

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 2 / 2023, Vol. 15, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/69ECVN223.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Абрамов, И. В. Проблемы и перспективы цифровизации промышленных предприятий с использованием аддитивных технологий / И. В. Абрамов // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/69ECVN223.pdf>

For citation:

Abramov I.V. Problems and prospects of digitalization of industrial enterprises using additive technologies. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2): 69ECVN223. Available at: <https://esj.today/PDF/69ECVN223.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Абрамов Игорь Викторович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ», Москва, Россия
Аспирант факультета «Бизнес-информатики и управления комплексными системами»

E-mail: abramov@globatek.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0933-0458>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1157930

Проблемы и перспективы цифровизации промышленных предприятий с использованием аддитивных технологий

Аннотация. Рассматриваются проблемы, связанные с цифровизацией промышленных предприятий, при этом обращается внимание на медленное развития цифровых аддитивных технологий. Потенциал аддитивных технологий намного шире, если их рассматривать в контексте цифровой трансформации. Поскольку данная технология является цифровой и имеет широкие возможности для обеспечения производства по запросу, особый интерес представляет изучение принципов и особенностей управления цифровым аддитивным производством, а также характеристика проблем и ближайших перспектив развития такого производства. Аддитивное производство призвано сыграть жизненно важную роль в Индустрии 4.0 благодаря короткому времени цикла экономного процесса и высокой степени децентрализации производственных процессов, поэтому для раскрытия его уникального ресурса требуется системный подход. Целью настоящего исследования является обоснование актуальности и значимости цифровизации промышленных предприятий для повышения гибкости и адаптации к изменениям рынка с помощью аддитивных технологий. Цифровое аддитивное производство должно рассматриваться как системная инновация, и ее масштабные преимущества могут быть реализованы только в том случае, если технология будет дополнена различными инновациями в области продуктов, процессов и услуг. Продемонстрирован потенциал и перспективы новой бизнес-модели на онлайн-рынке аддитивного проектирования и производства: цифровой платформы аддитивных услуг для изготовления деталей из различных материалов. Представлена структурная схема динамической CRM для аддитивного производства, содержащая три функциональных блока: операционный, аналитический и блок управления изменениями. Результаты исследования могут быть полезны специалистам-практикам, которые планируют и реализуют цифровизацию предприятий, использующих бизнес-модели с применением 3D-печати.

Ключевые слова: аддитивные технологии; аддитивное производство; цифровизация производства; цифровые технологии; цифровая трансформация; 3D-принтеры; 3D-печать

Введение

Жесткие экономические санкции подвергли серьезному испытанию усилия России по поиску новых источников роста. В период, когда однополярный мир распадается, очень большое значение имеет обеспечение надежного и стабильного развития страны [1]. Следует помнить, что человечество живет в условиях начала шестого технологического уклада и четвертой промышленной революции, в контексте новой мировой экономики, которая характеризуется как VANI-мир (в переводе с английского «хрупкий, нестабильный, нелинейный и непонятный»), где методы управления, обеспечивавшее достижение успеха в прежние времена, перестали приносить желаемые результаты. Важность задачи по обеспечению цифровой трансформации и экономического роста высока как никогда, что требует иных подходов к управлению и инновационных цифровых технологий, предлагающих новые пути повышения результативности работы компаний [2]. Внедрение цифровых технологий и цифровая трансформация, а также инструментальные средства и методы, применяемые в ходе этих изменений, позитивно отражаются на обеспечении социальных и экономических результатов деятельности государственных и местных администраций [3]. Проведение цифровой трансформации российской экономики относится к пяти национальным целям, так как именно от этого зависит повышение уровня конкурентоспособности и национальной безопасности государства. Формирование, внедрение и активное применение современных цифровых технологий позволит достичь значительных изменений в работе организаций [4]. Актуальность проблемы продвижения и реализации процесса цифровой трансформации и обеспечения развития экономики определяется достижением высокой степени цифровой зрелости, что открывает широкие перспективы и дает дополнительные стимулы для дальнейшего ускоренного развития бизнеса [5].

В настоящий момент расширение масштабов выпуска продукции утратило свое приоритетное значение, потому что будущее время диктует необходимость быстроты и высокой степени гибкости работы на современном рыночном пространстве, а также персонализации предоставляемых продуктов и спектра услуг [6]. В то же время компании могут рассматривать вопрос о создании инновационных сервисов с разных сторон и в соответствии с разными приоритетами, исходя из конкретных условий [7]. Такие виды услуг зачастую появляются на стыке самых разных сфер деятельности и исполняются представителями различных организаций с ограниченными знаниями и опытом [8]. Для обеспечения выживания и поддержания конкурентоспособности на рынке все чаще используются инновации, а в качестве общей концепции выступают услуги, основанные на цифровых технологиях [9]. Именно в быстро меняющейся среде экономических отношений стремление к инновациям, инновационная деятельность на фоне трудностей и проблемных ситуаций поможет предприятиям поддерживать свою жизнестойкость, подвижность и способность развиваться таким образом, чтобы перемены были им не угрозой, а возможностью для развития [10]. Уже сегодня многие российские организации уверенно пользуются возможностями передовых технологий, таких как машинное обучение, искусственный интеллект и аналитика больших данных, а также технологии персонализации. Благодаря внедрению инновационных технологий предприятия становятся флагманами отрасли и опережают своих непосредственных соперников в плане оценки потребительской удовлетворенности. Компании, которые осознали ценность появившихся возможностей и стремятся к изменениям, способны получить серьезную коммерческую выгоду, тогда как участники рынка, отказывающиеся от преобразований, могут утратить свои шансы на победу в конкурентной борьбе [11].

Инновации сегодня, несомненно, необходимы для повышения устойчивости и развития бизнеса на все более конкурентном рынке с более коротким жизненным циклом продукции. Исследование [12] показывает, что инновационные стратегии значительно повышают производительность в нестабильной среде. Развитие базовых технологий Индустрии 4.0, будет

во многом влияют на эволюцию компаний и изменение структуры производственных и организационных процессов. В ходе цифровой трансформации возникает необходимость планомерного пересмотра действующих бизнес-моделей, внесения изменений в бизнес-процессы, перехода к качественно новой внутренней политике и обеспечения дальнейшего совершенствования компании средствами цифровых инноваций. Кроме того, переход от продуктоориентированных технологий к парадигме, ориентированной на клиента, имеет огромное значение для современного бизнеса.

Аддитивные технологии (АТ), которые известны также как 3D-печать, становятся одним из ключевых факторов развития Индустрии 4.0. АТ использует трехмерные цифровые модели для изготовления деталей путем добавления материала слой за слоем для создания изделий, которые трудно изготовить в классическом производстве. 3D-технологии обеспечили революционный переход от массового выпуска продукции к производству по требованиям заказчика, также известному как массовая кастомизация [13].

Перспективы аддитивных технологических процессов огромны, однако на 3D-печать в настоящее время приходится лишь 0,01 % мирового промышленного производства [14], что указывает на существенные преграды для ее повсеместного применения. Одной из причин этого может служить то, что 3D-печать изначально не задумывалась как альтернатива традиционному производству. На начальном этапе эта технология была разработана в ответ на возникшую потребность в более оперативном создании прототипов. Однако осознание того, что метод 3D-печати можно успешно развивать и в других областях, например, для создания новых инструментов или даже продуктов, стремительно расширяется. Именно поэтому стимулом к развитию являются не запросы со стороны рынка, а непосредственно характеристики технологической базы, ядром которой являются новаторские концепции ведения бизнеса [15]. Вследствие этого представляется весьма актуальным провести оценку и определить круг предоставляемых функций и специфику внедрения аддитивных технологий в рамках концепции перехода промышленных предприятий на цифровые технологии.

Многообещающие перспективы аддитивных разработок отражены во все возрастающем количестве публикаций в научной литературе, посвященных как самой данной технологии, так и ее прикладным аспектам. По результатам проводимых исследовательских работ эти технические решения могут оказать серьезное воздействие на производственную деятельность и логистические цепочки [16], а также на запросы потребителей [17] и социума в целом [18]. Однако скорость освоения технологий в сфере аддитивного производства в России, невзирая на высокие ожидаемые показатели, все еще ниже прогнозного уровня [19].

Целью настоящего исследования является поиск и обоснование точек роста эффективности промышленных предприятий при использовании цифровых аддитивных технологий, обоснование актуальности новых подходов к динамическому управлению отношениями с клиентами с целью выстраивания долговременных отношений и обоснование значимости новых цифровых бизнес-моделей с использованием 3D-печати.

Важность и актуальность данной темы обусловлена тем, что в условиях неопределенности и быстрых изменений для сохранения конкурентоспособности многим предприятиям необходимо приступить к проведению цифровизации, при этом ключевым фактором успеха является установление долгосрочных взаимовыгодных отношений с клиентами на новом качественном уровне с активным использованием динамических обратных связей.

Методология

Аддитивные технологии могут использоваться в различных целях и на различных этапах деятельности. В статье [20] предлагается таксономия использования АТ, которая классифицирует множество различных применений 3D-печати в соответствии с четырьмя основными типами применения:

- быстрое прототипирование: 3D-печать используется для прототипов деталей или других объектов, а конечные продукты обычно изготавливаются с использованием традиционных технологий литья;
- быстрая оснастка: аддитивное производство используется для изготовления инструментов, аксессуаров, но, в основном, также пресс-форм, используемых в традиционном массовом процессе производства;
- прямое производство: аддитивные технологии используются для непосредственного производства готовой продукции, как отдельных частей, так и целых изделий, однако производство, в данном случае, 3D-печать, всегда осуществляется на заводах;
- местное производство: дальнейшее развитие прямого производства, когда оно осуществляется не на крупном заводе, а в рамках распределенного на местном уровне производства.

Цифровая трансформация промышленных предприятий предполагает использование потенциальных возможностей аддитивных технологий на всех этапах производства с целью существенного повышения гибкости и адаптивности к запросам клиентов и постепенного перехода к цифровым бизнес-моделям.

Методология исследования опирается на рассмотрение и осмысление российского и международного опыта, фундаментальных и прикладных изысканий отечественных и зарубежных ученых, исследователей и практиков в сфере управления и цифровой трансформации и базируется на общенаучных методах познания: поиске и сборе фактов и актуальных материалов из открытых информационных источников, как общего назначения, так и из профильных поисковых систем и баз данных, а также на анализе, сопоставлении, классификации и логической аргументации.

Результаты

В России на текущем этапе при развитии аддитивного производства, как правило, реализуется логика цифровой оптимизации, которая, как показывает опыт западных компаний, повышает эффективность бизнес-процессов, но лишь в пределах 10–30 %. Вместе с тем, реализация стратегии цифровой трансформации с использованием новых бизнес-моделей может повышать эффективность значительно выше, особенно заметно это сказывается на качестве работы с клиентами [21].

Клиентоориентированность становится общепринятой стратегией, обеспечивающей выживание на конкурентных рынках, когда соперничество компаний происходит в контексте удобства и эмоциональности общения, при этом техническим средством, позволяющим управлять взаимоотношениями с клиентами, являются CRM-системы [22]. Как показывают исследования J'son & Partners Consulting, основанные на анализе и статистике российских компаний, уровень распространения CRM в России по итогам 2019 г. составляет порядка 17 %,

тогда как в Европе этот показатель достигает 35–40 %, а в США — более 90 %¹. При этом исследование Tadviser показало, что 72,9 % внедрений CRM-систем за 2018 г. были проведены на основе SaaS-решений, что косвенно подтверждает активное использование цифровых технологий в бизнесе². Как показал проведенный в России в конце 2020 — начале 2021 г. авторами статьи [23] опрос, в 54 % из участвовавших в исследовании компаний CRM-системы уже внедрены, 28 % рассматривают варианты или внедряют ее, а 18 % даже не планируют этого делать. Вместе с тем в условиях сегодняшнего дня принципиально важно, чтобы с помощью CRM можно было бы поддерживать динамический режим взаимодействия с клиентами.

На большей части рынков под воздействием различных обстоятельств постоянно ускоряется темп изменений, и в этих противоречивых обстоятельствах возрастает необходимость для компаний адаптироваться к текущей ситуации, но в современной индустрии это очень непростая в исполнении задача. Аддитивные технологии отличаются исключительной адаптивностью и располагают широкими потенциальными возможностями для трансформации и рационализации производственных и логистических цепочек создания стоимости, тем не менее, в настоящее время они имеют ограниченное значение, так как применяются, в основном, в автономном режиме, т. е. встроены в существующие цепочки создания стоимости без использования их цифрового потенциала [24].

В эпоху цифрового производства аддитивные технологии, которые являются прямым цифровым производством, считаются прорывной технологией [25]. Отмечаются следующие *потенциальные преимущества* аддитивных технологий [26]:

- устранение значительного производственного оборудования и инструментов, сокращение времени и затрат на наладку 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, а также низкие запасы.

Положительные стороны аддитивного производства [27]:

- можно печатать сложные 3D-геометрические формы, конструкции с внутренними элементами без каких-либо инструментов;
- сокращение отходов по сравнению с механической обработкой;
- деталь можно распечатать прямо из 3D-модели без чертежа;
- прототипы могут создаваться быстрее, что позволяет разработчикам просматривать различные итерации, ускоряя цикл проектирования;

¹ «Битрикс24» стал лидером российского рынка CRM. Исследование. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seonews.ru/events/bitriks24-stal-liderom-rossijskogo-rynka-crm/> (дата обращения: 26.12.2022).

² Customer Relationship Management. Управление взаимоотношениями с клиентами. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/CRM/> (дата обращения: 26.12.2022).

- отсутствие инструментов вообще или меньшее их количество в небольших партиях по сравнению с традиционной обработкой;
- производственная оснастка может быть напечатана;
- в процессе печати можно смешивать различные материалы для создания уникального сплава;
- разные сечения детали могут быть разными вариантами одного и того же сплава.

Недостатки аддитивного производства [27]:

- поскольку технология все еще находится в своей начальной стадии, процесс производства является медленным и дорогостоящим;
- высокие производственные затраты из-за стоимости оборудования;
- в зависимости от типа используемого аддитивного оборудования требуется определенная дополнительная обработка;
- небольшой объем сборки по сравнению с другими размерами производственных деталей, такими как литье в песчаные формы;
- низкое качество и текстура поверхности по сравнению с такими методами производства, как ЧПУ и литье по выплавляемым моделям.

Важно отметить возможности использования современных 3D-сканеров для промышленных предприятий:

- проектирование транспортных средств (сканирование деталей кузова, салона);
- сканирование макетов и прототипов транспортных средств;
- ремонт и модернизация транспортных средств (тюнинг);
- метрологический контроль деталей транспортных средств;
- контроль качества входящей продукции от поставщиков;
- контроль технологической оснастки;
- создание цифровых архивов изделий, оборудования и цехов;
- реверс-инжиниринг для быстрого прототипирования изделий — разработка и модернизация продукции;
- реверс-инжиниринг для создания чертежей (3D-документация);
- контроль качества входящей продукции;
- контроль качества выпускаемой (серийной) продукции (ОТК);
- контроль износа станков и оборудования;
- контроль собираемости изделия путем сканирования его частей и последующей проверки на компьютере;
- сканирование цеха для его модернизации, оптимальной расстановки оборудования и прокладки коммуникаций;
- контроль литой продукции (и последующей механической обработки), сравнение с CAD;

- контроль сложной геометрии, сравнение с CAD;
- контроль технологической оснастки.

Аддитивные технологии позволяют создавать продукты с заданными характеристиками — например, нужной геометрии, пористости, состава действующих веществ. Кроме того, аддитивное производство позволяет осуществлять мониторинг персонифицированных реакций на конечный продукт и создавать сильно распределенные производственные площадки за счет компактности оборудования [28]. Следует при этом добавить, что АТ обеспечивают высокий уровень участия клиентов в разработке и создании конечных продуктов в производственной среде [29].

Получены данные, что в результате перевода традиционного производства на аддитивное более быстрый процесс изготовления продукции в сочетании с более простой цепочкой поставок обеспечивает экономию времени исполнения работ порядка 60 % [30], так что возможности технологии велики, и проблема заключается скорее в том, как их реализовать. На сегодняшний день АТ развивается в первую очередь в секторах с высокими ценами за килограмм готовой продукции. Однако многие проекты и задачи связаны с наличием таких условий и ситуаций, когда важна ценность решения для клиента или скорость быстрого решения. Допустим, когда на технологической линии из-за отказа детали выходит из строя часть оборудования, а ущерб от простоя превышает разумные пределы. Другой пример: оперативность разработки нового продукта, когда приходится выполнять несколько итераций для поиска наилучшего варианта. Как раз на такие задачи, где создается высокая потребительская ценность и где важен фактор времени, должно быть нацелено аддитивное производство, но для этого необходима соответствующая инфраструктура. Вышесказанное позволяет акцентировать внимание на аспектах цифровой трансформации производственных компаний с использованием аддитивных технологий:

- в условиях сегодняшнего дня конкурентные преимущества бизнеса напрямую зависят от степени готовности к адаптации к требованиям заказчика, и аддитивные технологии являются мощным инструментом в этом плане;
- для раскрытия уникального и перспективного потенциала аддитивных технологий требуются преобразования в цепочках создания стоимости, цепочках поставок и отношениях между заинтересованными сторонами;
- использование цифровых 3D-моделей и данных в широком смысле становится решающим элементом в экономической сфере;
- благодаря внедрению цифровых разработок, цифровых 3D-моделей и цифровых бизнес-моделей можно существенным образом повлиять на снижение транзакционных издержек;
- происходит рост затрат при проектировании и хранении информации, используемой в процессах разработки и принятии управленческих решений;
- увеличивается стоимость разработки и хранения данных, используемых в процессах принятия управленческих решений;
- качество и оперативность управленческих решений снижают риск и неопределенность, связанные с изменением объемов производства.

Авторы работы [31] выделяют в CRM компании три части: операционную, аналитическую и управления изменениями на основе обратных связей. *Операционная* часть CRM-системы фокусируется на автоматизации процессов, непосредственно связанных с клиентами, таких как продажи, маркетинг и обслуживание клиентов. *Аналитическая* часть

CRM нацелена на получение данных о клиентах, которые компания использует в стратегических и тактических целях. Часть *управления изменениями* концентрируется на внедрении технологии через организационные части для оптимизации процесса и повышения ценности, которую компания приносит своим партнерам и клиентам. На рисунке 1 представлена структурная схема CRM, которую предлагается использовать для аддитивного производства.

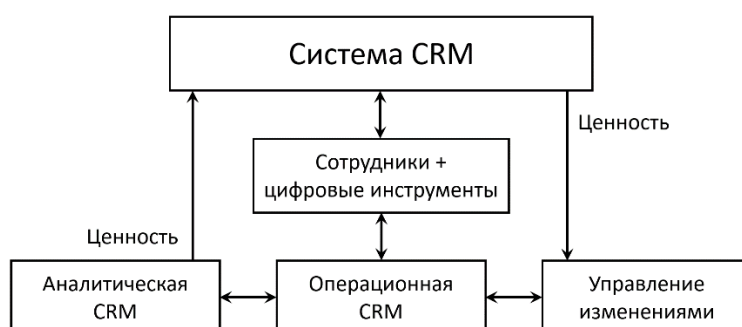


Рисунок 1. Структурная схема CRM для аддитивного производства (источник: [31])

Такой подход позволяет построить долгосрочные отношения с заказчиками, так как имеет место постоянное двустороннее общение и взаимодействие между компанией и ее клиентами, которое оцифровывается и анализируется. В случае возникновения значительных отклонений от плана, возникает необходимость корректировки бизнес-процессов и управления изменениями. В этом случае CRM — это не только деятельность отдела маркетинга, но и постоянные корпоративные изменения в культуре и процессах. Собранные информация о клиентах преобразуется в корпоративные знания, что приводит к действиям, использующим данную информацию и рыночные возможности.

Следует отметить, что изучение нового цифрового инструментария и управление взаимоотношениями с клиентами в динамическом режиме требует комплексных изменений в организации и повышения знаний и компетенций ее сотрудников. Персонализированное обучение в организации должно проводиться в рамках системного подхода [32], внедряться на постоянной основе и стать принципиально новым инструментом для регулярного определения индивидуальных компетенций сотрудников и формирования программ обучения и развития персонала на основе обратной связи и анализа результатов.

Выводы

Под воздействием широкого спектра факторов стремительные изменения приобретают характер обычного явления для подавляющего числа участников рынка. Обладая исключительной гибкостью, универсальностью и легкостью адаптации, аддитивные технологии обеспечивают реальное благоприятное воздействие на технологические звенья производства и логистические цепочки. Но на сегодняшний день влияние аддитивных технологий на развитие современной промышленной сферы ограничено, поскольку они, в основном, используются в оффлайн режиме, а для использования мощного цифрового ресурса необходимо цифровое преобразование компаний, в том числе внесение корректив в бизнес-процессы в рамках всей цепочки создания ценности.

ЛИТЕРАТУРА

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. — EDN QTFKDF.
2. 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. — Том 13. — № 5. — doi: 10.18334/epp.13.5.117670.
3. 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. — EDN СТWMYG.
4. Ганин А.Н. Цифровая трансформация российских предприятий: Индустрия 4.0. // Креативная экономика. 2022. Т. 16. № 2. С. 493–502.
5. 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. — 13(1). — С. 32–46. DOI: 10.26794/2304-022X-2023-13-1-32-46.
6. Абрамов В.И., Абрамов И.В., Поливанов К.В., Семенов К.Ю. Цифровая трансформация системы управления отношениями с клиентами // Вопросы инновационной экономики. — 2023. — Том 13. — № 1. — doi: 10.18334/vines.13.1.117051.
7. Kindström D., Kowalkowski C. Service innovation in product-centric firms: a multidimensional business model perspective // Journal of Business & Industrial Marketing. — 2014. — Vol. 29. — No. 2. — P. 96–111.
8. Laya A., Jucevski M., Ghezzi A., Markendahl, J. Business model as relational aggregator: exploring business relationships. — 2016. — 32nd IMP Conference, Poznan.
9. Porter M.J., Heppelmann J.E. How smart, connected products are transforming competition // Harvard Business Review. 2014. — No. November. <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>.
10. Абрамов В.И., Борзов А.А. Роль инновационного потенциала при цифровой трансформации компании. // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. — 2022. — N 2. — С. 5–13. — EDN ZCYQUQ.
11. Сибел Т. Цифровая трансформация. Как выжить и преуспеть в новую эпоху / пер. с англ. Ю. Гиматовой; науч. ред. М. Савицкий, К. Щеглова, К. Пахорукова — М.: Манн, Иванов и Фербер. 2021. — 256 с.
12. Covin J.G., Selvin D.P. Strategic management of small firms in hostile and benign environments // Strategic Management Journal. — 1989. — 10(1). — P. 75–87.
13. Galetto, M., Genta, G., Maculotti, G. and Verna, E. Defect Probability estimation for hardness-optimised parts by selective laser melting. // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. — 2020. — Vol. 21. — No. 9. — P. 1739–1753.

14. Thomas D. Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. // *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* — 2016. — 85. — P. 1857–1876.
15. Chaudhuri A., Rogers H., Soberg P., Pawar K.S. The role of service providers in 3D printing adoption. // *Ind. Manag. Data Syst.* — 2019. — 119. — P. 1189–1205.
16. Bogers M., Hadar R., Bilberg A. Additive manufacturing for consumer-centric business models: implications for supply chains in consumer goods manufacturing. // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 2016. — V. 102. — P. 225–239. doi: 10.1016/j.techfore.2015.07.024.
17. Holzmann P., Breitenecker R.J., Soomro A.A., Schwarz E.F. User entrepreneur business models in 3D printing. // *J. Manuf. Technol. Manag.* — 2017. — V. 28. — P. 75–94. doi: 10.1108/JMTM-12-2015-0115.
18. Caviggioli F., Ughetto E. A bibliometric analysis of the research dealing with the impact of additive manufacturing on industry, business and society. // *Int. J. Prod. Econ.* — 2019. — V. 208. P. 254–268. Doi: 10.1016/j.ijpe.2018.11.022.
19. Maresch D., Gartner J. Make disruptive technological change happen — The case of additive manufacturing. // *Technol. Forecast. Soc. Change.* 2018. Article 119216. Doi: 10.1016/j.techfore.2018.02.009.
20. Rayna T., Striukova L. From rapid prototyping to home fabrication: how 3D printing is changing business model innovation. // *Technol. Forecast. Soc. Change.* — 2016. — V 102. — P. 214–224.
21. 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. — EDN ZJVLWN.
22. Абрамов В.И., Чуркин Д.А. Предиктивная аналитика взаимоотношений с клиентами как метод адаптации компании к изменениям и повышения ценности предложения // *Экономика, предпринимательство и право.* — 2022. — Том 12. — № 6. — doi: 10.18334/ep.12.6.114842 — EDN GPPFPW.
23. Matraeva L., Vasiutina E., Korolkova N. CRM Systems for Small Businesses: The Role in the Digital Transformation and New Opportunities During COVID-19. // *TEM Journal.* — 2022. — V. 11. — № 1, P. 138–149.
24. 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. — EDN NMQXKW.
25. Berman, B. 3-D printing: The new industrial revolution // *Business Horizons.* — 2012. — V. 55(2). — P. 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>.
26. Kulkarni, P. Elements of additive manufacturing technology adoption in small- and medium-sized companies / Praveen Kulkarni, Arun Kumar, Ganesh Chate, Padma Dandannavar // *Innovation & Management Review.* — 2021. — V. 18 — N. 4, 2021. P. 400–416.

27. Трофимова Н.Н. Аддитивное производство как инновационная технология цифровой трансформации промышленных предприятий // Приоритеты новой экономики: энергопереход 4.0 и цифровая трансформация: Сборник тезисов всероссийской научно-практической конференции / Под редакцией И.М. Степнова, Ю.А. Ковальчук. — Москва: Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации, 2022. — С. 541–544. — EDN UERVUV.
28. Гордеев В.В., Абрамов В.И. Приоритеты цифровой трансформации фармацевтики // Вопросы инновационной экономики. — 2022. — Т. 12. — № 2. — С. 1131–1146. — DOI 10.18334/vinec.12.2.114755. — EDN WEZLTV.
29. 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. — V. 37. — P. 90–102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2015.07.002>.
30. Huang R., Riddle M.E., Graziano D., Das S., Nimbalkar S., Cresko J. et al. (2017). Environmental and economic implications of distributed additive manufacturing: The case of injection mold tooling. Journal of Industrial Ecology. // 2017. 21(S1), P. 130–143. <https://doi.org/10.1111/jieec.12641>.
31. Čierna H., Sujová E. Differentiated customer relationship management — a tool for increasing enterprise competitiveness // Management Systems in Production Engineering. — 2022. — V. 30, — Issue 2. — P. 163–171. DOI 10.2478/mspe-2022-0020.
32. Абрамов В.И., Глухова Е.В., Семенков К.Ю. Цифровая трансформация системы развития и обучения персонала предприятий // Лидерство и менеджмент. — 2023. — Том 10. — № 1. — С. 189–202 — doi: 10.18334/lim.10.1.117182.

Abramov Igor Viktorovich

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

E-mail: abramov@globatek.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0933-0458>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1157930

Problems and prospects of digitalization of industrial enterprises using additive technologies

Abstract. The problems associated with the digitalization of industrial enterprises are considered, while attention is drawn to the slow development of digital additive technologies. The potential of additive technologies is much wider when viewed in the context of digital transformation. Since this technology is digital and has ample opportunities to provide on-demand production, it is of particular interest to study the principles and features of managing digital additive manufacturing, as well as to characterize the problems and immediate prospects for the development of such production. Additive manufacturing is set to play a vital role in Industry 4.0 due to the short cycle times of the lean process and the highly decentralized manufacturing processes, so a systematic approach is required to unlock its unique resource. The purpose of this study is to substantiate the relevance and importance of the digitalization of industrial enterprises to increase flexibility and adapt to market changes using additive technologies. Digital additive manufacturing should be seen as a systemic innovation and its scaling benefits can only be realized if the technology is complemented by various product, process and service innovations. The potential and prospects of a new business model in the online additive design and manufacturing market are demonstrated: a digital additive services platform for manufacturing parts from various materials. A block diagram of dynamic CRM for additive manufacturing is presented, containing three functional blocks: operational, analytical and change management block. The results of the study can be useful to practitioners who plan and implement the digitalization of enterprises using business models using 3D printing.

Keywords: additive technologies; additive manufacturing; production digitalization; digital technologies; digital transformation; 3D printers; 3D printing