

Обоснование внедрения аддитивного производства на машиностроительное предприятие

Юрий Владимирович Катаев, Михаил Геннадьевич Загоруйко, Алексей Сергеевич Свиридов, Сергей Петрович Тузилин

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Россия

e-mail: agroingenep@yandex.ru

Аннотация: Современное машиностроение в большей степени начинает представлять из себя симбиоз смежных технологий и средств производства готовой продукции, пройдя все этапы от эскиза до полнофункционального прототипа. Одним из ключевых прорывов при уменьшении затрат на изготовление продукции является внедрение аддитивного производства на машиностроительные предприятия. В работе рассмотрены наиболее востребованные и актуальные типы технологий аддитивного производства; дана методика определения коэффициента эффективности внедрения такого типа производства на машиностроительное предприятие. Продемонстрировано создание участка АП на базе Федерального научного агроинженерного центра «ВИМ».

Ключевые слова: техника; аддитивное производство; 3D-печать; система автоматизированного проектирования; FDM; SLS; SLS.

Для цитирования: Катаев Ю. В., Загоруйко М. Г., Свиридов А. С., Тузилин С. П. Обоснование внедрения аддитивного производства на машиностроительное предприятие // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 104–107. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp104-107>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Justification for the introduction of additive manufacturing on machine-building enterprise

Yuriy V. Kataev, Mikhail G. Zagoruiko, Alexey S. Sviridov, Sergei P. Tuzhilin

“Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

e-mail: agroingenep@yandex.ru

Abstract. Modern mechanical engineering is increasingly beginning to be a symbiosis of related technologies and means of manufacturing finished products, having gone through all the stages from a sketch to a fully functional prototype. One of the key breakthroughs in reducing the cost of manufacturing products is the introduction of additive manufacturing (AM) at machine-building enterprises. The paper considers the most popular and relevant types of AP technologies, gives a methodology for determining the efficiency factor for introducing this type of production to a machine-building enterprise. The work also demonstrates the creation of an AP site on the basis of the Federal Scientific Agroengineering Center “VIM”.

Keywords: technology; additive manufacturing; 3D printing; computer-aided design; FDM; SLS; SLS.

For citation: Kataev Yu. V., Zagoruiko M. G., Sviridov A. S., Tuzhilin S. P. Justification for the introduction of additive manufacturing on machine-building enterprise. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(9): 104–107. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i9pp104-107>.

Введение. Развитие современной науки и техники предопределяет поэтапное преобразование традиционных методов производства во многих сферах деятельности. Одним из ярких примеров такого преобразования, а в некоторых сферах производства и трансформации, является внедрение аддитивного производства (АП). Аддитивное производство включает в себя набор технологий, с помощью которых создаются физические трехмерные объекты за счет послойного выращивания, при этом используемое сырье может меняться в зависимости от применяемой технологии. Ключевой особенностью для использования аддитивного производства на предприятиях является наличие специалиста, умеющего работать со специальным программным обеспечением (ПО) для создания трехмерных объектов, их грамотного расположения и подготовки управляющего G-кода [1, 2].

Процесс изготовления физического объекта технологиями АП включает в себя ряд последовательных операций. Изначально создается эскиз в специальном программном обеспечении – системе автоматизированного проектирования (САПР). Наиболее широко применяемый тип ПО в мире – SolidWorks и ряд приложений семейства Autodesk [5, 6]. Следующим шагом служит преобразование подготовленного трехмерного объекта в управляющую команду, для оборудования, использующегося при изготовлении деталей технологиями АП [3, 4]. В качестве оборудования используют станки с числовым программным обеспечением (3D-принтеры), позволяющие послойно выращивать физические трехмерные объекты.

К наиболее востребованным и применяемым технологиям аддитивного производства полимерных изделий можно отнести:

технологии послойного наплавления термопластичных полимеров (FDM). Сущность этой технологии заключается в том, что исполняющий орган (печатающая головка) нагревает до определенной температуры филамент, выполненный в виде прутка с диаметром 1,75 или 2,85 мм, и равномерно в рабочей камере 3D-принтера укладывает его слой за слоем. Последующие слои ложатся на поверхность предыдущих, тем самым поэтапно формируя будущий физический трехмерный объект [8].

технологии лазерного спекания порошков (SLS). Для данного метода производства изделий используют порошковый пластик, керамику или металл. Материал за счет использования ракеля помещается в зону нагрева и запекается лазерным лучом в твердый слой. Далее зона нагрева отпускается, подается новая порция материала и процесс повторяется по замкнутому циклу до полного выращивания изделия [10].



технологии лазерной стереолитографии (SLA). Является одной из самых распространённых в многих сферах производства. В качестве материала используется жидкий полимер (реактопласт), отверждение которого происходит под воздействием лазерного луча с определенной длиной волны. 3D-принтер, работающий по этой технологии, содержит платформу, которая погружается в емкость (ванну), где расположен жидкий полимер. Далее слой за счет использования лазера засвечивается, платформа с будущим изделием опускается ниже, образуя новый слой. И так происходит до полного выращивания заданного трехмерного объекта [7].

Цель исследования – произвести оценку возможного внедрения аддитивного производства на предприятия машиностроительной отрасли.

Методика исследований. Аддитивное производство в том виде, в котором имеется в настоящее время, не может заменить традиционные методы производств по ряду причин. К основным факторам сдерживания внедрения АП можно отнести завышенную стоимость технологий; нехватку квалифицированных кадров; отсутствие специализированного метрологического обеспечения.

Однако, что касается завышенной стоимости технологий, то в последнее время наблюдается тенденция понижения цен на оборудование. Например, в России по состоянию на 2021 г. объем рынка, включающего в себя оборудование, материалы, услуги и различные НИОКР, связанные с АП, прогрессирует устойчивым, быстрым темпом, демонстрируя ежегодный рост около 20 %, что в денежном эквиваленте составляет порядка 4,5 млрд руб.

Нехватка квалифицированных кадров в ближайшем будущем компенсируется открытием новых образовательных программ на базах ведущих машиностроительных университетов и институтов, а также за счет программ переподготовки.

Для метрологического обеспечения в настоящее время во многих странах ведутся работы над стандартами испытаний, которые будут положены в основы моделирования и конструирования изделий методами аддитивного производства.

Наиболее перспективной бизнес-моделью применения аддитивных технологий видится появление лабораторий, отделов или цехов на машиностроительных предприятиях, которые будут закрывать как свои потребности, так и оказывать комплекс услуг для сторонних организаций. Основной деятельностью таких организаций могут выступать: трехмерное проектирование, подготовка и адаптация модели к производству, разработка технологической карты производства, опытное производство с составлением всей необходимой технической документацией, запуск серийного производства.

При сборе информации и обработке полученных результатов в работе были применены классические методы статистики.

Результаты исследований. Для оценки внедрения аддитивного производства на предприятия существуют критерии эффективности, где необходимо учитывать полное изготовление конечного изделия и частичное применение технологий АП. Немаловажным аспектом являются квалифицированные кадры, которые не требуют дополнительного образования, тем самым сохраняя бюджет предприятия и повышая эффективность производства.

При выполнении изделия полностью аддитивным производством коэффициент эффективности определяется из следующих соотношений:

$$K_1 = \frac{\mathfrak{E}_a}{\mathfrak{E}_d}, \quad (1)$$

где K_1 – параметр эффективности внедрения аддитивного производства по энергоэффективности; $\mathfrak{E}_a$ – энергозатраты после внедрения аддитивных технологий для изготовления изделия; $\mathfrak{E}_d$ – энергозатраты до внедрения.

$$K_2 = \frac{M_a}{M_d}, \quad (2)$$

где K_2 – параметр эффективности внедрения аддитивного производства по коэффициенту материалоемкости; M_a – материалоемкость изделия после внедрения аддитивных технологий для изготовления изделия; M_d – материалоемкость изделия до внедрения.

$$K_3 = \frac{t_a}{t_d}, \quad (3)$$

где K_3 – параметр эффективности внедрения аддитивного производства по времени изготовления изделия; t_a – материалоемкость изделия после внедрения аддитивных технологий для изготовления изделия, t_d – время изготовления изделия до внедрения.

Тогда условие эффективности выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} K_1 < 1 \\ K_2 < 1 \\ K_3 < 1 \end{cases} \quad (4)$$

Внедрение аддитивного производства как полного изготовления конечного изделия наилучшим образом показывает себя при штучной, мелкой и средней сериях. По данным Global Additive Manufacturing Market на 2025 г. прогнозируется активный рост мировых разработок внедрения аддитивных технологий в авиакосмической и оборонной отраслях, электронике, автомобильной промышленности, сельском хозяйстве и строительстве (рис. 1).



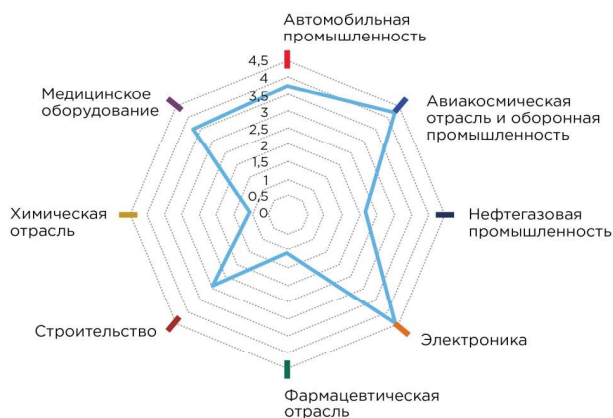


Рис. 1. Динамика внедрения аддитивного производства в различных отраслях промышленности

дозирования питательных веществ при выращивании микрозелени в климатических камерах (рис. 3).

Заключение. В работе проанализированы основные факторы сдерживания внедрения аддитивного производства на машиностроительные предприятия. Рассмотрены наиболее востребованные технологии АП: FDM, SLS и SLA 3D-печать. Даны коэффициенты эффективности при условии полного использования аддитивных технологий в качестве производства продукции. Представлены результаты внедрения аддитивного производства на базе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ с данными по загруженности различного типа оборудования за 2020 и 2021 гг.

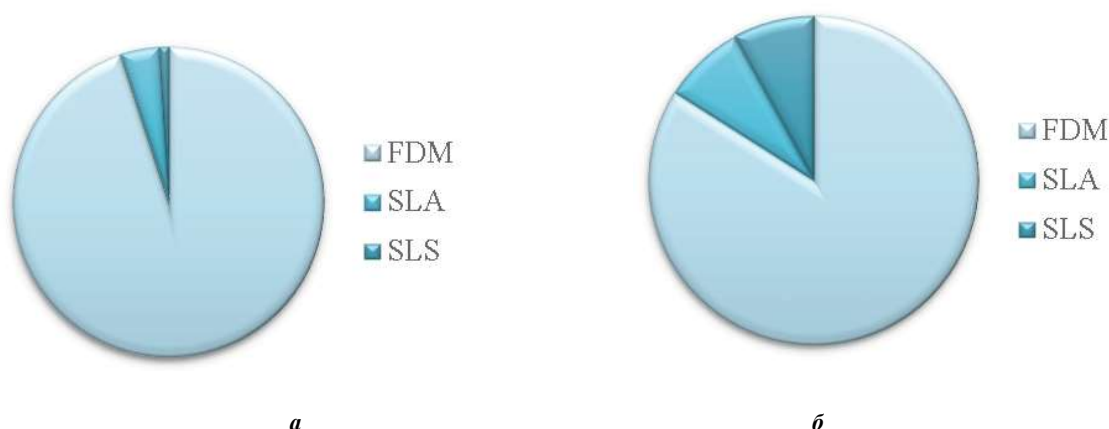


Рис 2. Данные по загруженности разного типа оборудования: а – 2020 г.; б – 2021 г.

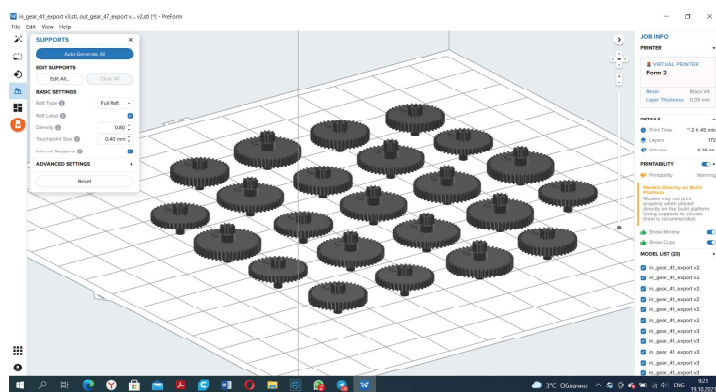


Рис 3. Зубчатые колеса механизма дозирования питательных веществ

Одним из примеров успешного внедрения аддитивного производства может служить «Федеральный научный агроинженерный центр» ВИМ [9]. На базе данной организации имеется участок АП, специалисты которого занимаются трехмерным проектированием различных деталей новой сельскохозяйственной техники и оборудования, с последующей адаптацией моделей к производству и запуску мелкосерийного производства.

На рис. 2 представлены данные по загруженности разного типа аддитивного оборудования за 2020 и 2021 гг. Наиболее востребованным материалом для трехмерной печати оказался ABS пластик – его доля от общего количества израсходованного пластика составляет 72 %. На долю полиамида и композитных материалов пришлось 12 и 9 % соответственно. На долю всех остальных материалов приходится порядка 7 %.

Примером среднесерийного производства изделий может служить изготовление зубчатых колес по технологии аддитивного производства SLA для механизмов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возможности применения 3D- технологий в ремонтном производстве / Ю.В. Башкирцев [и др.]. М.: ФГБОУ РИАМА, 2020. 44 с.
2. Голубев И.Г., Федоренко В.Ф. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве и техническом сервисе сельскохозяйственной техники. 2-е изд. М., 2020. 137 с.
3. Дорохов А.С., Свиридов А.С. Применение аддитивных технологий при техническом сервисе садовой техники // Агроинженерия. 2020. № 6 (100). С. 39–44.
4. Дорохов А.С. Входной контроль качества машиностроительной продукции, поставляемой сельскому хозяйству. М., 2010. 211 с.
5. Дорохов А.С., Катаев Ю.В., Краснящих К.А., Вялых Г.М. Компьютерное проектирование в системе AUTOCAD. М., 2016. 80 с.

6. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Дорохов А.С. Компьютерные технологии проектирования в учебном процессе агроинженерных вузов // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2010. № 4 (43). С. 82–85.
7. Панков Д.Э., Соломонов И.А., Терин А.М., Тутушкин А.К. Лазерная стереолитография (SLA): технология 3D-печати // Молодой ученый. 2020. № 48 (338). С. 48–49.
8. Sviridov A., Lopatina Yu., Kurganova I. 3D-printed polyether ether ketone samples mechanical properties estimation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012021.
9. Свиридов А.С., Тужилин С.П., Лопатина Ю.А. Использование цифровой 3D-фермы в ремонтном производстве сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2019. № 1 (134). С. 93–99.
10. Славкина В.Э., Мирзаев М.А., Лопатина Ю.А. Применение технологии 3D-печати для оптимизации ремонта зубчатых передач // Технический сервис машин. 2020. № 1 (138). С. 58–64.

REFERENCES

1. Possibilities of using 3D technologies in repair production / Yu.V. Bashkirtsev et al. Moscow, 2020. 44 p. (In Russ.).
2. Golubev I.G., Fedorenko V.F. Prospects for the use of additive technologies in the production and technical service of agricultural machinery. 2nd ed. Moscow, 2020. 137 p. (In Russ.).
3. Dorokhov A.S., Sviridov A.S. The use of additive technologies in the technical service of garden equipment. *Agricultural engineering*. 2020; 6 (100): 39–44. (In Russ.).
4. Dorokhov A.S. Input quality control of machine-building products supplied to agriculture. Moscow, 2010. 211 p. (In Russ.).
5. Dorokhov A.S., Kataev Yu.V., Krasnyashchikh K.A., Vyalykh G.M. Computer design in the AUTOCAD system. Moscow, 2016. 80 p. (In Russ.).
6. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Dorokhov A.S. Computer design technologies in the educational process of Agroengineering universities. *Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin"*. 2010; 4 (43) ; 82–85. (In Russ.).
7. Pankov D.E., Solomonov I.A., Terin A.M., Tutushkin A.K. Laser stereolithography (SLA): 3D printing technology. *Young scientist*. 2020; 48 (338): 48–49. (In Russ.).
8. Sviridov A., Lopatina Yu., Kurganova I. 3D-printed polyether ether ketone samples mechanical properties estimation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019: 012021. (In Russ.).
9. Sviridov A.S., Tuzhilin S.P., Lopatina Yu.A. The use of a digital 3D farm in the repair of agricultural machinery. *Technical service of machines*. 2019; 1 (134): 93–99. (In Russ.).
10. Slavkina V.E., Mirzaev M.A., Lopatina Yu.A. Application of 3D printing technology to optimize the repair of gears. *Technical service of machines*. 2020; 1 (138): 58–64. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 22.05.2022; одобрена после рецензирования 12.06.2022; принята к публикации 15.06.2022.

The article was submitted 22.05.2022; approved after reviewing 12.06.2022; accepted for publication 15.06.2022.

