

Аддитивные технологии: новационный эффект в промышленности

Галина С. Армашова-Тельник¹ atgs@yandex.ru  0000-0001-9370-5875
Полина Н. Соколова¹ atgs@yandex.ru
Денис В. Дегтерев¹ atgs@yandex.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы интеграции аддитивных технологий в производство, представлены преимущества и недостатки 3D-печати металлом. Проанализированы данные текущих показателей результативности технологических процессов при использовании 3D оборудования, определены сложности внедрения аддитивных технологий в производственные процессы. Сформулированы выводы о тенденциях и перспективах развития инженерных решений в области аддитивных технологий. Так, аддитивные технологии предоставляют возможности субъекту хозяйствования произвести сокращения производственных линий, минимизировать сроки изготовления сложотехнологических деталей. Кроме того, специфика процесса эксплуатации деталей – результата высокотехнологичного производства, обеспечивают и длительный срок службы комплектующих элементов, и, высокую степень надежности материалов, функциональную устойчивость и прочность конструкции, и, упрощение ремонтных работ (замены частей деталей), что в целом определяет качественность изготовленных изделий. Что, в свою очередь, обуславливает, в экономических реалиях, развитие экономико-технологических новационных инженерных решений посредством продвижения аддитивных технологий, повышая экономические показатели производственной деятельности субъекта хозяйствования. Изученные в данной статье характерные черты 3D печати металлов, позволяют выделить определяющие технологические процессы принципов печати, конструктивно представить свойства аддитивных конструкций. Можно констатировать, что в настоящий период развития экономико-технологических новационных инженерных решений область продвижения аддитивных технологий имеют существенные достижения и перспективы. В аддитивное изготовление поэтапно внедряются мелкосерийное производство, которое имеет отличительные характеристики для отрасли машиностроения. Внедрение такого технологического оснащения предоставляет возможность ускорить процедуру изготовления, усовершенствовать свойств продукта, несмотря на высокую стоимость (0,8–1,5 миллиона евро). При этом, со стратегической экономической позиции в сравнении с классическими технологиями высокотехнологичные инженерные решения выступают как высоко конкурентоспособные.

Ключевые слова: цифровизация, цифровые технологии, аддитивные технологии, 3D-принтер, 3D-печать, аддитивное производство

Additive technologies: an innovative effect digitalization in industry

Galina S. Armashova-Telnik¹ atgs@yandex.ru  0000-0001-9370-5875
Polina N Sokolova¹ atgs@yandex.ru
Denis V Degterev¹ atgs@yandex.ru

¹ St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya str., 67, St. Petersburg, Russia, 190000, Russia

Abstract. The article discusses the integration of additive technologies into production, presents the advantages and disadvantages of 3D metal printing. The data of the current indicators of the effectiveness of technological processes when using 3D equipment are analyzed, the difficulties of introducing additive technologies into production processes are determined. Conclusions on the trends and prospects of development of engineering solutions in the field of additive technologies are formulated. So, additive technologies provide an opportunity for a business entity to reduce production lines, minimize the production time for complex technological parts. In addition, the specifics of the operation process of parts - the result of high-tech production, provide both a long service life of component elements, and a high degree of reliability of materials, functional stability and structural strength, and, simplification of repair work (replacement of parts of parts), which generally determines the quality of manufactured products. This, in turn, determines, in economic realities, the development of economic and technological innovative engineering solutions through the promotion of additive technologies, increasing the economic indicators of the production activity of a business entity. The characteristic features of 3D printing of metals studied in this article make it possible to highlight the defining technological processes of the principles of printing, constructively represent the properties of additive structures. It can be stated that in the current period of development of economic and technological innovative engineering solutions, the field of promoting additive technologies has significant achievements and prospects. Small-scale production is gradually being introduced into additive manufacturing, which has distinctive characteristics for the mechanical engineering industry. The introduction of such technological equipment provides an opportunity to speed up the manufacturing procedure, improve the properties of the product, despite the high cost (0.8-1.5 million euros). At the same time, from a strategic economic position in comparison with classical technologies, high-tech engineering solutions act as highly competitive.

Keywords: digitalization, digital technologies, additive technologies, 3D printer, 3D printing, additive manufacturing

Для цитирования

Армашова-Тельник Г.С., Соколова П.Н., Дегтерев Д.В. Аддитивные технологии: новационный эффект в промышленности // Вестник ВГУИТ. 2020. Т. 82. № 4. С. 347–353. doi:10.20914/2310-1202-2020-4-347-353

For citation

Armashova-Telnik G.S., Sokolova P.N., Degterev D.V. Additive technologies: an innovative effect digitalization in industry. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2020. vol. 82. no. 4. pp. 347–353. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2020-4-347-353

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Развитие наукоемких отраслей и высоких технологий определяет основу технологической безопасности и независимости в масштабе государства. Достаточно новым мировым трендом являются аддитивные технологии (АТ). Предполагается, что данная концепция наряду с нанoeлектроникой, оптоинформатикой, системами искусственного интеллекта и др., формируют ядро шестого технологического уклада, и обуславливают будущее науки и промышленности. В настоящих рыночных условиях хозяйствования аддитивные технологии представляют собой одно из важнейших революционных направлений развития современных инженерных решений, применение которых расширяет горизонты высокотехнологичных инновационных проектов (в части конструирования механизмов, сооружений, структурных моделей), что не может быть реализовано с использованием традиционного инструментария. Они открывают творческий простор инженерам для реализации самых необычных и смелых идей при проектировании эффективных, легких и прочных конструкций, внешние формы и силовые схемы которых не реализуемы с помощью традиционных технологий [2].

Подчеркнем, что аддитивные технологии находят применение в автомобильной промышленности, в строительстве, в аэрокосмических направлениях производства, реализуются инженерные решения в электроэнергетических комплексах субъектов хозяйствования (включая возобновляемые источники энергии), и в области биотехнологий, в сфере пищевых производств. Кроме того, система здравоохранения активно использует высокотехнологичные разработки в части медицинской диагностики (при различной симптоматике), создания реабилитационно ориентированных механизмов (опорно-двигательный аппарат, травмы разнохарактерной природы), исследуются и изучаются возможности трехмерной печати внутренних органов человека и тканей. Также, популяризируется использование аддитивных технологий в таких профессиональных областях как архитектура (в том числе, дизайн, моделирование), машиностроение в сельском хозяйстве, транспортной сфере (подземный, наземный, морской, воздушный), оборонно-промышленном комплексе.

Обсуждение

Стоит обратить внимание на технологии аддитивного производства. Содержательная сущность которой представляет собой соединение материалов для создания объектов из данных 3D-модели слой за слоем, что концептуально

отличает высокотехнологичный производственный процесс от установившегося традиционного понимания обработки материалов [3]. На сегодняшний день большинство участников машиностроительной отрасли пытаются оптимизировать процесс производства своих изделий и повысить их качество и производительность. Необходимо отметить, что надежность деталей агрегатов машин зависит не только от их конструктивной прочности, сопротивления циклическим и длительным статическим нагрузкам, но и от технологии их изготовления, которая непосредственно влияет на качество поверхностного слоя детали. В поверхностном слое образуются конструктивные и технологические концентраторы напряжений, он испытывает влияние наклепа и внутренних остаточных напряжений при механической обработке. Здесь, основными факторами, определяющими качество поверхностного слоя (шероховатость, глубину и степень наклепа, величину и характер распределения остаточных напряжений), являются физико-механические свойства обрабатываемого материала, методы и режимы механической обработки, в том числе геометрия режущего инструмента, степень его «затупления» и свойства смазочно-охлаждающей жидкости, упрочнение и защитные покрытия [18].

Ввиду чего, для изготовления одной сложной детали может понадобиться большой технологический цикл, который включает в себя множество этапов. Зачастую каждый этап требует определенное обрабатывающее оборудование. Большое количество обрабатывающих станков и установок требует большие площади и большое количество квалифицированного персонала. Так же для поддержания всей производственной линии в исправном состоянии требуются большие финансовые вложения. Так, аддитивные технологии (АТ) дают возможность сократить целую производственную линию на одну установку, сократить срок изготовления сложных деталей, особенно при прототипировании. При «печати» как моделей, так и полнофункциональных деталей появляется возможность оперативно вносить изменения в конструкцию. Для этого не приходится заново изготавливать оснастку, литейные формы или штампы, достаточно сделать изменения в компьютерной модели [10].

Кроме того, применение аддитивных технологий как инструментов механизма цифровизации в промышленности позволяет не только ускорять процесс производства, но и «экономить» ресурсы, в частности – металл.

Так, в основном, множество производственных деталей изготавливаются из целиковой штамповки, посредством функционирования многокоординатных обрабатывающих центров, вытачивающих окончательный облик детали. При этом достаточное количество дорогостоящего металла «идет» в отходы. Тогда как в процессе применения аддитивных технологий коэффициент использования материала заготовки (порошка) близок к показателям 94–96%, и остаток порошка целесообразно направить для изготовления следующего изделия. Наряду с уже перечисленными преимуществами аддитивных технологических решений, отметим и то, что одним из показателей высококачественного технического изделия является количество деталей, из которых оно состоит – чем меньше деталей, тем изделие более совершенно (есть инженерные решения, которые невозможно реализовать традиционным способом). Здесь, аддитивным технологическим путем, обеспечивается изготовление монолитных деталей, что при традиционном подходе возможно лишь в формате составных элементов [13].

Отметим, что история и степень научной разработанности проблемы уходит в конец 80-х гг. XX века, когда компания 3D Systems, разработавшая в 1986 г. уникальную коммерческую стереолитографическую машину, использовала свою разработку трехмерной печати в деятельности, ориентированной на решение задач оборонной промышленности посредством реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских решений. Здесь уместно обратить внимание на то, что первоначально, стоимость лазерных аппаратов (стереолитографических, порошковых) была чрезвычайно высока при достаточно узком ассортименте модельных материалов. Тогда, как динамичная популяризация «цифры» в сфере «проектирования (CAD), моделирования и расчётов (CAE) и механообработки (CAM)» послужило катализатором стремительного развития 3D-технологий [17].

В 1995 году, ученые доктора Дитер Шварце и Маттиас Фокеле создали коллаборационный проект с Вильгельмом Майнерсом и Конрадом Виссенбахом, в результате реализации которого им удалось совершенствовать первоначальную концепцию «лазерного спекания» и спроектировать пилотные модели для «лазерного плавления». По прошествии времени (после 2000 г.) на партнерских условиях между F&S и MCP HEK GmbH (позднее MTT Technology GmbH) были определены отношения

(экономические, юридические), и впоследствии SLM Solutions GmbH стала единственной компанией – владелицей оригинального патента на разработанную технологию. Что детерминирует потребность компании в перманентном режиме дорабатывать и совершенствовать технологические решения, принимая во внимание крупномасштабность сферы производства технической оснащённости для селективного лазерного плавления [6].

В рамках исследования предполагается изучить применимость аддитивных технологий в энергетическом машиностроении, их технологические особенности, продемонстрировать перспективы применения в процессе производства деталей для промышленного сектора. Выделяя высокую практическую значимость применения данной технологии, отметим, и снижение затрат на производство комплектующих частей агрегатов машин и простота (относительная) процесса производства деталей. Следует пояснить, что процесс производства комплектующих элементов включает в себя сокращение комплектующих частей создаваемых узлов и агрегатов, минимизацию количества технологических операций, удаление из всего технологического процесса дополнительного оборудования. При автоматизации процесса производства деталей снижается трудоемкость изготовления, временной период изготовления, весовые показатели, отходы. Увеличивается точность изготовления деталей, унифицируется состав используемых материалов и т. д. При этом, специфические особенности эксплуатации деталей, произведенных посредством аддитивных технологий, обуславливают такие эффекты, как длительный срок эксплуатации комплектующих, высокая степень надежности материалов, функциональная устойчивость и прочность конструкции, упрощение ремонтных работ (замены частей деталей).

Рассматривая генезис изготовления металлических изделий методом аддитивной технологии, отметим, что сущность понятия «аддитивные технологии» представляет собой собирательный образ подходов и методик, при которых изделия изготавливаются исходя из данных цифровой модели применяя метод «последовательного добавления» материала. Так, продукт (изделие) формируется слой за слоем, посредством «отверждения или фиксации» каждого слоя согласно конфигурационным требованиям сечения модели, а также степени сцепления всех последующих слоев друг с другом (рисунок 1).

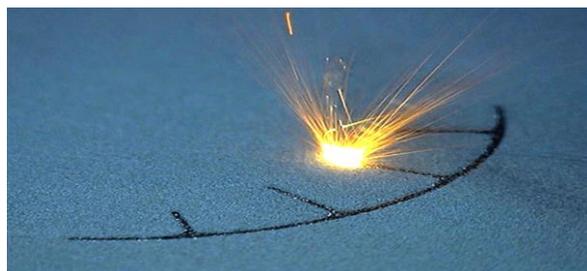


Рисунок 1. Процесс послойного лазерного сплавления [15]

Figure 1. Layer-by-layer laser fusion process

Сущность процесса послойного синтеза М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина в своем труде «Аддитивные технологии в машиностроении» описывают как процедуру реализации выстраивания «в среде инертного газа с охлаждением определенных зон, с местной усадкой металла, с захватом молекул газа окружающей среды (азота или аргона), с образованием дефектов, вызванных работой лазера, неоднородностью модельного материала и другие [20]. То есть, в последовательности CAD-модель → АФ-машина → деталь (рисунок 2)

Критерии оценки. При выборе варианта высокотехнологичного решения полагаются на следующие критерии: ценовая величина закупки; пропускная способность; свойство плоскости модификации; умение выстроить мелкие фрагменты; четкость создания; трудозатраты на обрабатывание продукта; устойчивость надлежащего качества материала; замена ключевых конструкций по истечению срока службы машины; ценовая величина качественного материала; ценовая величина технологического сервисного обслуживания машины; ценовая величина гарантийного договора; безопасность и прочность машины; капитальный ремонт; квалифицированность сотрудников; стоимость обслуживающего персонала; необходимая область технической инфраструктуры [4].

Подчеркнем, что относительно методов формирования слоев в аддитивных технологиях принято выделять способ послойного синтеза (Bed Deposition), описано выше, и второй вариант – метод прямого осаждения или прямого подвода энергии (Direct Deposition) [1]. Реализация второго, как формулирует Б.Е. Мархадаев в своей работе «Новая аддитивная технология изготовления пластиковых и металлических объектов», требует подачу материала напрямую в сектор «подведения энергии и построения в данный момент фрагмента детали» (рисунок 3).

Вместе с тем следует подчеркнуть, что «поддержка» как конструкция, здесь носит вспомогательный характер, и применяется в 3D-технологиях в целях формирования сложно

комбинированных деталей, а также для повышения стабильного качества печати изделий [12]. Так как при отсутствии «поддерживающих элементов» печать в 3D-формате «с нависающими конструкциями, полостями, тонкими стенками, сложной детализацией, или перекрытиями и другими сложными элементами» невозможна (рисунок 4).

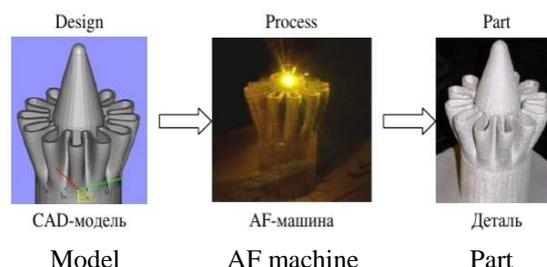


Рисунок 2. Процесс аддитивного производства [20]

Figure 2. Additive manufacturing process

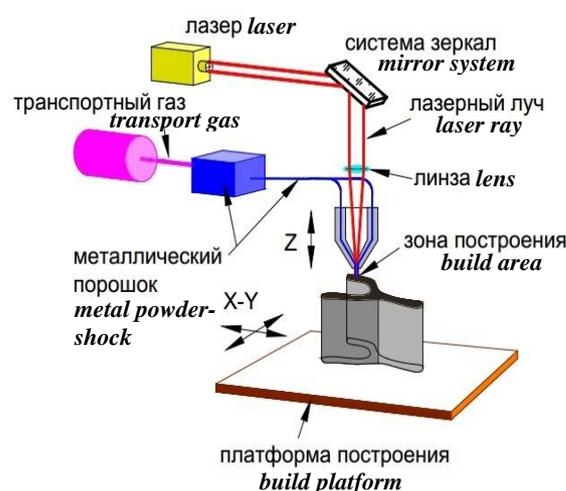


Рисунок 3. Принцип технологии прямого наплавления [13]

Figure 3. Direct deposition technology principle

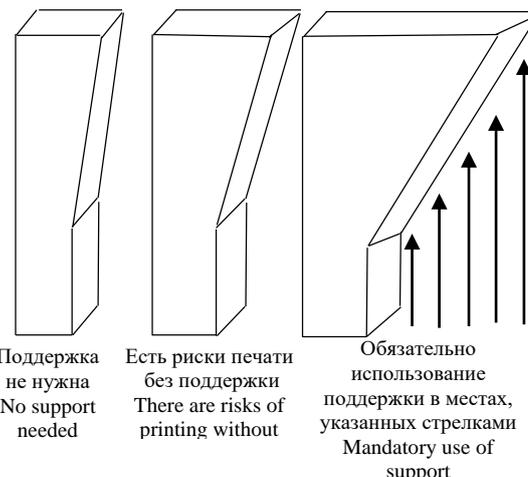


Рисунок 4. Пример геометрии, при которой необходима поддержка [5]

Figure 4. An example of a geometry that needs support

При использовании технологии Bed Deposition (рисунок 5), первым делом формируются слой, например, насыпают на рабочую платформу слой металлопорошка и разравнивают его при помощи ролика или «ножа», формируя ровный слой порошка определенной толщины. Затем выборочно (селективно) сплавляют или спекают порошок в сформированном слое лазером или иным способом, скрепляя частички металлопорошка в соответствии с текущим сечением исходной цифровой модели [6].

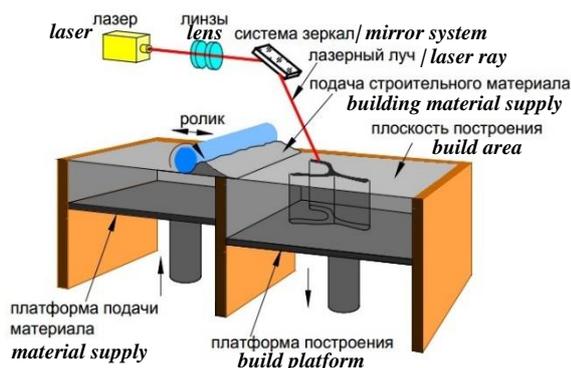


Рисунок 5. Технология выборочной лазерной плавки [13]

Figure 5. Selective laser melting technology

Авторы «Аддитивные технологии в машиностроении» рассматривают сущность технологии выборочной лазерной плавки как «наличии некой платформы, где в первую очередь формируют слой металлопорошка, далее – в этом слое выборочно спекают (сплавляют) собственно строительный материал». Здесь отмечают неизменность положение стола построения. Кроме того, доля металлопорошка пребывает в отвержденном слое цельной. Так, принято определять характер данной технологии термином «селективный синтез».

Необходимо отметить, что технология селективного лазерного плавления [8] (СЛП, SLM) является технологией послойного аддитивного производства с помощью лазера из металлических порошков (рисунок 6), механизм реализации, которой удовлетворяет интересам энергетического машиностроения в контексте возможностей, точности и качества (например, «шероховатостью или минимальной толщиной стенки» изделия). Так, изделия, которые при оптимизации технологических параметров могут применяться без постобработки, что обеспечивается малым радиусом лазерного пятна на поверхности порошкового ложа (до 10 мкм).



Рисунок 6. Внешний вид и размеры SLM установки [16]

Figure 6. Appearance and dimensions of the SLM unit

При рассмотрении 3D-принтеров, можно говорить, что печать в данном формате обладает высоким потенциалом в разных производственных процессах, но существуют и недостатки. С развитием науки и техники, возможность аддитивных технологий будет увеличиваться. Такое направление малоосвоенное, потребует индивидуального подхода при разработке, что в свою очередь имеет высокие перспективные сценарии внедрения. При внедрении 3D-технологии печати металлом промышленный оборот, у компаний могут возникнуть некоторые проблемы: потребность в изучении качественных характеристик металлов; имитирования в объемах продукции; инвестиционных вложения с высокой стоимостью оборудования, в том числе и расходных материалов; специальные условия к помещению и эксплуатационным условиям; трудность в приспособлении 3D-решений к имеющимся научно-техническим процессам в изготовлении [2].

Заключение

Анализируя результаты опросного анкетирования 114 управляющих компаний [19] мониторинги формирования аддитивных технологий на текущий 2020 год представляются в соответствующем виде. Неосуществимость общественного тиражирования продукта (83%), до тех пор, пока не произведут не более 100 единиц, поэтому и является одной из серьезных проблем аддитивных технологий. При рассмотрении 100% с точки зрения преимуществ АТ при массовом изготовлении, то 99% имеют уверенные перспективы на следующие 3–5 лет, вероятность печатать серии из тысячи изделий в перспективе составляет 57%. Освоение потенциальных рыночных отношений высокотехнологичных решений составляет \$12 триллионов. При использовании АТ в изготовлении, финансовый результат составляет миллиарды долларов. Исходя из опросного анкетирования управляющих компаний 88% уверены в финансовом результате.

В настоящее время одной из высокозначимых проблем, препятствующим внедрению АТ в изготовлении, имеет название высокой цены, что составляет 42 %, высокая цена использованных материалов составляет 35 %, невозможное массовое изготовление составляет 34 %, неустойчивость изготовленных продуктов 31 %. По этой причине главным направлением формирования АТ наблюдается от разработки к изготовлению отдельных продуктов, также к массовому изготовлению кастомизированных отдельных продуктов [9].

Изученные в данной статье характерные черты 3D печати металлов, позволяют выделить определяющие технологические процессы принципов печати, конструктивно представить свойства аддитивных конструкций. Можно констатировать, что в настоящий период развития

экономико-технологических новационных инженерных решений область продвижения аддитивных технологий имеют существенные достижения и перспективы. В аддитивное изготовление поэтапно внедряются мелкосерийное производство, которое имеет отличительные характеристики для отрасли машиностроения. Внедрение такого технологического оснащения предоставляет возможность ускорить процедуру изготовления, усовершенствовать свойств продукта, несмотря на высокую стоимость (0,8–1,5 миллиона евро). При этом, со стратегической экономической позиции в сравнении с классическими технологиями высокотехнологичные инженерные решения выступают как высоко конкурентоспособные.

Литература

- 1 Ahsan M.N. et al. A comparative study of laser direct metal deposition characteristics using gas and plasma-atomized Ti-6Al-4V powders // *Materials Science and Engineering*. 2011. P. 7648–7657.
- 2 Аддитивное производство и 3D-печать. URL: <https://blog.iqb.ru/additive-manufacturing-basics/>
- 3 Аддитивные технологии как прорывные инновации ресурсосбережения 21 века. URL: <https://pandia.ru/text/80/141/9861.php>
- 4 Александрова В.В., Зайцева А.А. 3D-технология и когнипрограммирование // *Информационно-измерительные управляющие системы*. 2012. Т. 10. № 5. С. 61–64.
- 5 Биргер И.А. и др. Расчет на прочность деталей машин. Машиностроение, 1979. 702 с.
- 6 Зленко М.А., Попович А.А., Мутьлина И.Н., Аддитивные технологии в машиностроении. 2013.
- 7 Исторические предпосылки появления аддитивных технологий. URL: <https://extxe.com/9626/vvedenie-istorija-additivnyh-tehnologij/>
- 8 Amini M., Chang S. I. MLCPM: A process monitoring framework for 3D metal printing in industrial scale // *Computers & Industrial Engineering*. 2018. V. 124. P. 322-330.
- 9 Карпова Т., Сацкая З., Куликова С., Ерошкина Е. Новинки и тенденции // *Аддитивные технологии*. 2020. № 3. С. 18.
- 10 Карпова Т., Аддитивные технологии в развитии // *Аддитивные технологии*. 2020. № 2. С. 2.
- 11 Кочанов Д.И. Нано материалы и нано технологии для машиностроения: состояние и перспективы применения // *РИТМ*. 2010. № 8 (56). С. 16–21.
- 12 Revilla-León M., Özcan M. Additive manufacturing technologies used for 3D metal printing in dentistry // *Current Oral Health Reports*. 2017. V. 4. № 3. P. 201-208.
- 13 Слюсар В. Фаббер-технологии. Новое средство трехмерного моделирования // *Электроника: наука, технологии, бизнес*. 2003. № 5. С. 54–60.
- 14 Смуров И.Ю., Конов С.Г., Котобан Д.В. О внедрении аддитивных технологий производства в отечественную промышленность // *Новости материаловедения*. Наука и техника. 2015. № 2 (14). С. 11–22.
- 15 Сотов А.В.; Смелов В.Г.; Агаповичев А.В.; Зайцев И.О. Разработка аддитивных технологических процессов изготовления жаровых труб ГТД из отечественного порошка марки ВВ751П // *Аддитивные технологии: настоящее и будущее*. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, 2018. С. 122.
- 16 Степанова Е.Ю., Поляндова Л.И. Высокие технологии в инновационной экономике // *Известия Орловского государственного технического университета. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2007. № 3/267(533). С. 156–167.
- 17 Тринева Т.Л. Rapid Prototyping (RP). Технологии получения твердотельных 3D CAD-моделей // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2018. № 6 (12). С. 37–40.
- 18 Федотов А.В. Новые технологии порошковой металлургии // *Материалы в машиностроении*. 2012. № 1 (76). С. 53–56.
- 19 Investing in the Future Part 1 of 3: Seeking Courageous Investors. URL: <https://www.essentium.com/blog/203-D-Printing-Manufacturing-Process-is-Here-Independent-globalforum-for-the-Unmanned-Aircraft-Systems-community>. URL: <http://www.uasvision.com>

References

- 1 Ahsan M.N. et al. A comparative study of laser direct metal deposition characteristics using gas and plasma-atomized Ti-6Al-4V powders. *Materials Science and Engineering*. 2011. pp. 7648–7657.
- 2 Additive manufacturing and 3D printing. Available at: <https://blog.iqb.ru/additive-manufacturing-basics/> (in Russian).
- 3 Additive technologies as breakthrough innovations in resource saving of the 21st century. Available at: <https://pandia.ru/text/80/141/9861.php> (in Russian).

- 4 Alexandrova V.V., Zaitseva A.A. 3D technology and cognoprogramming. Information-measuring control systems. 2012. no. 5. vol. 10. pp. 61–64. (in Russian).
- 5 Birger I.A. et al. Calculation of the strength of machine parts. Mechanical Engineering, 1979. 702 p. (in Russian).
- 6 Zlenko M.A., Popovich A.A., Mutylina I.N., Additive technologies in mechanical engineering. 2013. (in Russian).
- 7 Historical preconditions for the emergence of additive technologies. Available at: <https://extxe.com/9626/vvedenie-i-istorija-additivnyh-tehnologij/> (in Russian).
- 8 Amini M., Chang S. I. MLCPM: A process monitoring framework for 3D metal printing in industrial scale. Computers & Industrial Engineering. 2018. vol. 124. pp. 322-330.
- 9 Karpova T., Satskaya Z., Kulikova S., Eroshkina E. New items and trends. Additive technologies. 2020. no. 3. pp. 18. (in Russian).
- 10 Karpova T., Additive technologies in development. Additive technologies. 2020. no. 2. pp. 2. (in Russian).
- 11 Kochanov D.I. Nano materials and nano technologies for mechanical engineering: state of the art and application prospects. RITM. 2010. no. 8 (56). pp. 16–21. (in Russian).
- 12 Revilla-León M., Özcan M. Additive manufacturing technologies used for 3D metal printing in dentistry. Current Oral Health Reports. 2017. vol. 4. no. 3. pp. 201-208.
- 13 Slusar V. Fabber technologies. A new tool for three-dimensional modeling. Electronics: science, technology, business. 2003. no. 5. pp. 54–60. (in Russian).
- 14 Smurov I.Yu., Konov S.G., Cotoban D.V. On the introduction of additive technologies and production in the domestic industry. Materials Science News. Science and technology. 2015. no. 2 (14). pp. 11–22. (in Russian).
- 15 Sotov A.V., Smelov V.G., Agapichev A.V., Zaitsev I.O. Development of additive technological processes for the manufacture of flame tubes of gas turbine engine from domestic powder grade VV751P. Additive technologies: the present and the future. Moscow, All-Russian Research Institute of Aviation Materials, 2018. pp. 122. (in Russian).
- 16 Stepanova E.Yu., Polandova L.I. High technologies in an innovative economy. Bulletin of the Oryol State Technical University. Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2007. no. 3/267 (533). pp. 156–167. (in Russian).
- 17 Trineva T.L. Rapid Prototyping (RP) Technologies for obtaining solid 3D CAD models. Eastern European Journal of Advanced Technologies. 2018. no. 6 (12). pp. 37–40. (in Russian).
- 18 Fedotov A.V. New technologies of powder metallurgy. Materials in mechanical engineering. 2012. no. 1 (76). pp. 53–56. (in Russian).
- 19 Investing in the Future Part 1 of 3: Seeking Courageous Investors. Available at: <https://www.essentium.com/blog/>
- 20 3-D Printing Manufacturing Process is Here; Independent globalforum for the Unmanned Aircraft Systems community. Available at: <http://www.uasvision.com>

Сведения об авторах

Галина С. Армашова-Тельник к.э.н., доцент, кафедра программно-целевого управления в приборостроении, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия, atgs@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9370-5875>

Полина Н. Соколова ассистент, кафедра программно-целевого управления в приборостроении, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия, atgs@yandex.ru

Денис В. Дегтерев магистрант, кафедра программно-целевого управления в приборостроении, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, ул. Большая Морская, 67, г. Санкт-Петербург, 190000, Россия, atgs@yandex.ru

Вклад авторов

Галина С. Армашова-Тельник написала рукопись, отрецензировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Полина Н. Соколова консультация в ходе исследования

Денис В. Дегтерев обзор литературных источников по исследуемой проблеме

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Galina S. Armashova-Telnik associate professor, target program management in instrument making department, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya str., 67, St. Petersburg, Russia, 190000, Russia, atgs@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9370-5875>

Polina N Sokolova assistant lecturer, target program management in instrument making department, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya str., 67, St. Petersburg, Russia, 190000, Russia, atgs@yandex.ru

Denis V Degterev master student, target program management in instrument making department, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Bolshaya Morskaya str., 67, St. Petersburg, Russia, 190000, Russia, atgs@yandex.ru

Contribution

Galina S. Armashova-Telnik wrote the manuscript, corrected it before submitting it to the editor and is responsible for plagiarism

Polina N Sokolova consultation during the study

Denis V Degterev review of literary sources on the problem under study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 20/10/2020	После редакции 20/11/2020	Принята в печать 03/12/2020
Received 20/10/2020	Accepted in revised 20/11/2020	Accepted 03/12/2020