DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-111103

Оригинальное исследование

К вопросу о применении аддитивной технологии на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения

А.В. Шимохин[1], А.С. Союнов[1], Е.Е. Биткина[1], К.А. Янковский[2]

[1] Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, Омск, Россия
[2] Омский экспериментальный завод, Омск, Россия

АННОТАЦИЯ.

Введение. В данной статье рассматривается опыт применения аддитивной технологий на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения для изготовления новых образцов оборудования. Представлен сравнительный анализ прочностных свойств материалов, которые применяются для 3D печати. Приведен расчет экономической эффективности использования аддитивной технологии.

Обоснование. В настоящее время активно внедряются аддитивные технологии в производство и, в частности, при изготовлении деталей на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения. В связи с этим актуальной темой исследования является применение 3D печати для создания деталей.

Цель работы – внедрение новых методов создания деталей и их прототипов, с целью импортозамещения деталей и совершенствования собственного производства на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения.

Материалы и методы. В процессе исследования проведен анализ материалов. При этом отмечено, что пластик ABC хорошо поддается механической обработке и имеет наибольшее значение прочности на изгиб. Пластик Flex обладает высокими упругими свойствами. Пластик PLA более прочный на разрыв по сравнению с ABC, но он более жесткий, что ограничивает его применение в соединительных элементах. В результате для дальнейшей работы по применению аддитивной технологии был выбран ABC-пластик. Изготовленные рабочие образцы деталей были установлены на сеялку и проведены экспериментальные посевы.

Результаты. В результате анализа отмечены положительные стороны применения указанной технологии. Приведены характеристики методов 3D печати. Был проведен анализ материалов, из которых могут быть изготовлены детали. Представлены прочностные свойства пластиков и дана сравнительная характеристика с материалами применяемые при традиционных технологиях изготовления деталей. С целью внедрения аддитивной технологии для изготовления деталей для одного из предприятий г. Омска были изготовлены образцы. По чертежам предприятия изготовлены детали: втулка соединяющая семяпровод и сошник в сеялки. Для этого создавались 3D модели в программе КОМПАС-3D и с помощью 3D-принтера печатались элементы высевающего аппарата: заглушка, мелкосеменная и крупносеменная катушки. Распечатанные детали были установлены на сеялку СС–11.

Заключение. Применение аддитивной технологии на предприятиях сельскохозяйственного назначения может быть обусловлено следующими факторами: деталь является ненагруженной или малонагруженной, достаточный запас фонда времени до сдачи изделия заказчику, полученный прототип соответствует всем техническим требованиям, прототип выдержал испытания на прочность. В результате экспериментов установлено, что отклонение от нормы высева изготовленной катушки при помощи 3D-печати от оригинальной не превышает допустимых пределов ±5% и составила 10–20 гр. Проведенные эксперименты и экономическое обоснование показывают, что аддитивная технология может быть использована для изготовления опытных образцов деталей.

Ключевые слова: *аддитивные технологии; производство деталей; методы 3D печати.*

Для цитирования:
Шимохин А.В., Союнов А.С., Биткина Е.Е., Янковский К.А. К вопросу о применении аддитивной технологии на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89, № 5. С. 357–365. DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-111103

Рукопись получена: 28.09.2022 **Рукопись одобрена:** 09.10.2022 **Опубликована:** 15.11.2022

© Эко-Вектор, 2022
Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-111103

Original Study Article

On applicability of additive technology at agricultural engineering enterprises

AntonV. Shimokhin[1], Alexey S. Soyunov[1], Elena E. Bitkina[1], Kirill A. Yankovsky[2]

[1] Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Omsk, Russia
[2] Omsk Experimental Plant, Omsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION: This article discusses the experience of using additive technologies at agricultural engineering enterprises for the manufacture of new types of equipment. A comparative analysis of the strength properties of materials used for 3D printing is presented. The calculation of the economic efficiency of the use of additive technology is also given.

BACKGROUND: Currently, additive technologies are being actively introduced into production, and in particular in the manufacture of parts at agricultural engineering enterprises. In this regard, the current research topic is the use of 3D printing to create parts.

AIMS: Introduction of new methods for creating parts and their prototypes, with the aim of import substitution of parts and improvement of own production at agricultural engineering enterprises.

METHODS: In the course of the study, an analysis of the materials was carried out. At the same time, it was noted that ABC plastic is well machined and has the highest bending strength. Flex plastic has high elastic properties. PLA plastic is more tear resistant than ABC plastic, but it is more rigid, which limits its use in connectors. As a result, ABC plastic was chosen for further work on the use of additive technology. The manufactured working samples of parts were installed on a seeder and experimental crops were carried out.

RESULTS: As a result of the analysis, the positive aspects of the application of this technology were noted. The characteristics of 3D printing methods are given. An analysis was also made of the materials from which the parts can be made. The strength properties of plastics are presented and a comparative characteristic is given with materials used in traditional technologies for manufacturing parts. In order to introduce additive technology for the manufacture of parts for one of the enterprises in Omsk, samples were made. Details were made according to the drawings of the enterprise: a sleeve connecting the seed tube and the coulter in the seeders. To do this, 3D models were created in the КОМПАС-3D program and, using a 3d printer, the elements of the sowing machine were printed: a plug, small-seed and large-seed coils. These parts were installed on the СС-11 seeder.

CONCLUSIONS: The use of additive technology in agricultural enterprises may be due to the following factors: the part is unloaded or lightly loaded, there is a sufficient supply of time before the product is delivered to the customer, the resulting prototype meets all technical requirements, the prototype has passed strength tests. As a result of the experiments, it was found that the deviation of the seeding rate of the manufactured coil using 3D printing from the original one does not exceed the allowable limits of ± 5% and amounted to 10-20 gr. The conducted experiments and economic justification show that additive technology can be used to manufacture prototype parts.

Keywords: *additive technologies; production of parts; 3D printing methods.*

Cite as:
Shimokhin AV, Soyunov AS, Bitkina EE, Yankovsky KA. On applicability of additive technology at agricultural engineering enterprises. *Tractors and Agricultural Machinery.* 2022;89(5):357–365. DOI: 10.17816/0321-4443-111103

Received: 28.09.2022 **Accepted:** 09.10.2022 **Published:** 15.11.2022

© Eco-Vector, 2022
Article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время аддитивная технология продолжает захватывать новые области в промышленности и других отраслях народного хозяйства.

Использование аддитивных технологий на производстве при изготовлении прототипов сложных по конструкции изделий позволяет минимизировать временные затраты вследствие увеличения скорости их изготовления.

Этапы создания новых изделий имеют отличия при применении традиционной и аддитивной технологий. Данные этапы представлены на рис. 1 [1].

Данные этапы создания нового изделия являются элементами жизненного цикла продукции. При использовании аддитивной технологии сокращается время и энергозатраты на процесс изготовления прототипа, что, в целом, оптимизирует затраты на его производство [7]. Применение аддитивных технологий позволяет затрачивать меньше времени на создание прототипов изделий, чем при классическом способе изготовления. Так время на изменения в чертежах будет выше, чем время на редактирование электронной модели, которые используются в 3D печати. Особенно это актуально при редактировании параметрических 3D моделей [1, 2]. Анализ работ авторов [3] показал что временные затраты сокращаются при использовании аддитивных технологий в 1,5 раза. К преимуществам 3D печати относят:

1. изготовление изделий со сложной геометрией или геометрией, которую невозможно осуществить другими методами;
2. оптимизация прочностных характеристик изделия, снижение массы за счет создания супертонких стенок, внутренних каналов и бионических структур;
3. отсутствует необходимость специализированных инструментов и технологической оснастки;
4. возможность быстрого изготовления рабочих образцов изделий и корректировки геометрии в 3D модели;
5. возможность проведения и моделирования инженерных расчетов с 3D моделью на этапе проектирования;
6. различные испытания прототипов изделий.

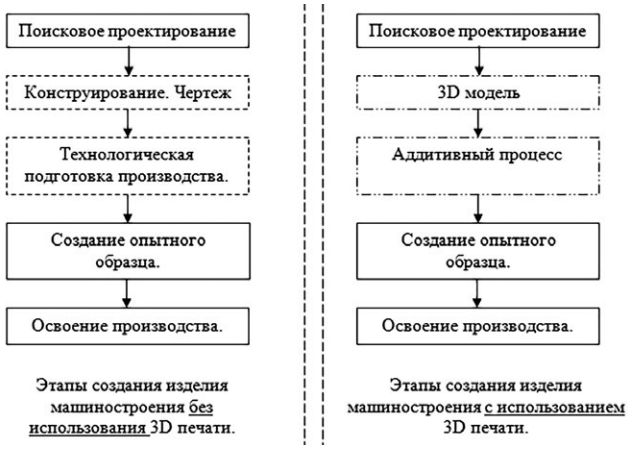

Рис. 1. Этапы промышленного создания нового изделия с использованием традиционных и аддитивных методов.
Fig. 1. Stages of industrial creation of a new product using traditional and additive methods.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Актуальность использования аддитивной технологии возрастает с необходимостью импортозамещения деталей, в первую очередь сложной геометрии. В статье представлены результаты исследования возможности применения аддитивной технологии на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения для изготовления изделий и их прототипов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Несмотря на то, что доля России по производству и внедрению аддитивных технологий находится на 11 месте в мире, стоит отметить, что за последние годы применение 3D-печати для производства деталей машиностроения существенно расширилось.

Аддитивную технологию можно применять как для получения в единичных экземплярах изделий, так и в опытном производстве, например, при восстановлении редких изделий, выпуск которых прекратился. Кроме того, данная технология может быть использована и в серийном производстве.

Так, например, в компании GeneralElectric (GE) готовы к массовому производству топливных форсунок для двигателя LEAP с применением процесса DMLS из кобальтохромового порошка (рис. 2,) в результате такого подхода создан продукт, вес которого на 66% меньше традиционной модели.

Компания KorEcologic занимается созданием первого прототипа 3D автомобиля кузов которого, а также некоторые его другие детали созданы на 3D принтере. Компания LocalMotors в ноябре 2015 г. презентовала «умный и безопасный» автомобиль LMSD Swim, который имеет 75% деталей, выполненных с помощью трехмерной печати с использованием АБС-пластика. Компании VTT и NurmiCylinders разработали конструкцию нового блока гидравлических клапанов, которая, благодаря технологии селективного лазерного плавления (SLM), значительно уменьшилась в весе и объеме [1].

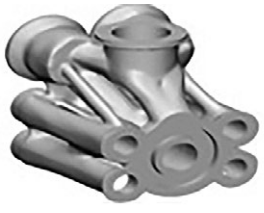

Рис. 2. Топливная форсунка компании General Electric.
Fig. 2. General Electric fuel injector.

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-111103

Российское предприятие ЗАО «Промтрактор-Вагон» использует 3D модели проектируемых изделий, для отработки алгоритмов сборки и проверки геометрической точности. На предприятиях авиации и судостроения 3D печать применяется для создания ненагруженных деталей: элементы управления (например, различных ручки и др.). В «Роскосмосе» изготовили цельную деталь смесительной головки, за семьдесят семь часов. Для ее изготовления традиционном способом соединяются более двухсот деталей шестьюдесятью двумя сварными швами, что делает трудоемким ее изготовление. Изготовление деталей с использованием аддитивного производства основано на применении различных методов, технологий и материалов (рис. 3).

FDM (Fused Deposition Modeling) и FFF (Fused Filament Fabrication) – методы послойного наплавления. Принцип данных методов основывается на послойной экструзии (выдавливании) расплавленного пластикового материала. Рабочая платформа перемещается по оси z, экструдер с пластиком перемещается по осям x и y. Указанная технология является наиболее доступной и популярной.

EBF3 (Electron-beam free form fabrication) – метод создания деталей из металла посредством движения электронного луча в вакуумной среде и расплавления металлического прутка. Данный метод печати используется не только на производстве, но и в образовательных учреждениях для демонстрации созданных моделей деталей по графическим дисциплинам [3,4].

MJP (Multi Jet Printing) – метод многоструйной печати. Данный метод основывается на послойном построении модели из восковых или фотополимерных материалов. Обычно используется для создания прототипов, моделей для испытаний, оснастки. В этом методе используются поддержки, которые удаляются ручным способом после изготовления. Основных преимуществами являются: высокая скорость печати, точность, разнообразие материалов, простота в эксплуатации.

LOM (Laminated Object Manufacturing) – метод 3D печати объектов ламинированием, в котором используются тонколистовые материалы. В данном методе слои бумаги или другого материала последовательно склеиваютсяи затем обрезаются по форме. Основное использование данного метода – создание прототипов и архитектурных макетов.

SLS (Selective Laser Sintering) и SLM (Selective Laser Melting) – SLS-технология, представляющая собой послойное спекание порошкообразного материала с помощью CO2-лазера, в то время как SLM-технология основывается на лазерном сплавления металлического порошка. SLM технологии работают в основном с металлами, а SLS используют различные материалы.

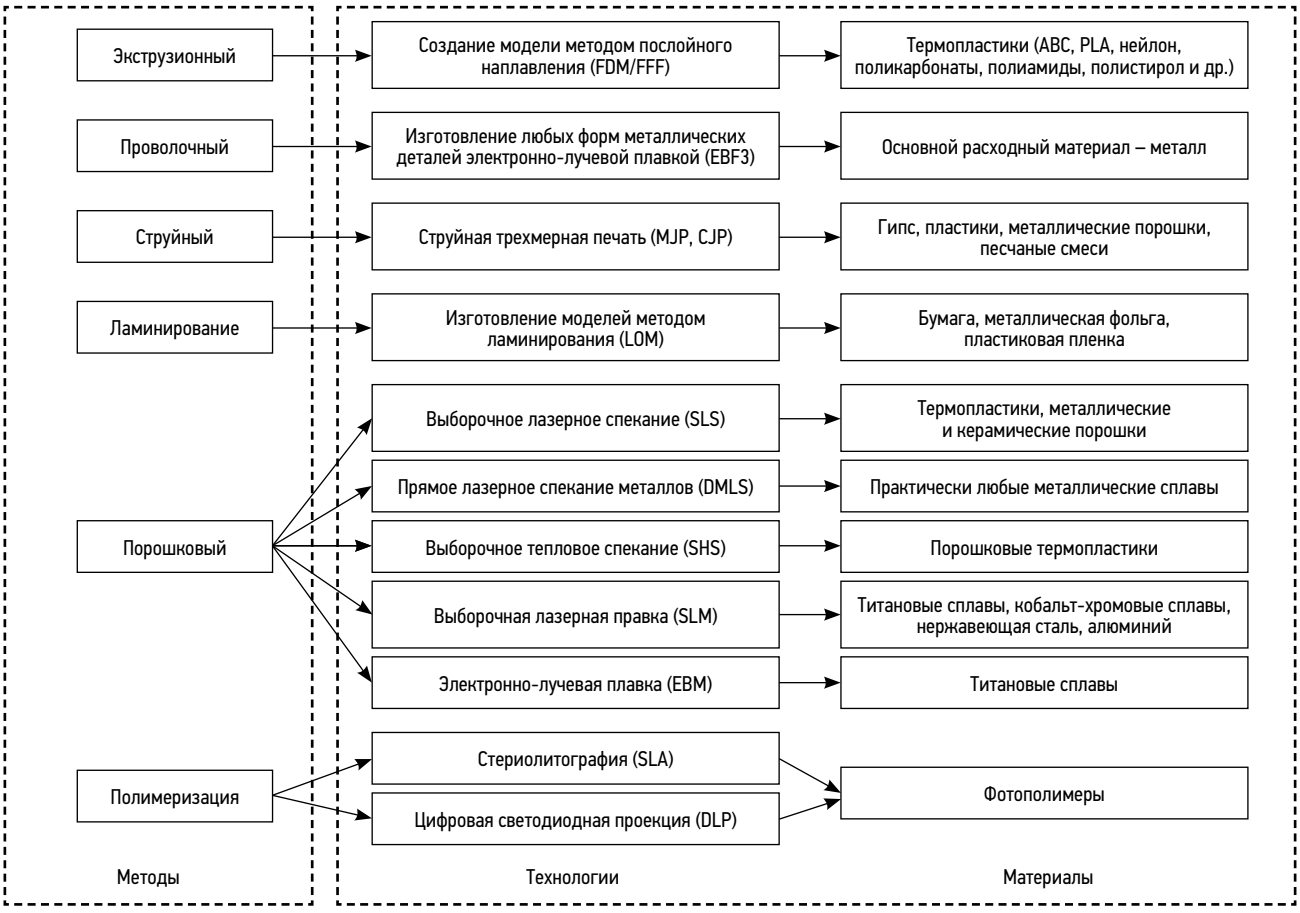

Рис. 3. Основные методы 3D печати.
Fig. 3. Basic 3D printing methods.

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-111103

Таблица 1. Характеристики материалов применяем при 3D печати

Table 1. Characteristics of materials used in 3D printing

Марка пластика	Прочность на изгиб, МПа	Прочность на разрыв, МПа
ABC	79	47
PLA	55,3	55,8
Flex	5,3	17,5
Поликарбонат	100	60

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) – прямое лазерное спекание металлов. Данная технология не расплавляет металлический порошок, а нагревает до такой степени, что его частицы начинают сплавляться на молекулярном уровне. Данная технология требует специальных опорных конструкций, для минимизации риска деформации изделия.

EBM (Electron Beam Melting) –технология 3D печати, использующая пучок электронов для сплавления частиц металлического порошка. Создание детали происходит в вакууме. Электронный пучок двигается избирательно, расплавляя порошок.

SLA (Stereolithography Apparatus) и DLP (Digital Light Processing) – технология послойного создания модели из жидкого фотополимера. При засвечивании под лазерным лучом (SLA) фотополимер затвердевает. Данная технология применяется при создании прототипов, приспособлений и оснастки [5, 6].

В условиях необходимости импортзамещения и оптимизации производства аддитивная технология и ее методы производства становятся актуальным и для российского сельскохозяйственного машиностроения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При изготовлении деталей с помощью 3D печати, используемых в сопрягаемых соединениях (втулка-шпонка, зубчатое зацепление, резьбовые нагруженные соединения и т.д.), возникает вопрос о прочности деталей. В таблице 1 представлены характеристики материалов, применяемых при 3D печати (таблица 1).

При этом, например, поликарбонат имеет прочность на изгиб 100 МПа, а на разрыв 60 МПа, фторопласт характеризуется прочностью на разрыв в 30 МПа, а при изгибе в 20 МПа.

Как видим, по воспринимаемым нагрузкам на разрыв, материалы сопоставимы по значению предела прочности. В тоже время, предел прочности на изгиб выше у материалов, применяемых в классических технологиях машиностроения (точение, фрезерование и т.д.).

Среди пластиков для 3D-печати в машиностроении распространен пластик ABC, который хорошо поддается механической обработке и имеет наибольшее значение прочности на изгиб. Пластик Flex отличается от остальных материалов высокими упругими свойствами и может применяться для изготовления различных упругих деталей типа уплотнительные резинотехнические изделия, а также демпферные устройства. Пластик PLA более прочный на разрыв по сравнению в ABC, но он более жесткий, что ограничивает его применение в соединительных элементах.

Для апробирования технологии изготовления деталей аддитивными методами были выбраны детали сеялки. При этом для изготовления рабочих образцов деталей анализировались различные материалы с целью обоснования возможности применимости материалов 3D-печати, при изготовлении деталей в сельскохозяйственном машиностроении.

В качестве одной из исследуемых деталей была выбрана втулка, соединяющая семяпровод и сошник в сеялки, которая изготавливается на Омском экспериментальном заводе. Указанная деталь на предприятии создается из поликарбоната, прочность которого на разрыв не менее 60 МПа, прочность на изгиб около 100 МПа. В тоже время, данная деталь является малонагруженной деталью, причем возможны кратковременные нагрузки вдоль оси вращения на наружную поверхность конуса.

Для изготовления детали на 3D-принтере была создана ее трехмерная модель. Данная модель в слайсере SimpleFly 3D показана на рис. 4.

При изготовлении втулки с помощью аддитивной технологии параметры печати были следующие: толщина слоя 0,2 мм; скорость печати 55 мм/с; наполняемость 100%. Время печати одной детали составило 2 ч 50 мин. Для расчета себестоимости одной детали учитывались следующие параметры: расход материала (ABC пластик), электроэнергии, работа слесаря (снять деталь, доработать деталь, вспомогательные операции). В результате была рассчитана итоговая себестоимость одной детали «втулка», изготовленная на 3D-принтере, которая представлена в таблице 2.

В результате использования рассматриваемой методики, итоговая себестоимость изготовления детали составляет 165 рублей. Заметим, что предприятие тратит на изготовление одной детали традиционным способом

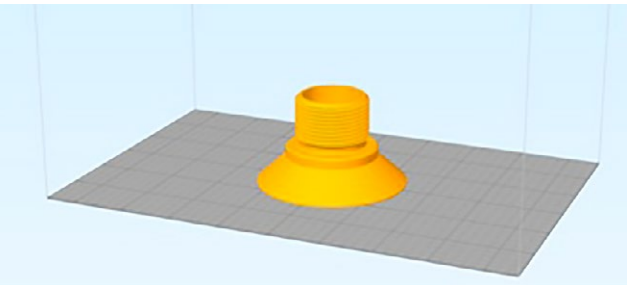

Рис. 4. Модель втулки.
Fig. 4. Sleeve model.

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-111103

Таблица 2. Итоговая себестоимость детали «втулка»
Table 2. The final cost of the part "sleeve"

Показатели	Расход	Стоимость, руб.	Итого, руб.
Расход материала (ABC пластик)	9,75 м	1,2	11,7
Расход электроэнергии	300 Вт/ч	4,5	3,8
Работа слесаря 2 разряда	12 мин.	44	9
Время печати	2,8 ч.	50	140
Итого			164,5
Стоимость изготовления, используемой технологией на предприятии			230

Рис. 5. Деталь втулка, изготовленная на 3D принтере.
Fig. 5. Detail of a sleeve made on a 3D printer.

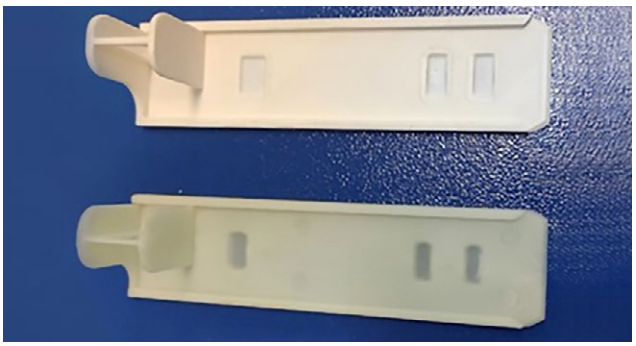

Рис. 6. Заслонка.
Fig. 6. Damper.

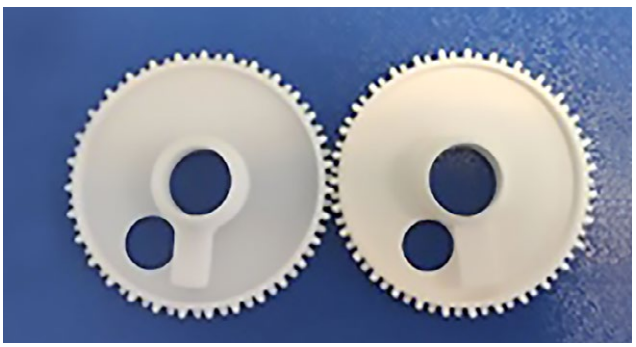

Рис. 7. Высевающая катушка.
Fig. 7. Seeding wheel.

230 руб. Таким образом, экономия предприятия составит 30%. Также отметим, что расходы на материал, связанные с изготовление одной указанной детали из полиамида 8 р., при использовании аддитивной технологии около 15 р. [7].

Изготовленная на 3D принтере деталь (рис. 5) соответствует всем техническим требованиям предприятия-изготовителя, а именно: резьба выполняет свои функции, размеры соответствуют допускам и шероховатость внутренних поверхностей соответствует требованиям – Ra 12.

Как говорилось выше, одной из целей использования аддитивной технологии, является изготовление деталей на территории РФ, а не покупка их за рубежом. Таким образом, представляется еще одно обоснование применения аддитивной технологии в серийном производстве – это импортозамещение. В настоящее время, в условиях продолжающейся пандемии и санкций особенно актуально обеспечивать надежность поставок и снижение зависимости от валюты. Последнее обоснование применения аддитивной технологии на предприятиях сельскохозяйственного назначения связанно с маркетинговым продвижением продукции предприятия. В условиях пандемии крупные выставки производителей сельскохозяйственной техники не проводятся. Модели, уменьшенные копии реальных машин, изделий могут применяться для рекламы продукции, например, отправкой по почте, заинтересованным лицам.

В связи с этим, для проведения экспериментов был выбран высевающий аппарат, который устанавливается на сеялки Омским экспериментальным заводом и поставка, которого в данный период связаны со значительными трудностями. В состав высевающего аппарата входят: заслонка (рис. 6), высевающая катушка (мелкая) (рис. 7), корпус (рис. 8–9), высевающая катушка (крупная) (рис. 8–9). Для изготовления деталей на 3D-принтере были созданы их трехмерные модели, распечатаны прототипы катушки и защелки. В настоящее время, данные детали установлены в сеялке и проходят испытания в полевых условиях. При этом стоит заметить, что перед установкой распечатанные детали прошли внутреннюю экспертизу.

DOI: https://doi.org/10.17816/0321-4443-111103

Рис. 8. Сеялка селекционная.
Fig. 8. Selective seeder.

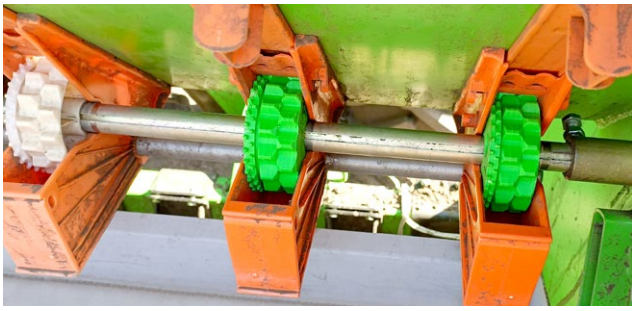

Рис. 9. Установленные катушки (зеленый цвет).
Fig. 9. Installed coils (green color).

На рис. 8 и 9 показана установленная высевающая катушка, изготовленная с помощью технологии 3D-печати. Испытываемые катушки, которые были установлены на сеялку СС–11, имеют зеленый цвет. В результате настройки сеялки на норму высева 200 кг/га было установлено, что один высевающей аппарат должен высевать 180 г на 100 м^2. Замеры, навесок полученных семян показали, что отклонение нормы высева катушки, изготовленной при помощи 3D-печати, от оригинальной не превышает допустимых пределов ±5% и составила 10–20 гр.

В результате проведенных исследований установлено, что использование аддитивной технологий в серийном производстве будет обосновано следующими условиями:

- деталь является ненагруженной или малонагруженной;
- достаточный запас фонда времени до сдачи изделия заказчику;
- полученный прототип соответствует всем техническим требованиям;
- проведены испытания на прочность.

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрены технологии и методы 3D-печати. Выделены их сильные стороны, приведена сравнительная характеристика механических свойств пластиков, применяемых в 3D-печати, полиамида и фторопласта. Рассмотрены свойства пластиков, применяемых при 3D-печати. Выявлены следующие условия для обоснования применения аддитивной технологии в серийном производстве на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения применительно к изделиям из пластика: деталь является ненагруженной или малонагруженной, имеется достаточный запас фонда времени до сдачи изделия заказчику, полученное изделие соответствует всем техническим требованиям, проведены испытания на прочность. Предложена возможность применения технологии для маркетинговых действий с целью визуализации деталей. Импортозамещение является также является не маловажным обоснованием применения 3D-печати в сельскохозяйственном машиностроении. Приведены результаты установки высевающих катушек, которые показали допустимое значение нормы высева.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. *А.В. Шимохин* — поиск публикаций по теме статьи, создание рабочих образцов деталей, написание текста рукописи; *А.С. Союнов* — редактирование текста рукописи; *Е.Е. Биткина* — редактирование текста рукописи, создание изображений; *К.А. Янковский* — проведение эксперимента с рабочими образцами. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи).

Конфликт интересов. Авторы декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. *A.V. Shimokhin* — search for publications, creating working samples of parts, writing the text of the manuscript; *A.S. Soyunov* — editing the text of the manuscript; *E.E. Bitkina* — editing the text of the manuscript, creating images; *K.A. Yankovsky* — conducting an experiment with working samples. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТРУРА

1. Биткина Е.Е., Таткало А.А., Тарануха И.И. О технологиях 3D печати // Материалы VI Международной научно – практической конференции «Инновационные технологии в АПК, как фактор развития науки в современных условиях». Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2021. С. 208–212. Режим доступа: https://e-journal.omgau.ru/images/conf/181121/sbornik181121.pdf

2. Славутин Л.В., Башкарев А.Я. Технология восстановления деталей машин с применением аддитивных технологий // Неделя науки СПбПУ : Материалы научной конференции с международным участием. Лучшие доклады, Санкт-Петербург, 19–24 ноября 2018 года. Санкт-Петербург: Изд-во Политех. ун-та, 2018. С. 118–122.

3. Шимохин А.В. Экономическое обоснование внедрения аддитивной технологии в технологические процессы производства продукции предприятия // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2019. № 4. С. 13–19. doi: 10.17586/2310-1172-2019-12-4-13-19

4. Агафонцев А.С., Вовк Н.Н., Клевнов Ю.В. и др. Эффективность использования аддитивных технологий как альтернативы традиционным субтрактивным технологиям при изготовлении сложных деталей из металла // Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. 2017. № 22–2. С. 228–231.

5. Всё о 3D-печати. Аддитивное производство. Основные понятия. [internet] Режим доступа: https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology обращения

6. Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении [internet] Режим доступа: https://prod.bobrodobro.ru/1598 Дата обращения: 25.09.2022.

7. Шимохин А.В., Таткало А.А., Бардола А.С., и др. Исследование возможности применения аддитивной технологии в серийном производстве // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК : Сборник III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Омск, 10 февраля 2022 года. Омск: ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 2022. С. 472–478.

REFERENCES

1. Bitkina EE, Tatkalo AA, Taranukha II. About 3D printing technologies. In: *Proceedings of the VI International scientific and practical conference "Innovative technologies in the agro-industrial complex as a factor in the development of science in modern conditions."* Omsk: FGBOU VO Omskiy GAU; 2021:208–212. Available from: https://e-journal.omgau.ru/images/conf/181121/sbornik181121.pdf (in Russ).

2. Slavutin LV, Bashkarev AYa. Technology of restoring machine parts using additive technologies. In: *Week of Science SPbPU: Proceedings of a scientific conference with international participation. Best reports, St. Petersburg, November 19–24, 2018.* St. Petersburg: Izd-vo Politekh. un-ta; 2018:118–122. (in Russ).

3. Shimokhin AV. Economic justification for the introduction of additive technology in the technological processes of production of the enterprise's products. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment.* 2019;4:13–19. (in Russ). doi: 10.17586/2310-1172-2019-12-4-13-19

4. Agafontsev AS, Vovk NN, Klevnov YuV. Efficiency of using additive technologies as an alternative to traditional subtractive technologies in the manufacture of complex metal parts. *Trudy RFYaTs-VNIIEF.* 2017;22–2:228–231. (in Russ).

5. All about 3D printing. additive manufacturing. Basic concepts [internet] Available from: https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology Accessed: 09.11.2021.

6. Automation of technological preparation of production in mechanical engineering [internet] Available from: https://prod.bobrodobro.ru/1598 Accessed: 25.09.2022.

7. Shimokhin AV, Tatkalo AA, Bardola AS, et al. Research on the possibility of using additive technology in mass production. In: *The role of research work of students in the development of the agro-industrial complex: Collection of the III All-Russian (national) scientific-practical conference,* Omsk, February 10, 2022. Omsk: FGBOU VO Omskiy GAU; 2022:472–478. (in Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Биткина Елена Евгеньевна,**
к.т.н.,
старший преподаватель кафедры техниче-ского сервиса, механики и электротехники;
адрес: Россия, 644008, Омск, ул. Институт-ская площадь, д. 1;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7243-2174;
eLibrary SPIN: 3353-4746;
e-mail: eesh03@mail.ru

Шимохин Антон Владимирович,
к.э.н.,
доцент кафедры технического сервиса, механики и электротехники;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2048-3180;
eLibrary SPIN: 2830-8008;
e-mail: av.shimokhin@omgau.org

AUTHORS' INFO

***Elena E. Bitkina,**
Cand. Sci. (Tech.),
Senior Lecturer of the Technical Service, Me-chanics and Electrical Engineering Department;
adress: 1 Institutskaya Ploshchad street, 644008 Omsk, Russia;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7243-2174;
eLibrary SPIN: 3353-4746;
e-mail: eesh03@mail.ru

Anton V. Shimokhin,
Cand. Sci. (Econ.),
Associate Professor at the of Technical Ser-vice, Mechanics and Electrical Engineering Department;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2048-3180;
eLibrary SPIN: 2830-8008;
e-mail: av.shimokhin@omgau.org

Союнов Алексей Сергеевич,
к.т.н.,
доцент кафедры Агроинженерия;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7829-7321;
eLibrary SPIN: 2047-7499;
e-mail: as.soyunov@omgau.org

Янковский Кирилл Александрович,
заместитель директора по техническому развитию;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8917-088X;
e-mail: yan1112@mail.ru

***Автор, ответственный за переписку**

Alexey S. Soyunov,
Cand. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the Agroengineering Department;
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7829-7321;
eLibrary SPIN: 2047-7499;
e-mail: as.soyunov@omgau.org

Kirill A. Yankovsky,
Deputy Director for Technical Development;
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8917-088X;
e-mail: yan1112@mail.ru

***Corresponding author**

© Эко-Вектор, 2022
Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International