УДК 338.4

DOI: 10.18384/2310-6646-2020-2-52-58

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Казакова Н. В., Михайлова Л. В., Сазонов А. А.

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, Российская Федерация*

Аннотация.

Цель. В основе данной работы – исследование особенностей влияния цифровой экономики на развитие новых методов организации производственных процессов в промышленности.

Процедура и методы исследования. Авторами проведён анализ развития современных аддитивных технологий как производственной основы четвёртой промышленной революции.

Результаты проведённого исследования. Рассмотрены основные преимущества и недостатки различных методов аддитивного производства. На основе этого авторами выявлены инновационные отличия цифрового производства и особенности применения аддитивных технологий, а также произведена оценка проблем развития современного аддитивного производства.

Теоретическая и практическая значимость. Значимость данного исследования состоит в выявлении преимуществ применения методов аддитивного производства в части снижения себестоимости продукции без потери качества, а также в решении более сложных проблем.

Ключевые слова: развитие цифровых технологий, технологическая концепция, аддитивные технологии, технологическое развитие производства, модернизация предприятий, трансфер технологий

THE STUDY OF MODERN METHODS OF INDUSTRIAL PRODUCTION ORGANIZATION UNDER DIGITALIZATION

N. Kazakova, L. Mikhailova, A. Sazonov

*Moscow Aviation Institute (National Research University (Moscow)
4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation*

Abstract.

Purpose. The paper is concerned with the impact of digital economy on the development of new methods of organizing production processes in industry.

Methodology and Approach. The authors analyze the development of modern additive technologies as a basis of the fourth industrial revolution.

Results. The main advantages and disadvantages of various methods of additive manufacturing are considered. The authors identified innovative differences in digital production and features of the use of additive technologies, and assessed the problems of development of modern additive manufacturing.

Theoretical and Practical implications. The significance of the presented material consists in identifying the advantages of using additive manufacturing methods in terms of reducing the cost of production without loss of quality, as well as in solving more complex problems.

Keywords: development of digital technologies, technological concept, additive technologies, technological development of production, modernization of enterprises, technology transfer.

Ведение

Цифровая трансформация в рамках технологической концепции «Индустрия 4.0» (четвёртой промышленной революции) стремительным образом видоизменяет сложившуюся к настоящему времени деловую среду. Она активным образом способствует созданию различных многочисленных точек роста и улучшению процессов ведения бизнеса, оптимизирует текущие расходы предприятия, а также качественным образом видоизменяет существующие бизнес-модели. Однако этот уникальный феномен в то же время представляет ряд довольно серьёзных угроз для ведения бизнеса [3, с. 1052].

Аддитивные технологии

Цифровизация производства предполагает активное использование различных инновационных технологий, одной из которых является аддитивное производство. Технология аддитивного производства представляет собой уникальное создание изделий, построенное на последовательном включении материала в технологическую основу, которая представляет собой плоскую платформу или, к примеру, осевую заготовку. В структуре термина «аддитивность» (лат. *additivus* – прибавляемый) заложен основной принцип этого процесса. Такой способ изготовления также называют «выращиванием» из-за послойного создания изделия. Таким образом, суть аддитивного производства заключается в сложении, а не в вычитании [5, с. 12]. К примеру, в традиционном производственном процессе, присутствующем на предприятии изначально, имеется некая заготовка, от которой в дальнейшем удаляется всё не нужное, тогда как аддитивные технологии предполагают создание изделий из различных расходных материалов. Например, в домашних 3D-принтерах – это специальная пластмассовая проволока, но, как известно, из пластика можно печатать только не

слишком прочные детали и предметы. Относительно недавно в 3D-сфере началась новая эра – печать из металлических материалов. Именно аддитивные технологии являются фундаментальной технологической основой происходящей сейчас в мире цифровой трансформации. Технологии аддитивного производства выполняют следующие этапы: осуществляют процессы проектирования в специальной технологической среде систем автоматизированного проектирования (САПР); позволяют работать с STL-файлами; уникальные STL-файлы загружаются в специализированные машины аддитивного производства, а затем полученное на выходе изделие дорабатывается под необходимые требования [7, с. 40].

Одним из достоинств современных аддитивных технологий является то, что создаваемые цифровые модели деталей можно практически мгновенно передавать по сети на технологическую производственную площадку, расположенную в любой точке мира. Следовательно, трансформируется привычный технологический уклад производства, т. е. 3D-принтер не только добавляет производству мобильности, но и может заменить огромное количество оборудования на обычном заводе. Среди других ключевых преимуществ – снижение числа комплектующих частей создаваемых деталей. Например, изготовление обычным методом топливной форсунки для реактивного двигателя требует около 20 разных запчастей, которые нужно соединить с помощью сварки. Применение же 3D-печати позволяет создавать форсунку намного быстрее из специального материала [2, с. 45]. Отсюда следует ещё один важный момент – экономия исходного сырья и минимизация отходов.

Современные аддитивные технологии используют для производства изделий ровно столько материала, сколько требуется для их изготовления. К примеру, если производство предполагает применение традиционного типа изго-

товления, потери сырья могут достигать до 90 %. За счёт применения аддитивных технологий возможно снижение веса готовой детали, что особенно критично для авиационной промышленности. В настоящее время большинство отечественных производителей авиадвигателей в полной мере применяют технологии аддитивного

производства и успешно создают различные втулки и кронштейны, которые при сохранении всех прочностных характеристик на 40–50 % легче своих «традиционных» аналогов [8, с. 7]. Проанализируем основные преимущества и недостатки современных методов аддитивного производства (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1
Сравнение технологических методов аддитивного производства
Comparison of additive manufacturing technologies

Описание метода	Результат
Селективное лазерное плавление (СЛЗ) <i>Сфера использования:</i> нанесение гравировок на изделия (может применяться для большого числа различных материалов). <i>Плюсы:</i> возможность проведения работ с очень высокой точностью (55 мкм); позволяет получать тончайшие стенки. <i>Минусы:</i> вероятность появления различных трещин.	Валик, создан на основе применения технологий СЛЗ
Селективное электроннолучевое плавление (СЭЛП) <i>Сфера использования:</i> для сварки. <i>Плюсы:</i> позволяет получать более высокие показатели производительности в сравнении с другими методами, уменьшает количество трещин. <i>Минусы:</i> точность (у СЛЗ она намного ниже), невозможность применения без создания вакуума.	Валик, создан на основе применения технологий СЭЛП
Прямое лазерное нанесение металла (ПЛНМ) <i>Сфера использования:</i> для сварки, ремонта и т. д. <i>Плюсы:</i> широкий диапазон материалов; хорошие показатели производительности (выше, чем у СЭЛП и СЛЗ); полный контроль над процессом. <i>Минусы:</i> меньшая точность, чем у СЭЛП и СЛЗ.	Структуры сплавных материалов обработаны технологией лазерного нанесения металла

Источник: составлено авторами.

Инновационные отличия цифрового производства и особенности применения аддитивных технологий

Цифровое производство с использованием аддитивного метода заключается в послойном создании объекта любой сложности [6]. Аддитивные технологии

принципиально отличаются от тех, которыми пользовались до недавнего времени. Их главное отличие в том, что они являются не вычитающими, как, к примеру, метод обработки на основе числового программного управления (ЧПУ), а собирательными. Иными сло-

вами, происходит собирание изделия из изготовленных порошковой композицией деталей [4, с. 130]. По сравнению с техниками литья, штамповки или обработки ЧПУ данная технология повышает производительность до 30 раз, но самое главное, что она даёт возможность получить детали, которые традиционными способами было невозможно создать.

Инновационные 3D-аддитивные технологии позволяют создавать модели любых форм и размеров, т. к. послойный процесс синтеза происходит слой за слоем. Данный способ производства пользуется *методом прототипирования*. Это даёт возможность создавать не готовый объект, который можно использовать для конкретных целей, а его прототип, позволяющий оценивать возможности и характеристики модели, её внешние данные и т. д. Прототипы можно представлять в маркетинговых целях [9, с. 324]. К примеру, на автомобильных выставках часто используются модели, созданные с помощью быстрого прототипирования, для того чтобы представить их потенциальным заказчикам. Данная технология позволяет производить прототипы быстро, а главное – недорого по сравнению со стандартными методами производства. Технологии аддитивного производства широко используются для уменьшения затрат при проектировании за счёт определения возможных ошибок на ранних стадиях этого процесса. Кроме того, данная технология сокращает время выхода продукта на рынок за счёт усиления связи между заказчиком и проектировщиком. Она практически полностью исключает трудоёмкий и длительный этап изготовления опытных образцов [5, с. 83].

По данным международной аналитики, рынок аддитивных технологий демонстрирует стабильный рост. Рентабельность использования 3D-принтеров в производстве подтверждается их экономической эффективностью. Стоит отметить, что наиболее эффективно использовать эту

технология для единичного индивидуального производства, а также для производства изделий со сложной геометрией [1, с. 236]. Например, компания Airbus начинает внедрять 3D-печать для изготовления сидений и прочих изделий со сложной геометрией. В результате эффективность производства этих изделий возрастает на 30–55 %. Airbus A310 благодаря использованию этой технологии стал легче на 500 кг – это не только снижение массы самолета, но и увеличение энергоэффективности и снижение затрат на топливо. Помимо сидений для пассажиров с использованием аддитивной технологии было решено изготавливать топливные форсунки. Ранее это изделие изготавливалось привычными для промышленности технологиями, и оно в виду сложной геометрии состояло из 7 частей. Аддитивная технология позволила объединить всё в одну деталь, тем самым повысив её надёжность и снизив стоимость изготовления.

На фоне стремительного развития аддитивных технологий легко не заметить проблем, встающих на пути современной промышленности. Кратко можно отметить следующие проблемы:

— *Разработка требований к материалам и системы стандартов*. Наиболее перспективное направление на сегодняшний день – это печать порошковыми композитами. Данное направление позволяет применять обширный спектр материалов с самыми различными характеристиками, что даёт возможность использовать материалы со специальными свойствами. Например, механический сплав с низким температурным расширением или сплав с высокой энтропией, который сохраняет высокие механические показатели даже при критически высоких температурах. Проблема заключается в поиске способов синтеза таких порошков, требуемого размера и состава, а также прогнозирования и исследования их свойств. Ещё сложнее их стандартизировать, т. к. материалы можно изготавливать инди-

видуально, в зависимости от требуемых свойств.

— *Создание системы анализа прочностных характеристик получаемых изделий с учётом особенностей аддитивного производства.* Необходимо систематизировать накопленные знания о существующих материалах, с возможностью параметрического подбора химического состава и технологии изготовления, исходя из требуемых характеристик, производить исследования свойств получаемых изделий и делиться результатами, в противном случае данный процесс не приведёт к нужному результату. В идеале, создание базы данных с общим доступом, в которой все эти знания будут систематизироваться, дополняться и перепро-

веряться, а производители смогут к ней обращаться для подбора подходящего материала и технологии, исходя из требуемых свойств и имеющихся ресурсов.

Заключение

Развитие производства в промышленности в настоящее время не может обойтись без применения новых технологий, что диктуется необходимостью обеспечения выпуска недорогой, надёжной и качественной продукции. В России многие производители на практике убедились, что это позволяет добиться снижения себестоимости продукции без потери качества и решать более сложные проблемы.

Статья поступила в редакцию 20.03.2020.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гибсон Я., Стакер Б. Технологии аддитивного производства. Трёхмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. М.: Техносфера, 2016. 656 с.
2. Джамай Е. В., Зинченко А. С., Юдин М. В. К вопросу о комплексной информационной поддержке научно-производственной деятельности предприятия // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2016. № 1. С. 41–46.
3. Желтенков А. В., Полосков С. С. Организационно-экономический механизм управления инновационным потенциалом высокотехнологичных наукоемких предприятий // Экономика и предпринимательство. 2019. № 2 (103). С. 1051–1057.
4. Зленко М. А., Нагайцев М. В., Довбыш В. М. Аддитивные технологии в машиностроении. М., 2015. 220 с.
5. Каменев С. В., Романенко К. С. Технологии аддитивного производства. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. 145 с.
6. Полосков С. С., Желтенков А. В., Сюзева О. В. Инновационная деятельность высокотехнологичных наукоемких предприятия в цифровую эпоху // Устойчивое и инновационное развитие в цифровую эпоху: сб. 2019. С. 358–366.
7. Сазонов А. А., Джамай Е. В., Ладешкин М. П. Исследование теоретических аспектов комплексной автоматизации научно-производственной деятельности на предприятиях наукоемких отраслей // Насосы. Турбины. Системы. 2015. № 3 (16). С. 32–41.
8. Тихонов А. И., Сазонов А. А., Новиков С. В. Импортзамещение в России, как системообразующий фактор развития авиационной промышленности // Двигатель. 2018. № 3. С. 6–8.
9. Шишковский И. В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. СПб.: Питер, 2016. 400 с.

REFERENCES

1. Gibson Y., Staker B. *Tekhnologii additivnogo proizvodstva. Trekhmernaya pechat, bystroe prototipirovanie i pryamoe tsifrovoe proizvodstvo* [Additive Manufacturing Technologies. Three-Dimensional Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing]. Moscow, *Tekhnosfera* Publ., 2016. 656 p.
2. Dzhamay E. V., Zinchenko A. S., Yudin M. V. [To the issue of integrated information support of research-production activity]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Ekonomika* [Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics], 2016, no. 1, pp. 41–46.
3. Zheltenkov A. V., Poloskov S. S. [Organizational-economic mechanism of management of innovative potential for high-technology knowledge-intensive enterprises]. In: *Ekonomika i predprinimatelstvo* [Economy and Business], 2019, no. 2 (103), pp. 1051–1057.
4. Zlenko M. A., Nagaitsev M. V., Dovbysh V. M. *Additivnye tekhnologii v mashinostroenii* [Additive Technologies in Mechanical Engineering]. Moscow, 2015. 220 p.
5. Kamenev S. V., Romanenko K. S. *Tekhnologii additivnogo proizvodstva* [Additive Manufacturing Technologies]. Orenburg, Orenburg State University Publ., 2017. 145 p.
6. Poloskov S. S., Zheltenkov A. V., Syuzeva O. V. [Innovation hi-tech enterprise in the digital age]. In: *Ustoichivoe i innovatsionnoe razvitie v tsifrovuyu epokhu* [Sustainable and Innovative Development in the Digital Age]. 2019, pp. 358–366.
7. Sazonov A. A., Dzhamay E. V., Ladoshkin M. P. [The study of the theoretical aspects of automation of scientific and industrial activity at the enterprises of knowledge-intensive industries]. In: *Nasosy. Turbiny. Sistemy* [Pumps. Turbines. Systems], 2015, no. 3 (16), pp. 32–41.
8. Tikhonov A. I., Sazonov A. A., Novikov S. V. [Import Substitution in Russia, as the Backbone Factor of Aviation Industry Development]. In: *Dvigatel* [Engine], 2018, no. 3, pp. 6–8.
9. Shishkovsky I. V. *Osnovy additivnykh tekhnologii vysokogo razresheniya* [The Bases of High-Resolution Additive Technologies]. St. P., *Piter* Publ., 2016. 400 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Казакова Наталья Вячеславовна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и маркетинга высокотехнологичных отраслей промышленности Московского авиационного института (национального исследовательского университета);
e-mail: nkazakova01@inbox.ru

Михайлова Любовь Викторовна – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры менеджмента и маркетинга высокотехнологичных отраслей промышленности Московского авиационного института (национального исследовательского университета);
e-mail: lubov999999@mail.ru

Сазонов Андрей Александрович – кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга высокотехнологичных отраслей промышленности Московского авиационного института (национального исследовательского университета);
e-mail: Sazonovamati@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Natalia V. Kazakova – PhD in Economic sciences, associate professor at the Department of Management and Marketing of High-Tech Industries, Moscow Aviation Institute (National Research University);
e-mail: nkazakova01@inbox.ru

Lubov V. Mikhailova – PhD in Economic sciences, associate professor at the Department of Management and Marketing of High-Tech Industries, Moscow Aviation Institute (National Research University);

e-mail: lubov999999@mail.ru

Andrey A. Sazonov – PhD in Economic sciences, associate professor at the Department of Management and Marketing of High-Tech Industries, Moscow Aviation Institute (National Research University);

e-mail: Sazonovamati@yandex.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Казакова Н. В., Михайлова Л. В., Сазонов А. А. Анализ современных методов организации промышленного производства в условиях цифровизации // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2020. № 2. С. 52–58.

DOI: 10.18384/2310-6646-2020-2-52-58

FOR CITATION

Kazakova N. V., Mikhailova L. V., Sazonov A. A. The Study of Modern Methods of Industrial Production Organization under Digitalization. In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Economics*, 2020, no. 2, pp. 52–58.

DOI: 10.18384/2310-6646-2020-2-52-58