

Эффективность внедрения аддитивных технологий при изготовлении неметаллических деталей в промышленности и других отраслях экономики

А.Ф. Шуплецов^а, Н.С. Удалов^б

Байкальский государственный университет, ул. Ленина, 11, Иркутск, Россия

^а ShupletsovAF@bgu.ru, ^б nikita_pilot00@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-9595-9163>, ^б <https://orcid.org/0009-0006-0218-882X>

Статья поступила 24.11.2024, принята 12.12.2024

В статье рассматриваются сущность, роль, значение аддитивных технологий. Изучены достоинства и недостатки методов 3D-печати изделий, узлов промышленного и гражданского назначения. Выделено, что основными преимуществами 3D-печати по сравнению с другими технологиями являются возможность изготовления изделий сложной геометрии с очень высокой точностью, скорость изготовления и безотходность производства. Но при этом как основной недостаток стоит отметить невысокую прочность полимеров при послойном нанесении, что снижает прочность изделия в целом по сравнению с традиционными методами. Выделены основные области применения аддитивных технологий – медицина (стоматология и другие направления), машиностроение, авиакосмическая и авиационная отрасль, ювелирная и сувенирная сферы. Отмечена нецелесообразность применения данных технологий в сфере строительства. В ходе исследования также изучены основные виды 3D-печати. Проанализированы и описаны методики работы в рамках данной технологии. Выделены отрицательные и положительные аспекты технологии. Описана область применения каждого из перечисленных видов. Авторами рассчитана величина прямых затрат на изготовление аддитивным методом для оценки экономической эффективности производства изделий. Результаты расчетов показали, что наибольшая доля расходов приходится на заработную плату персоналу, а наименьшая – на материальные затраты. Был проведен анализ рыночных цен и прямых затрат при изготовлении деталей и составляющих узлов методом FDM как наиболее распространенным и доступным в данной сфере. По результатам исследования сделан вывод о том, что на производственной базе компании экономически выгодна организация участков по изготовлению деталей с применением аддитивных технологий для последующего восстановительного ремонта узлов или агрегатов.

Ключевые слова: аддитивные технологии; изготовление металлических и неметаллических изделий; оценка эффективности; 3D-печать.

Efficiency of introducing additive technologies in the production of non-metallic parts in industry and other sectors of the economy

A.F. Shupletsov^а, N.S. Udalov^б

Baikal State University; 11, Lenin St., Irkutsk, Russia

^а ShupletsovAF@bgu.ru, ^б nikita_pilot00@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-9595-9163>, ^б <https://orcid.org/0009-0006-0218-882X>

Received 24.11.2024, accepted 12.12.2024

The article discusses the essence, role, and significance of additive technologies. The advantages and disadvantages of 3D printing methods for products, assemblies for industrial and civil purposes are studied. It is highlighted that the main advantage of 3D printing compared to other technologies is the ability to manufacture a product of complex geometry with very high accuracy, speed of production and waste-free production. But the main disadvantage is the low strength of polymers during layer-by-layer application, which reduces the strength of the product compared to traditional methods. The main areas of application of additive technologies are highlighted: medicine (dentistry and other areas), mechanical engineering, aerospace and aviation industries, jewelry and souvenirs. In the construction sector, the inappropriateness of using these technologies is noted. The study also examines the main types of 3D printing. Work methods within the framework of this technology are analyzed and described. Negative and positive aspects of technology are highlighted. The scope of application of each of the listed types is described. The direct costs of manufacturing using the additive method to assess the economic efficiency of product production are calculated. The calculation results show that the largest share of expenses falls on the payment of wages to personnel, and the smallest on material costs. An analysis of market prices and direct costs in the manufacture of parts and components using the FDM method, as the most common and accessible in this area, is also carried out. Based on the results of the study, it is concluded that at the company's production base it is economically beneficial to organize areas for the production of parts using additive technologies for subsequent refurbishment of components or assemblies.

Keywords: additive technologies; production of metal and non-metal products; efficiency assessment; 3D printing.

Введение. Еще в доисторическую эпоху люди начали добывать и обрабатывать металл для изготовления деталей, которые использовались не только в военном деле или сельском хозяйстве, но и в зарождавшейся в то время ювелирной сфере. Во времена промышленной революции обработка металла получила широкое распространение. С течением времени потребность в качественных изделиях, отвечающих определенным требованиям, росла, осваивались новые методы обработки металлов. На сегодняшний день металлообработка является одной из основных технологий производства изделий, хотя и идет постепенное смещение в сторону пластика. Без свойств¹ металлических деталей не обойтись в промышленности, строительстве и других видах жизнедеятельности человека.

Наиболее распространенные виды обработки металлов — это литье, обработка давлением, субтрактивные технологии, или механическая обработка, сварка. Но они имеют недостатки, многие из которых отсутствуют у деталей, изготовленных на 3D-принтере из металла или пластика.

С другой стороны, при изготовлении деталей с помощью аддитивных технологий производственных отходов гораздо меньше, чем при использовании традиционных методов металлообработки. Коэффициент использования материала при изготовлении детали методом отливки составляет 0,07, а при лазерном выращивании 0,94².

При печати металлических изделий методом электронно-лучевого плавления (ЭЛП) неиспользованный металлический порошок в производстве изделия может быть применен повторно. При использовании аддитивных технологий изготовления изделий снижаются прямые затраты на производство, увеличивается прибыль с каждой произведенной единицы продукции (рис. 1), изделия обладают такими же прочностными свойствами, как и изготовленные традиционным методом металлообработки, а в некоторых случаях и превосходят их.

Важными показателями для оценки экономической эффективности внедрения аддитивных методов производства деталей являются время и трудоемкость их изготовления. В случае традиционных методов металлообработки потребуется время для фрезеровки, токарных работ, гальванической и термической обработки, слесарных работ. На каждом из этапов может возникнуть брак. В то время

как при рассматриваемом методе изготовления изделий время производственного цикла значительно сокращается и определяется только одним процессом — послойным спеканием (рис. 2).

Преимуществом 3D-печати перед другими технологиями является возможность изготовления с высокой точностью изделий сложной геометрии.

Результаты. В подтверждение сказанному оценочные результаты исследования по эффективному использованию аддитивных технологий, которые показывают, что изготовленная деталь обладает свойствами, близкими к свойствам изделия, произведенного с помощью традиционных технологий. При этом удается снизить себестоимость изготовления в десятки раз, значительно сокращается время на подготовку к производству, снижается трудоемкость изготовления, растет производительность труда³.

Учитывая эти преимущества, аддитивные технологии получили широкое распространение во многих сферах промышленности. 3D-печать успешно используется в медицине и стоматологии для изготовления сложных индивидуальных протезов или хирургических имплантов, изготовления кап для исправления прикуса или высокоточных слепков, протезов зубов различной степени сложности. При планировании операций можно напечатать орган или пораженную зону с высокой детализацией на основе данных МРТ или КТ.

По результатам проведенных наблюдений за группой исследуемых, которым были заменены сегменты позвоночника на сегменты, изготовленные методом SLS-прототипирования, было установлено, что благодаря высокой степени детализации изделий и индивидуальному протезированию структур стало возможным адекватно распределить нагрузку, исключить развитие ишемических костных изменений в зонах контакта протеза и смежных здоровых позвонков⁴.

Одной из основных областей применения аддитивных технологий стала авиационная отрасль. Первой из компаний стала GE Aviation. Например, такой сложный функциональный узел, как форсунки в двигателе (рис. 3), ранее собирался из нескольких десятков элементов, каждый из которых изготавливался отдельно, сейчас же он изготавливается на 3D-принтере без потери своих прочностных свойств.

¹ К отличительным свойствам металла можно отнести твердость, ковкость, пластичность, тепло- и электропроводимость, высокую прочность на растяжение, непрозрачность и наличие отличительного блеска, что позволяет полировать деталь, а также высокую температуру плавления и кипения.

² Глухов В.В. Экономическая эффективность технологии прямого лазерного выращивания в промышленности / В.В. Глухов, Г.А. Туричин // Теоретические основы формирования промышленной политики. — С.-Пб: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2015. С. 186. EDN VDLGFD.

³ Эффективность использования аддитивных технологий как альтернативы традиционным субтрактивным технологиям при изготовлении сложных деталей из металла / А. С. Агафонцев, Н. Н. Вовк, Ю. В. Клевнов [и др.] // Труды РЯЦ-ВНИИЭФ. 2017. № 22-2. С. 231. EDN LVQBCC.

⁴ Экспериментальное обоснование технологии персонализированного эндопротезирования позвоночно-двигательного сегмента при туберкулезных спондилитах с использованием аддитивных технологий / И. А. Доценко, С. Н. Скорняков, И. Д. Медвинский, А. К. Чертков // Туберкулез и болезни легких. 2018. Т. 96, № 12. С. 67. DOI 10.21292/2075-1230-2018-96-12-66-67. EDN OCKRPQ.

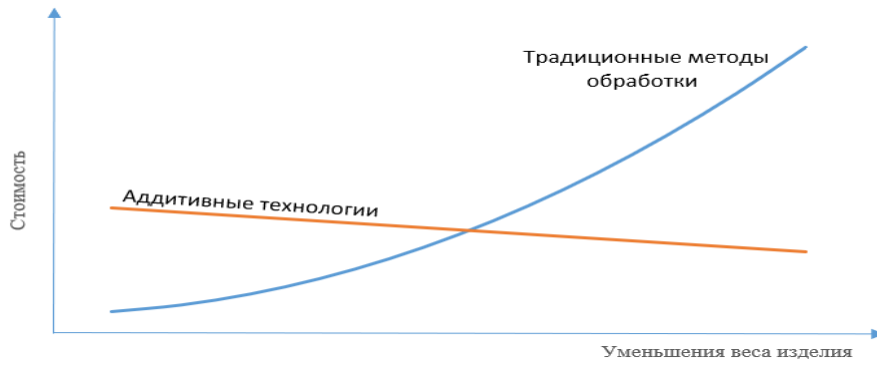


Рис. 1. Графическое отображение динамики снижения стоимости изделия при уменьшении веса

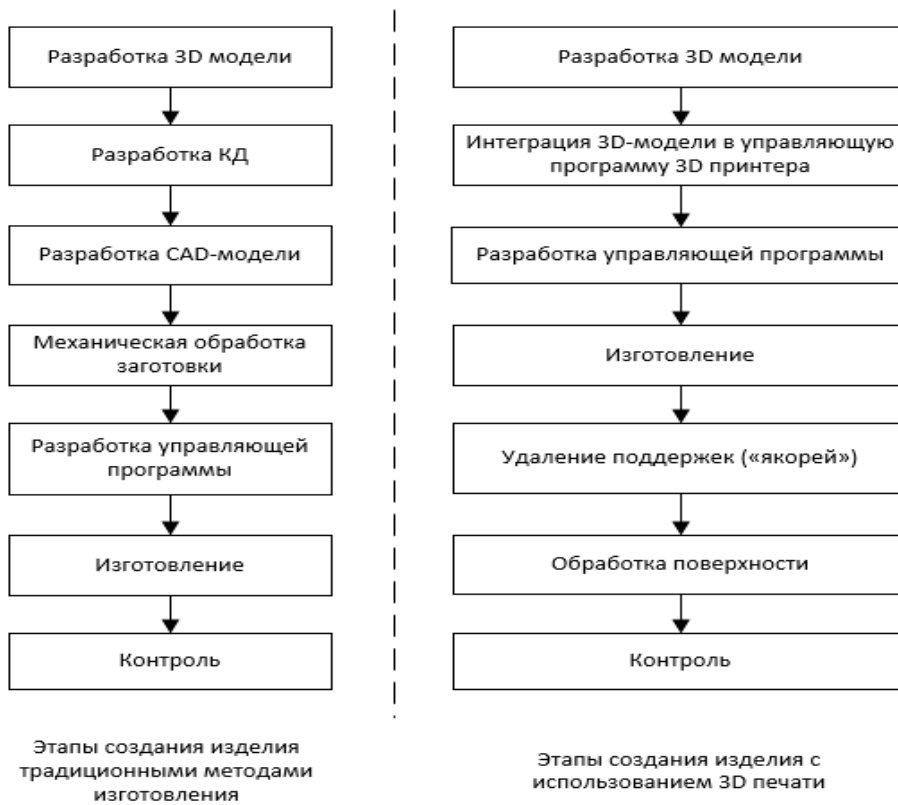


Рис. 2. Сравнение этапов изготовления изделия при помощи традиционного и аддитивного методов его изготовления

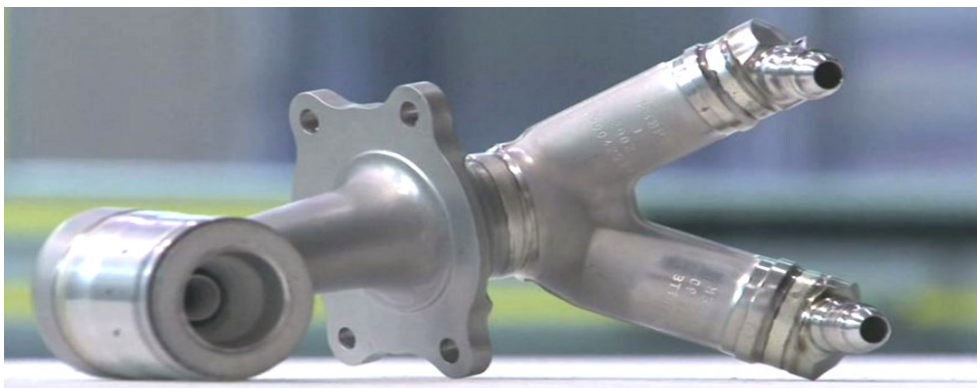


Рис. 3. Форсунка, изготавливаемая на 3D принтере

Для облегчения конструкции БПЛА (беспилотного летательного аппарата) используют рамы, крепления корпуса или даже некоторые механические части, напечатанные на 3D-принтере. Широкое распространение печать деталей получила благодаря легкости и прочности используемых материалов, из которых изготавливаются изделия, а также сравнительно невысокой стоимости.

Распространено применение аддитивных технологий в ювелирной и сувенирной сферах деятельности. На примере статуэтки «Аист-боксер» для Белорусской федерации бокса был проведен анализ изготовления статуэтки при помощи послойного формирования в сравнение с образцами, выполненными методом отливки из бронзы и пластмассы. В результате затраты на изготовление статуэтки «Аист-боксер» составили 78,94 р. за одно изделие⁵.

Несмотря на положительные качества изготовления изделий методом 3D-печати, в некоторых случаях производство этим методом может стать экономически нецелесообразным. Например, пластиковую посуду или хозяйственные предметы целесообразнее изготавливать методом экструзии, т. е. в формующую фильеру выдавливают нагретую пластмассу, которая при остывании принимает форму фильера. В подобных условиях простота формы и низкие требования к материалу изделия обуславливают экономическую целесообразность изготовления подобных продуктов методами 3D-печати.

С другой стороны, специалисты из области строительства отмечают нецелесообразность применения подобных технологий тем, что главным недостатком 3D-печати является низкая прочность полимеров при сравнении с традиционными выпускаемыми аналогами строительных материалов, при этом послойное нанесение (FDM) сильно влияет на прочность изделия⁶.

Таким образом, применение аддитивных технологий уже в настоящее время является перспективным направлением в отраслях медицины, машиностроения, в авиакосмической отрасли. Но развитие аддитивных технологий не останавливается, и на смену 3D-печати приходит 5D-печать, которая позволит повысить прочность изготавливаемых изделий и с повышением качества сферы применения аддитивных технологий будет занимать новые ниши⁷.

⁵ Современные технологии изготовления изделий сложных форм методом аддитивных технологий / А. В. Садовская, В. М. Александров, В. В. Коваленя, И. С. Пентковский // Потребительская кооперация. 2023. № 3(82). С. 22. EDN TYRTYU.

⁶ Старостина Н. А. Новые технологии в строительстве и влияние их внедрения на трудовые ресурсы / Н. А. Старостина // Вестник МГЭИ (on line). 2022. № 1. С. 153. DOI 10.37691/2619-0265-2022-0-1-149-156. EDN GGQJDB.

⁷ Самаруха А. В. Методологические аспекты долгосрочного прогнозирования индустриального развития региона в условиях технологического эмбарго / А. В. Самаруха, В.И. Самаруха // Экономика и пред-

Рассмотрим методы и проведем сравнительный анализ изготовления изделий с использованием аддитивных технологий. Методы изготовления деталей при помощи аддитивных технологий:

1. FDM (*Fused Deposition Modeling*) – моделирование методом наплавления. Он основан на расплавлении материала и нанесении его слой за слоем через сопло-дозатор. Преимущества: высокая точность изготовления изделия, высокая скорость, низкая себестоимость, широкий ассортимент применяемых полимеров. Недостатки: необходимость в последующей обработке изделия. Метод получил широкое распространение в медицинской и кулинарной сферах деятельности.

2. *PolyJet* – фотополимерная печать. Печать изделия осуществляется путем распыления жидкого фотополимера и под воздействием УФ излучения закрепления небольших порций жидкого фотополимера. Технология обладает высокой точностью детализации, гладкой поверхностью изделий, возможностью комбинировать как материалы, так и их цветовую гамму. К недостаткам можно отнести то, что для модели с нависающими или горизонтально выступающими элементами требуются поддержки, которые в дальнейшем необходимо удалять, а также невысокая вариативность материалов для работы. Метод получил широкое распространение в медицинской сфере.

3. LENS (*Laser Engineered Net Shaping*) – лазерное формообразование. Изготовление изделий напоминает метод *PolyJet*. Из сопла экструдера выдувается материал в форме порошка, и под действием сфокусированного лазерного луча происходит его спекание и формирование изделия. К преимуществам относят отсутствие необходимости в создании поддержек, так как сам порошок служит поддержкой при создании изделия, высокую температуру плавления. Недостатки: процесс энергозатратный, высокая стоимость расходных материалов и оборудования, высокие требования к внешним условиям (в рабочей камере должны быть вакуум или инертный газ). Этим методом происходит печать стальных и титановых моделей.

4. LOM (*Laminated Object Manufacturing*) – создание многослойных объектов. На рабочую поверхность или изделие разогретым роллером наклеивается лист определенного материала, при помощи лазера вырезается контур изделия. Рабочая поверхность поднимается вверх, и новый слой прилипает к предыдущему. Плюсы: низкая стоимость материалов, различные варианты постобра-

принимательство. 2022. № 9 (146). С. 512-516; Тертышник М. И. Система показателей оценки уровня конкурентоспособности промышленных предприятий / М. И. Тертышник // Азимут научных исследований: экономика и управление. 2022. Т. 11. № 1 (38). С. 40-43.

ботки (сверление, шлифовка, покраска), производство крупных моделей. Минусы: низкая прочность деталей, ограниченность применения, низкое разрешение печати (толщина слоя равна толщине материала). Метод применяется для быстрого прототипирования, создания макетов.

5. SLA (*Stereolithography*) – лазерная стереолитография. Рабочая поверхность опускается в ванну с жидкой фотополимерной смолой. Высота погружения рабочей поверхности равна одному слою модели. Когда рабочая поверхность погружается в смолу, несколько точечных лазеров, расположенных внутри принтера, начинают светить снизу на участки смолы, которые соответствуют контуру изделия, создавая первый слой детали. Платформа поднимается на высоту слоя, и процедура повторяется. Плюсы: высокая точность печати, гладкая поверхность детали, наличие настольных и промышленных моделей. Минусы: невысокая прочность изделий, дороговизна материалов и оборудования (принтеров). Методы получили широкое распространение в стоматологии, домашней печати, литьевом формировании, медицине.

6. EBM: (*Electron Beam Melting*) – электронно-лучевое плавление (ЭЛП). Перспективное направление изготовления металлических деталей при помощи аддитивных технологий. В рабочую камеру укладывается слой порошка, и под воздействием электронного излучателя происходит его спекание, образуя первый слой изделия и далее. Из плюсов можно выделить высокую плотность и механическую прочность объектов, возможность печати изделий со сложным контуром или сечением, отсутствие необходимости делать поддерж-

ки, безотходное производство, быстрое изготовление изделий, отсутствие сварных швов, печать в вакуумной камере позволяет работать с материалами, чувствительными к окислению, высокая скорость печати. Отрицательный показатель метода: высокая стоимость принтеров. Метод печати получил распространение в области изготовления монолитных изделий, функциональных прототипов, печати готовых изделий, имплантов, в аэрокосмической промышленности и медицине.

Можно сделать вывод о том, что технологии изготовления деталей продвинулись, на сегодняшний день многие промышленные компании, медицинские учреждения используют в своей деятельности методы аддитивного производства. Широкое их применение обусловлено геометрической сложностью изделий, их прочностными возможностями, быстротой изготовления и безотходностью производства.

Экономическая эффективность применения аддитивных технологий в промышленности. Для оценки экономической эффективности производства изделий при помощи аддитивных технологий оценим прямые затраты на их изготовление. В качестве вводных данных примем следующее: 3D-принтер (*Designer XL PRO series 2*), работающий на основе метода послойного наплавления пластика (FDM); месторасположение проекта – Иркутск; рабочий материал – филамент ($\varnothing 1,75$ мм); среднее время работы принтера в день – 6 ч; обслуживающий персонал – один оператор. Исходя из вводных и справочных данных, внесем необходимые показатели для последующего расчета в табл. 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Наименование	Единицы измерения	Значение
Цена <i>Designer XL PRO series 2</i>	р.	769 000
Энергопотребление 3D-принтера	кВт/ч	2,20
Максимальная скорость печати филаментом	м/ч	3,60
Среднее время работы 3D-принтера в день	ч	6,00
Амортизация (срок)	г	3
Количество рабочих дней в году	дней	248
Стоимость филамента ($\varnothing 1,75$ мм)	р./кг	1 859
Длина филамента массой 1 кг	м	335
Масса филамента для поддержек на изделия массой 1 кг	кг	0,10
Заработная плата оператора 3D-принтера с учетом налогов	р./ч	297,62
Стоимость электроэнергии в Иркутске	р./кВт*ч	1,58

Для удобства дальнейших расчетов примем, что для изготовления условной детали потребуется полностью израсходовать филамент массой 1 кг. Выполним расчет затрат электроэнергии на изготовление детали по формуле:

$$Z_{\text{электр.}} = \frac{l_{\text{филамента}} * N_{\text{энерг.потреб.}}}{V_{\text{печати}}}, \quad [1]$$

где $l_{\text{филамента}}$ — длина филамента массой 1 кг, м; $N_{\text{энерг.потреб.}}$ — энергопотребление 3D-принтера, кВт/ч; $V_{\text{печати}}$ — максимальная скорость печати филаментом, м/ч.

Затраты на электроэнергию:

$$Z_{\text{электр.}} = \frac{335 * 2,2}{3,6} = 204,72 \text{ кВт.}$$

Для расчета стоимости затрат на электроэнергию воспользуемся формулой:

$$P_{\text{электр.}} = Z_{\text{электр.}} * C_{\text{электр.}} \quad [2]$$

где $Z_{\text{электр.}}$ — затраты электроэнергии на изготовление, кВт*ч.; $C_{\text{электр.}}$ — стоимость электроэнергии в Иркутске, р./кВт*ч.

Тогда:

$$P_{\text{электр.}} = 204,72 * 1,58 = 323,46 \text{ руб.}$$

Для расчета стоимости затрат на поддержки воспользуемся формулой:

$$P_{\text{поддержки}} = \Pi * P_{\text{филамент}}, \quad [3]$$

где Π — масса филамента для поддержек на изделие массой 1 кг, кг; $P_{\text{филамент}}$ — стоимость филамента, р./кг.

Тогда:

$$P_{\text{поддержки}} = 1859 * 0,1 = 185,9 \text{ руб.}$$

Материальные затраты на изготовление детали определяются как сумма стоимости затрат на электроэнергию, материал для печати (филамент) и поддержки при изготовлении детали:

$$\sum P_{\text{мат.зат.}} = P_{\text{электр.}} + P_{\text{филамент}} + P_{\text{поддержки}}, \quad [4]$$

Тогда:

$$\sum P_{\text{мат.зат.}} = 323,46 + 1859,00 + 185,9 = 2368,36 \text{ руб.}$$

Для расчета расходов на оплату труда воспользуемся формулой:

$$P_{\text{з/п}} = \frac{l_{\text{филамента}} * 3П}{V_{\text{печати}}}, \quad [5]$$

где $3П$ — заработная плата оператора 3D-принтера с учетом налогов, р./ч.

Тогда:

$$P_{\text{з/п}} = \frac{335 * 297,62}{3,6} = 27\,695,11 \text{ руб}$$

Начисленная амортизация:

$$P_{\text{аморт.}} = \frac{C_{\text{3D принтера}} * l_{\text{филамента}}}{T_{\text{ср}} * D * V_{\text{печати}} * n}, \quad [6]$$

где $C_{\text{3D принтера}}$ — цена *Designer XL PRO series 2*, р.; $T_{\text{ср}}$ — среднее время работы 3D принтера за день, ч.; D — рабочих дней в году, дней; n — время амортизации, лет.

Тогда:

$$P_{\text{аморт.}} = \frac{769\,000 * 335}{6 * 248 * 3,6 * 3} = 16\,030,40 \text{ руб.}$$

В соответствии со ст. 318 Налогового кодекса Российской Федерации⁸, под прямыми расходами понимается сумма расходов на материальные затраты [4], расходы на оплату труда персонала [5], суммы начисленной амортизации [6]:

$$P_{\text{прям}} = \sum P_{\text{мат.зат.}} + P_{\text{з/п}} + P_{\text{аморт.}} \quad [7]$$

$$P_{\text{прям}} = 2\,368,36 + 27\,695,11 + 16\,030,40 = 46\,093,87 \text{ руб.}$$

... — Можно сделать вывод о том, что для изготовления детали, на печать которой будет использован 1 кг филамента, прямые расходы составят 46 093,87 р. Стоит обратить внимание на то, что самая крупная доля расходов (60 %) приходится на оплату заработной платы персоналу, а самая маленькая, 5,1 %, — на материальные затраты.

Для оценки экономической эффективности использования аддитивных технологий был проведен анализ рынков авиакосмической и автомобильной отрасли на предмет поиска часто отказывающихся деталей и узлов. В частности, в узловых соединениях был проведен анализ наиболее часто выходящих из строя деталей.

На основании проведенных расчетов прямых затрат на изготовление детали на 3D-принтере и анализа рынков был выполнен сравнительный анализ покупки новой детали (узла) и с изготовлением новой детали или части узла при помощи аддитивных технологий (табл. 2).

По результатам можно судить о том, что ремонт узлов путем замены непригодной для дальнейшего использования детали выгоден в 100 % приведенных случаев, а изготовление новых деталей взамен пришедших в негодность, как правило, невыгодно. Экономическая эффективность изготовления деталей для восстановительного ремонта узлов обуславливается высокой стоимостью самого узла относительно изготовления износившейся детали.

Отрицательные значения отношения стоимости поставки к стоимости при изготовлении свидетельствуют о том, что для изготовления деталей или узлов используются другие методы, как, например, литье или экструзия.

⁸ Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2024). Собрание законодательства РФ, 07.08.2000, № 32, ст. 3340

Таблица 2. Оценка эффективности внедрения аддитивных технологий

Отрасль	Вид мероприятия	Наименование	Стоимость у поставщика, р./шт.	Масса изделия, кг	Стоимость при изготовлении, р./шт.	Отношение стоимости у поставщика к стоимости при изготовлении, %
Авиакосмическая отрасль	Ремонт	Лампа «выход» / <i>Lamp Exit</i>	3 000,00	0,01	460,94	551
	Изготовление	Кнопки 6-209 ГОСТ 17563-80	100,80	0,00	138,28	-27
		Декоративная заглушка	15,50	0,01	230,47	-93
Автомобильная отрасль	Ремонт	Крепление резинового уплотнителя на двери а/м <i>Volvo 850</i>	1 470,00	0,01	322,66	356
		Шестерня для сервопривода раздатки а/м <i>BMW</i>	2 500,00	0,03	1 382,82	81
		Втулка закрытия крышки бензобака а/м <i>Volvo 850</i>	316,00	0,00	92,19	243
		Шестерня привода замка двери а/м <i>Range Rover</i>	6 226,00	0,03	1 290,63	382
		Доводчик крышки бардачка а/м <i>Range Rover</i>	2 740,00	0,00	92,19	2872
	Изготовление	Электрическая вакуумно-всасывающая моторная шестерня	2 509,00	0,02	691,41	263
		Пистоны для крепления накладок порогов	200,00	0,00	138,28	45
		Комплект для ремонта направляющих электрического люка на <i>Range Rover</i>	3 502,00	0,23	10 601,59	-67
		Клипсы для внутренней обшивки <i>Nissan</i>	11,99	0,00	138,28	-91
		Колпачки заглушки на литые диски а/м <i>Opel</i>	372,00	0,02	921,88	-60

Заключение. В работе приведен анализ как успешных, так и отрицательных примеров применения аддитивных технологий. Рассмотрены основные виды 3D-печати, их преимущества и недостатки, а также области применения каждого из них.

Рассчитана величина прямых затрат на изготовление пластмассовых деталей методом послойного наплавления (FDM). Изготовление пластиковых деталей простой геометрии для авиакосмических и автомобильных отраслей будет выгодно тогда, когда они будут являться составляющими ремонтируемого узла, а не самостоятельными деталями.

Нельзя забывать о преимуществах аддитивных технологий, а именно о возможности изготавливать детали сложной геометрии и высокой точности исполнения. Изделия, произведенные при помощи аддитивных технологий, будут иметь от-

личные свойства от изделий, выполненных другими методами.

Таким образом, в целях повышения эффективности производственных процессов на базе новых принципов его организации, повышения прибыльности бизнеса, который оказывает услуги по сервисному обслуживанию техники, экономически выгодно на производственной базе компании организация участков изготовления деталей с применением аддитивных технологий для последующего восстановительного ремонта узлов или агрегатов.

Таковыми организациями (предприятиями) могут быть автомастерские, дейтелинг-центры, организации по техническому сопровождению спецтехники, автомобилей, авиатехники и др.

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

References

1. Глухов В.В., Туричин Г.А. Экономическая эффективность технологии прямого лазерного выращивания в промышленности // Теоретические основы формирования промышленной политики. СПб.: ФГАОУ ВО «С.-Петербург. политехнический ун-т Петра Великого», 2015. С. 176-190.
2. Агафонцев А.С., Вовк Н.Н., Клевнов Ю.В. Эффективность использования аддитивных технологий как альтернативы традиционным субтрактивным технологиям при изготовлении сложных деталей из металла // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2017. № 22-2. С. 228-231.
3. Доценко И.А., Скорняков С.Н., Медвинский И.Д., Чертков А.К. Экспериментальное обоснование технологии персонализированного эндопротезирования позвоночно-двигательного сегмента при туберкулезных спондилитах с использованием аддитивных технологий // Туберкулез и болезни легких. 2018. Т. 96, № 12. С. 66-67.
4. Садовская А.В., Александров В.М., Коваленя В.В., Пентковский И.С. Современные технологии изготовления изделий сложных форм методом аддитивных технологий // Потребительская кооперация. 2023. № 3 (82). С. 18-22.
5. Старостина Н.А. Новые технологии в строительстве и влияние их внедрения на трудовые ресурсы // Вестн. МГЭИ (on line). 2022. № 1. С. 149-156.
6. Самаруха А.В., Самаруха В.И. Методологические аспекты долгосрочного прогнозирования индустриального развития региона в условиях технологического эмбарго // Экономика и предпринимательство. 2022. № 9 (146). С. 512-516.
7. Тертышник М.И. Система показателей оценки уровня конкурентоспособности промышленных предприятий // Азимут науч. исследований: экономика и управление. 2022. Т. 11, № 1 (38). С. 40-43.
8. Заменят ли аддитивные технологии традиционные способы обработки деталей? Плюсы и минусы аддитивных технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://www.in-core.ru/articles/innovatsii-i-razvitie-proizvodstva/zamenyat-li-additivnye-tekhnologii-traditsionnye-sposoby-obrabotki-detaley-plyusy-i-minusy-additivny/> (дата обращения: 13.11.2024).
9. Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая) от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2024) // Собрание законодательства РФ. 2000. № 32. Ст. 3340.
1. Gluhov V.V., Turichin G.A. Economic efficiency of direct laser cultivation technology in industry // Theoretical foundations of industrial policy formation. SPb.: FGAOU VO «S.-Peterb. politekhnicheskij un-t Petra Velikogo», 2015. P. 176-190.
2. Agafoncev A.S., Vovk N.N., Klevnov Yu.V. The effectiveness of using additive technologies as an alternative to traditional subtractive technologies in the manufacture of complex metal parts // Proceedings of the RFNC-VNIIEF. 2017. № 22-2. P. 228-231.
3. Docenko I.A., Skornyakov S.N., Medvinskij I.D., Chertkov A.K. Experimental substantiation of the technology of personalized endoprosthetics of the spinal motion segment for tuberculous spondylitis using additive technologies // Tuberculosis and Lung Diseases. 2018. V. 96, № 12. P. 66-67.
4. Sadovskaya A.V., Aleksandrov V.M., Kovalenya V.V., Pentkovskij I.S. Modern technologies for manufacturing products of complex shapes using additive technologies // Potrebiteľ'skaya kooperaciya. 2023. № 3 (82). P. 18-22.
5. Starostina N.A. New technologies in construction and the impact of their implementation on labor resources // Bulletin of the Moscow Humanitarian and Economic Institute (on line). 2022. № 1. P. 149-156.
6. Samaruha A.V., Samaruha V.I. Methodological aspects of long-term forecasting of industrial development of the region in conditions of technological embargo // Economy and entrepreneurship. 2022. № 9 (146). P. 512-516.
7. Tertyshnik M.I. System of indicators for assessing the level of competitiveness of industrial enterprises // Azimuth of Scientific Research: Economics and Administration. 2022. V. 11, № 1 (38). P. 40-43.
8. Will additive technologies replace traditional methods of machining parts? The pros and cons of additive technologies [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.in-core.ru/articles/innovatsii-i-razvitie-proizvodstva/zamenyat-li-additivnye-tekhnologii-traditsionnye-sposoby-obrabotki-detaley-plyusy-i-minusy-additivny/> (data obrashcheniya: 13.11.2024).
9. Tax Code of the Russian Federation (Part Two) of 05.08.2000 № 117-FZ (red. ot 08.08.2024) (s izm. i dop., vstup. v silu s 01.10.2024) // Collection of Laws of the Russian Federation. 2000. № 32. St. 3340.