цифровые технологии, 3D-принтеры

Для цитирования: Абрамов И. В. Управление цифровым аддитивным производством: особенности и перспективы // *Экономика и управление*. 2023. Т. 29. № 5. С. 574–580. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-5-574-580>

Management of digital additive manufacturing: Features and perspectives

Igor V. Abramov

National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia,
abramov@globatek.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0933-0458>

Abstract

Aim. To find and argue points of growth of additive manufacturing, as well as to justify the relevance and significance of new business models using digital platforms.

Tasks. To consider the features of management of digital additive manufacturing; to analyze the reasons for the low rate of additive technology development; to show the prospects of digital development of additive manufacturing; to justify the importance of digital platforms for additive services as a new business model and prove that digital additive manufacturing can be characterized as a system innovation.

Methods. General scientific methods (analysis, synthesis, monographic, grouping) were used in the research. The best Russian and world practices, fundamental and applied works of national and foreign researchers, scientists, practitioners in the field of management, digital transformation were studied using the search of relevant research in open sources, both in general purpose search engines, and in specialized search engines and databases.

Results. It is proved that digital additive manufacturing should be regarded as a system innovation, and its large-scale benefits can be realized if the technology is complemented by various innovations in products, processes and services. From the author's point of view, the potential and prospects of a new business model in the online market of additive design and manufacturing are obvious: a digital platform of additive services for manufacturing parts from various materials.

Conclusions. Additive manufacturing plays a vital role in Industry 4.0 because of the shortened cycle time of the lean process and the high degree of decentralization of production processes. Therefore, a systematic approach using digital platforms is required to unlock their capabilities. Customers who require parts produced using this technology can place their designs on a platform and find a manufacturing partner based on available technical resources, geographic location, and the amount of anticipated cost. Implementing a digital platform design strategy that integrates all stages of the design and production process for different products, facilitates data traceability and product reproducibility on different additive manufacturing machines, greatly increases customer value.

Keywords: *additive technologies, additive manufacturing, digitalization of production, digital technologies, 3D printers*

For citation: Abramov I.V. Management of digital additive manufacturing: Features and perspectives. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2023;29(5):574-580. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2023-5-574-580>

Для России в условиях жестких экономических санкций поиск новых источников роста становится ключевой задачей. В эпоху распада глобального однополярного мира и перехода к миру многополярному важно обеспечить устойчивое развитие страны [1]. Следует помнить о том, что мир находится в начале шестой технологической эры и четвертой промышленной революции. Сегодня, в экономической среде, характеризуемой как *BANI*-мир (расшифровывается как "brittle, anxious, non-linear, incomprehensible", что в переводе на русский язык означает «хрупкий, тревожный, нелинейный, непостижимый»), методы управления, которые

гарантировали результат в прежние времена, утратили эффективность.

Задача стимулирования цифровой трансформации и ускорения экономического роста в настоящее время особенно значима, а следовательно, необходима выработка особых принципов в управлении с применением инновационных цифровых технологий для нахождения новаторских решений, позволяющих повысить качество ведения бизнеса. Внедрение цифровых технологий и цифровая трансформация, а также инструменты и методы, применяемые в этих процессах, оказывают положительное влияние на социальные и экономические преимуще-

ства государственного и муниципального управления [2].

Цифровая трансформация российской экономики включена в число пяти национальных целей, так как именно она в значительной степени влияет сегодня на повышение конкурентоспособности и национальной безопасности нашей страны. Разработка, адаптация и дальнейшее развитие новых цифровых технологий вызывает необходимость всестороннего пересмотра методов работы хозяйствующих субъектов [3]. Задача стимулирования цифровой трансформации и экономического развития стала еще более актуальной, а значит, целесообразно применять инновационные цифровые технологии и повышать уровень цифровой зрелости, предоставляя новые возможности для ускорения развития бизнеса [4].

В создавшейся геополитической обстановке проводимая политика импортозамещения направлена на стимулирование экономической активности и поощрение инновационной деятельности компаний с целью повышения их жизнестойкости и устойчивости развития на рынке, на котором конкуренция растет, а жизненные циклы продукции сокращаются. Учитывая последние тенденции в сфере инновационного предпринимательства в России, следует отметить особое значение новаций для бизнеса именно в сфере инженерных разработок. Сегодня компании должны продвигаться от парадигмы, ориентированной на продукт, к парадигме, ориентированной на клиента. Они должны формировать новые ценности для клиентов, недостаточно лишь изменить линейку предлагаемой продукции. Компании должны провести фундаментальные преобразования, основанные на инновациях и запуске новых инициатив [5].

В условиях России текущая стадия развития аддитивного производства обычно связана с логикой цифровой оптимизации, которая, согласно опыту западных компаний, позволяет повысить результативность бизнес-процессов на 10–30 %. Однако, благодаря реализации стратегии цифровой трансформации, использующей новые бизнес-модели, можно в более значительной степени повысить эффективность, особенно с точки зрения качества обслуживания клиентов [6].

На большинстве рынков темпы изменений постоянно ускоряются в самых разных контекстах, и эти динамичные усло-

вия увеличивают потребность компаний в адаптации к текущей ситуации. Но для современной промышленности это — очень сложная задача. Аддитивные технологии отличаются высокой гибкостью и потенциалом для трансформации и рационализации производственных и логистических цепочек создания стоимости. Однако в настоящее время их роль невелика и ограничена, так как применяются они в основном в режиме офлайн, автономно встраиваясь в существующие цепочки создания стоимости без использования их цифрового потенциала [7].

Анализ глобальных инновационных трендов позволяет заключить, что одним из главных векторов технологического развития становится формирование принципиально новых организационных систем управления и производства, основанных на цифровых платформах, которые устраняют с рынка и производства неэффективных посредников и заменяют их экономически эффективными алгоритмами [8]. Можно выделить две крупные категории таких платформ: электронные торговые площадки и инструменты для автоматической, нерыночной координации общей деятельности, связанной с производством товаров, услуг и энергии (виртуальные офисы и инструменты для более крупных экономических единиц) [9].

Сегодня, в эпоху цифрового производства аддитивные технологии, называемые еще 3D-печатью или прямым цифровым производством, считаются прорывной технологией [10]. Среди потенциальных преимуществ аддитивных технологий [11] — устранение части производственного оборудования и инструментов, сокращение времени и затрат на настройку оборудования; возможность производства небольшими партиями; гибкость дизайна, возможность оптимизации функций продукта; высокий уровень настройки продукта; сокращение отходов производства; более короткие цепочки поставок; сокращение сроков выполнения заказов, а также низкие запасы.

Эти технологии предоставляют возможность производить изделия с заданными свойствами, например, такими как желаемая геометрия, пористость, состав активных ингредиентов. Кроме того, аддитивное производство дает возможность контролировать индивидуальные отклики на готовое изделие и создавать высокоцентрализованные производства благодаря малым размерам обо-

рудования [12]. Дополним, что аддитивные технологии обеспечивают высокий уровень участия клиентов в разработке и создании конечных продуктов в производственной среде [13].

Аддитивное производство призвано сыграть жизненно важную роль в Индустрии 4.0, поскольку использование экономических и высокодецентрализованных процессов сократит время изготовления изделий для заказчиков. Возникают новые требования к техническому персоналу: практикующий инженер — это многозадачный профессионал с техническими знаниями, который выбирает производственные инструменты и процессы, использует аналитику данных для понимания и анализа тенденций с целью определения наиболее рентабельных решений.

Например, инженеры компании *Renault* представили прототип нового двигателя *DTI 5*, полностью изготовленного с помощью 3D-печати. По словам представителей компании, он на 25 % легче, чем аналог, изготовленный с помощью традиционных методов, а также содержит на четверть меньше деталей (менее 200). Цель проекта — показать, как использование 3D-печати способно повлиять на снижение веса и размера двигателя. Аддитивные технологии позволили снизить общий вес на 120 кг, то есть на 25 %, и двигатель успешно прошел все тесты [14]. Таким образом, технологии 3D-печати предоставляют возможность для настоящего прорыва в конструировании двигателей нового типа, в частности более легких, мощных и компактных, обеспечивая высокую производительность при ускорении производства.

Платформа цифровых аддитивных услуг — новая бизнес-модель, которая обеспечивает проектирование, услуги и производство аддитивных деталей в онлайн-режиме [6]. Клиенты, желающие заказать детали, изготовленные по этой технологии, могут отправить свои проекты на платформу и выбрать партнера-производителя на основе имеющихся технических возможностей, территориальной привязки и финансовых затрат. Подавая заказы на простой в использовании цифровой платформе, компании имеют возможность оптимизировать стоимость, качество и сроки поставки благодаря конкурентному процессу торгов.

Автоматизация предполагает разделение на два различных уровня [11]: производство

и обработка заказов. Прототипирование, итерационное производство продукта, последующая обработка и доработка продукта, как правило, связаны с применением человеческого труда. В таком случае цифровые платформы выступают в качестве связующего звена между клиентами и сотрудниками, заказы могут быть небольшими и разнородными, а процесс взаимодействия человека и машины носит настолько частый характер, что сложно автоматизировать прием, обработку и доставку заказов. Вместе с тем возможным видится одновременное или последовательное применение различных технологий, производство изделий из разных материалов (например, пластика и металла) и выпуск широкого спектра различной продукции (запчастей, ювелирных изделий и др.).

Если производство является высокоавтоматизированным, требуется и высокий уровень обработки заказов. Высокоавтоматизированное производство обычно использует одну технологию производства, только один тип материала (например, полимеры) и производит узкий ассортимент продукции (например, только зубные протезы, которые должны быть адаптированы к индивидуальным потребностям клиента). Так, на исследуемом сайте [15] требуется менее пяти минут, чтобы загрузить нужный шаблон, выбрать параметры печати, получить мгновенную оценку, ввести адрес доставки и данные банковской карты для оплаты. Печать занимает 10–15 часов, и в течение 24 часов после размещения готовый заказ отправляется клиенту. На каждом этапе процесса заказчику отправляют текстовые сообщения и электронные письма с разъяснениями. Доступна и услуга экспресс-производства и доставки по более высокой цене.

Цифровое аддитивное производство можно рассматривать как системную инновацию, поскольку ее масштабные преимущества могут быть достигнуты лишь в случае, если технология дополняется различными инновациями в области продуктов, процессов и услуг [16]. Системные инновации включают в себя множество взаимовлияющих, взаимосвязанных инноваций как часть более широкой системы, которые требуют сотрудничества в бизнес-сети [17]. Для достижения конкурентоспособности необходимо объединение усилий компаний в более широкой национальной или местной инновационной системе, в которой ресурсы,

условия спроса, конкуренция и поддерживающие отрасли совместно стимулируют инновации по всей цепочке создания стоимости [18]. Системные и быстро развивающиеся технологии позволяют компаниям сотрудничать и опираться на сильные стороны друг друга и тем самым узаконивать новую технологию, устанавливая новые отраслевые стандарты и создавать эффект побеждающей стороны [19].

Стратегия разработки цифровых платформ для интеграции различных этапов

процесса проектирования и производства различных изделий, облегчения процесса отслеживания данных и обеспечения воспроизводимости продукции с помощью различного аддитивного оборудования значительно повысит их ценность для клиентов. Однако следует отметить, что в стадии дальнейшей разработки находится перспективная бизнес-модель экосистемы, которая может быть построена на цифровых профилях клиентов и омниканальной коммуникации [20].

Список источников

1. *Абрамов В. И., Путилов А. В., Шамаева Е. Ф.* Формирование механизмов управления устойчивым развитием экономики промышленных отраслей и комплексов // Энергетическая политика. 2023. № 2 (180). С. 40–53. DOI: 10.46920/2409-5516-2023-2180-40
2. *Абрамов В. И., Андреев В. Д.* Проблемы и перспективы цифровой трансформации государственного и муниципального управления в регионе (на примере Кемеровской области) // Ars Administrandi / Искусство управления. 2022. Т. 14. № 4. С. 667–700. DOI: 10.17072/2218-9173-2022-4-667-700
3. *Ганин А. Н.* Цифровая трансформация российских предприятий: Индустрия 4.0. // Креативная экономика. 2022. Т. 16. № 2. С. 493–502. DOI: 10.18334/ce.16.2.114279
4. *Абрамов В. И., Андреев В. Д.* Совершенствование методики оценки индекса цифровой зрелости регионов России с учетом аспектов второго и третьего этапа цифровой трансформации ГМУ на основе зарубежного опыта // Управленческие науки. 2023. Т. 13. № 1. С. 32–46. DOI: 10.26794/2304-022X-2023-13-1-32-46
5. *Абрамов В. И., Лаврентьев И. А., Гремпель В. О.* Роль инноваций и стартапов в развитии экосистем // Экономические науки. 2022. № 210. С. 97–100. DOI: 10.14451/1.210.97
6. *Абрамов И. В., Лукина Ю. Д., Абрамов В. И.* Обеспечение развития аддитивных технологий в России в условиях санкций // Russian Economic Bulletin. 2022. Т. 5. № 4. С. 198–204.
7. *Абрамов И. В., Абрамов В. И.* Центры аддитивных технологий – драйверы цифровой трансформации экономики // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 3. С. 1325–1344. DOI: 10.18334/vines.12.3.115107
8. *Иванов В. В., Путилов А. В.* Цифровое будущее: следующий шаг в развитии атомных энергетических технологий // Энергетическая политика. 2017. № 3. С. 31–42.
9. *Путилов А. В., Червяков В. Н., Матицин И. Н.* Цифровые технологии прогнозирования и планирования развития атомной энергетики // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 87–98.
10. *Berman B.* 3-D printing: The new industrial revolution // Business Horizons. 2012. Vol. 55. No. 2. P. 155–162. DOI: 10.1016/j.bushor.2011.11.003
11. *Kulkarni P., Kumar A., Chate G., Dandannavar P.* Elements of additive manufacturing technology adoption in small- and medium-sized companies // Innovation & Management Review. 2021. Vol. 18. No. 4. P. 400–416.
12. *Гордеев В. В., Абрамов В. И.* Приоритеты цифровой трансформации фармацевтики // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 2. С. 1131–1146. DOI: 10.18334/vines.12.2.114755
13. *Rayna T., Striukova L., Darlington J.* Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms // Journal of Engineering and Technology Management. 2015. Vol. 37. P. 90–102. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2015.07.002
14. *Иннокентьев К.* Renault создает двигатели нового поколения с помощью 3D-печати металлом // Globatek.ru. URL: <https://globatek.ru/blog/cases/metal-3d-printing-renault> (дата обращения: 07.03.2023).
15. *Makerbot thingiverse* // Thingiverse. URL: <https://www.thingiverse.com/> (дата обращения: 07.03.2023).
16. *Martinsuo M., Luomaranta T.* Adopting additive manufacturing in SMEs: exploring the challenges and solutions // Journal of Manufacturing Technology Management. 2018. Vol. 29. No. 6. P. 937–957. DOI: 10.1108/JMTM-02-2018-0030
17. *Mulgan G., Leadbeater C.* Systems Innovation: Discussion Paper. London: Nesta, 2013. 57 p. URL: https://media.nesta.org.uk/documents/systems_innovation_discussion_paper.pdf (дата обращения: 07.03.2023).

18. Porter M. E., Stern S. Innovation: location matters // MIT Sloan Management Review. 2001. Vol. 42. No. 4. P. 28–36.
19. Garud R., Tuertscher P., Van de Ven A. H. Perspectives on innovation processes // The Academy of Management Annals. 2013. Vol. 7. No. 1. P. 773–817. DOI: 10.5465/19416520.2013.791066
20. Абрамов В. И., Гордеев В. В., Столяров А. Д. Создание региональных бизнес-экосистем на основе цифровых профилей клиентов и омниканальных коммуникаций // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13. № 5. DOI: 10.18334/epp.13.5.117670

References

1. Abramov V.I., Putilov A.V., Shamaeva E.F. Formation of mechanisms for managing the sustainable development of the economy of industrial sectors and complexes. *Energeticheskaya politika = The Energy Policy*. 2023;(2):40-53. (In Russ.). DOI: 10.46920/2409-5516-2023-2180-40
2. Abramov V.I., Andreev V.D. Problems and prospects of digital transformation of state and municipal governance in a region (the case of the Kemerovo region). *Ars Administrandi (Iskusstvo upravleniya) = Ars Administrandi (The Art of Management)*. 2022;14(4):667-700. (In Russ.). DOI: 10.17072/2218-9173-2022-4-667-700
3. Ganin A.N. Digital transformation of Russian enterprises: Industry 4.0. *Kreativnaya ekonomika = Journal of Creative Economy*. 2022;16(2):493-502. (In Russ.). DOI: 10.18334/ce.16.2.114279
4. Abramov V.I., Andreev V.D. Improving the methodology for assessing the digital maturity index of Russian regions, taking into account aspects of the second and third stages of digital transformation of PMA based on foreign experience. *Upravlencheskie nauki = Management Sciences*. 2023;13(1):32-46. (In Russ.). DOI: 10.26794/2304-022X-2023-13-1-32-46
5. Abramov V.I., Lavrentiev I.A., Grepel V.O. The role of innovations in the development of ecosystems. *Ekonomicheskie nauki = Economic Sciences*. 2022;(210):97-100. (In Russ.). DOI: 10.14451/1.210.97
6. Abramov I.V., Lukina Yu.D., Abramov V.I. Prospects and problems of the use of additive technologies in Russia under the anti-Russian sanctions. *Russian Economic Bulletin*. 2022;5(4):198-204. (In Russ.).
7. Abramov I.V., Abramov V.I. Centers of additive technologies as drivers of digital transformation. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*. 2022;12(3):1325-1344. (In Russ.). DOI: 10.18334/vinec.12.3.115107
8. Ivanov V.V., Putilov A.V. Digital future: The next step in the development of nuclear power technologies. *Energeticheskaya politika = The Energy Policy*. 2017;(3):31-42. (In Russ.).
9. Putilov A.V., Chervyakov V.N., Maticin I.N. Digital technologies for forecasting and planning the development of atomic energy. *Energeticheskaya politika = The Energy Policy*. 2018;(5):87-98. (In Russ.).
10. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*. 2012;55(2):155-162. DOI: 10.1016/j.bushor.2011.11.003
11. Kulkarni P., Kumar A., Chate G., Dandannavar P. Elements of additive manufacturing technology adoption in small- and medium-sized companies. *Innovation & Management Review*. 2021;18(4):400-416. DOI: 10.1108/INMR-02-2020-0015
12. Gordeev V.V., Abramov V.I. Priorities of the pharmaceuticals digital transformation. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*. 2022;12(2):1131-1146. (In Russ.). DOI: 10.18334/vinec.12.2.114755
13. Rayna T., Striukova L., Darlington J. Co-creation and user innovation: The role of online 3D printing platforms. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2015;37:90-102. DOI: 10.1016/j.jengtecman.2015.07.002
14. Innokent'ev K. Renault creates next-generation engines using metal 3D printing. Globatek.ru. URL: <https://globatek.ru/blog/cases/metal-3d-printing-renualt> (accessed on 07.03.2023). (In Russ.).
15. Makerbot thingiverse. Thingiverse. URL: <https://www.thingiverse.com/> (accessed on 07.03.2023).
16. Martinsuo M., Luomaranta T. Adopting additive manufacturing in SMEs: exploring the challenges and solutions. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 2018;29(6):937-957. DOI: 10.1108/JMTM-02-2018-0030
17. Mulgan G., Leadbeater C. Systems innovation: Discussion paper. London: Nesta; 2013. 57 p. URL: https://media.nesta.org.uk/documents/systems_innovation_discussion_paper.pdf (accessed on 07.03.2023).
18. Porter M.E., Stern S. Innovation: Location matters. *MIT Sloan Management Review*. 2001;42(4):28-36.

19. Garud R., Tuertscher P., van de Ven A.H. Perspectives on innovation processes. *The Academy of Management Annals*. 2013;7(1):773-817. DOI: 10.5465/19416520.2013.791066
20. Abramov V., Gordeev V.V., Stolyarov A.D. Creation of regional business ecosystems based on digital customer profiles and omnichannel communications. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo = Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2023;13(5). (In Russ.). DOI: 10.18334/epp.13.5.117670

Сведения об авторе

Игорь Викторович Абрамов

аспирант факультета бизнес-информатики
и управления комплексными системами

Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»

115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31

SPIN-код 5869-2840

Поступила в редакцию 14.04.2023
Прошла рецензирование 10.05.2023
Подписана в печать 22.05.2023

Information about Author

Igor V. Abramov

postgraduate student at the Faculty of Business
Informatics and Complex Systems Management

National Research Nuclear University "MEPhI"

31 Kashirskoe Highway, Moscow 115409, Russia

SPIN-code 5869-2840

Received 14.04.2023
Revised 10.05.2023
Accepted 22.05.2023

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest
related to the publication of this article.