

УДК 631.3

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РАЗЛИЧНЫХ  
ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ОСНОВАННЫХ  
НА ПРИМЕНЕНИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Сергей Иванович Бабкин**

магистрант

BabkinSerj@mail.ru

**Алексей Александрович Бахарев**

кандидат технических наук, доцент

BakharevAlex@mail.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В статье рассмотрен анализ случаев изготовления деталей из полимеров при помощи трехмерной печати с применением различных аддитивных технологий. Выявлены наиболее рациональные инструменты и материалы, позволяющие эффективно изготавливать запасные детали из полимеров для сельскохозяйственной техники.

**Ключевые слова:** печать, деталь, полимер, изготовление.

В устройстве техники для сельского хозяйства используемой в настоящее время все чаще и чаще применяют детали, выполненные из различных полимерных материалов. Эти детали имеют в своей основе большой ряд преимуществ в сравнении с деталями из стандартных металлов. Например, высокая прочность в купе с очень низкой плотностью, стойкость к химическим веществам намного большая чем у стандартных деталей, легкость обработки и доступность. [1, 2]

Цена производства одной детали с применением аддитивных методов в отличии от других технологий не зависит от того крупно или мелко серийное производство, но при этом до сего дня данные способы производства считаются достаточно высокоуровневыми. [3] Из графика хорошо видно, что есть так называемая точка неубыточности, которая возникает в месте пересечения линий обозначающих цены производства деталей аддитивным и традиционным методами. Все что левее этой точки относится к рентабельному производству по аддитивным методам, а именно это достаточно маленький объем стремящийся к единичному изготовлению (рисунок 1).



Рисунок 1 – График варьирования цены производства изделий способами аддитивных технологий в зависимости от количества деталей в партии.

С уверенностью можно сказать, что в дальнейшем эта точка неумолимо будет сдвигаться вправо к большим объемам в основном из-за уменьшения

стоимости оборудования и инструментов. Поэтому большинство экспертов сходятся во мнении, что данные методы в будущем со стопроцентной вероятностью вытеснят технологии, используемые в настоящее время.

Также причиной перехода к аддитивным методам, взамен существующим технологиям может стать то, что детали по своей конструкции и характеристикам становятся все сложнее и сложнее. Ведь если рассматривать аддитивные методы, то цена производства одной детали ни коем образом не зависит от сложности конструкции этой самой детали: 3D-принтеру по факту все равно, что печатать, крупная ли эта деталь сложной геометрии или маленькое изделие простых форм, цена будет варьироваться только от объема используемого материала для производства. [4] А если рассматривать современные технологии, то в таком случае при усложнении детали стоимость ее изготовления будет неуклонно возрастать из-за уменьшения ее технологичности. На графике прекрасно видна точка рентабельности применения аддитивных методов и современных технологий получаемая на пересечении линий показывающих зависимости цены изготовления изделий от сложности деталей (рисунок 2).



Рисунок 2 – График варьирования цены производства изделий аддитивными способами в зависимости от сложности конструкции деталей.

На сегодняшний день разработано достаточное количество способов и сырья для 3D- печати. Среди них для материалов из полимеров наиболее распространены способы SLS, SLA и FDM.

### Моделирование методом послойного наплавления

Данный способ (FDM от английского Fused Deposition Modeling – изготовление способом наплавления слой за слоем) заключается в применении 3D- печати, в котором деталь получают нанесением горячего расплавленного полимера слой за слоем через выходное сопло принтера (рисунок 3). Ширина выкладываемого слоя варьируется от 0,3 мм до 2,5 мм, а толщина того же слоя полимера варьируется от 0,15 мм до 1,2 мм. Этот способ в настоящее время вышел на первое место в своем сегменте за счет того что устройства применяемые для его функционирования достаточно просты, а материалы необходимые для изготовления разнообразны и дешевы.

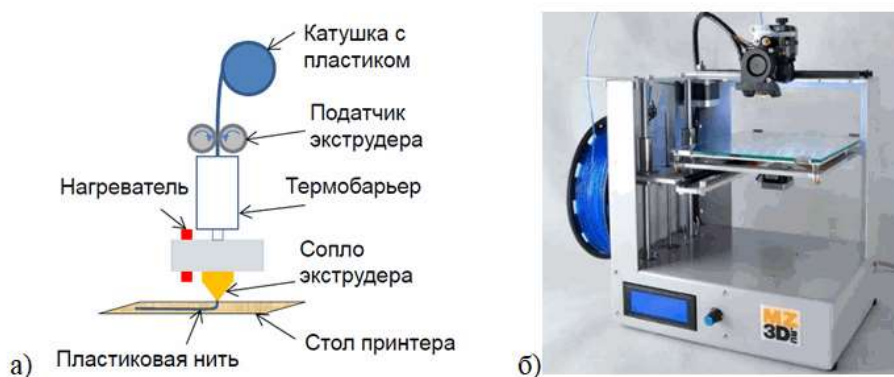


Рисунок 3 – Процесс производства деталей способом FDM-печати (а) и устройство для применения способа FDM-печати (б)

Для печати по данной технологии можно применять почти любые полимеры, становящиеся пластичными при повышении температуры, но следует учесть что больше всего для данного метода подходят полимеры с малой температурой перехода вещества, в состояние называемое вязко-текучим, слабой усадкой и очень хорошими адгезионными свойствами каждого слоя к соседнему.

Также есть возможность применения в качестве материала для печати полимеров специально созданных на основе термопласта из-за их хороших термопластичных характеристик. Исходя из этого самыми распространенными материалами для данного способа стали коротковолокнистые или стеклянные армированные композиты за счет их прочностных характеристик примерно в 2

раза превышающих прочностные характеристики ненаполненных армированными веществами полимеров. Но есть и недостаток при использовании данного материала, а именно износ сопел устройства для нанесения из-за большой абразивности волокнистого вещества.

Прочность печати из термопластов даже может достигать некоторых металлов, залогом такого может быть применение в качестве армирующего вещества непрерывающихся волокон. Разработано два варианта печати с применением таких материалов. В первом используют композитную нить в середину которой заранее вставили нить для упрочнения и все это ограждают нейлоном, АБС-пластиком или другими полимерами на основе термопласта. Но в данной схеме есть недостатки, а именно трудности в производстве таких веществ из-за большой вязкости и следовательно проблемах при смачивании волоконных нитей описанными выше расплавами, что в свою очередь ведет к образованию пузырей и пустот в конечной детали что ухудшает ее механические свойства. Также сама нить используемая в данном процессе в виду большой жесткости тяжело укладываемая в сложные геометрические формы, поэтому производство изделий со сложной геометрией затруднено.

Второй способ был разработан компанией из России под названием Anizoprint (рисунок 4). Согласно данной методики материал для создания матрицы и волокно для армировки доставляются в зону печати отдельно, а в форму для печати лежатся по очереди – послойно.

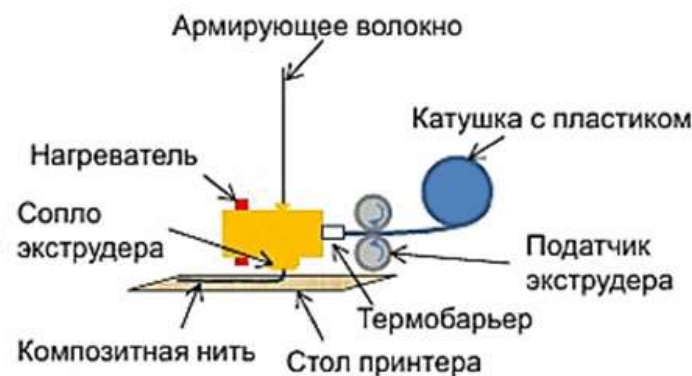
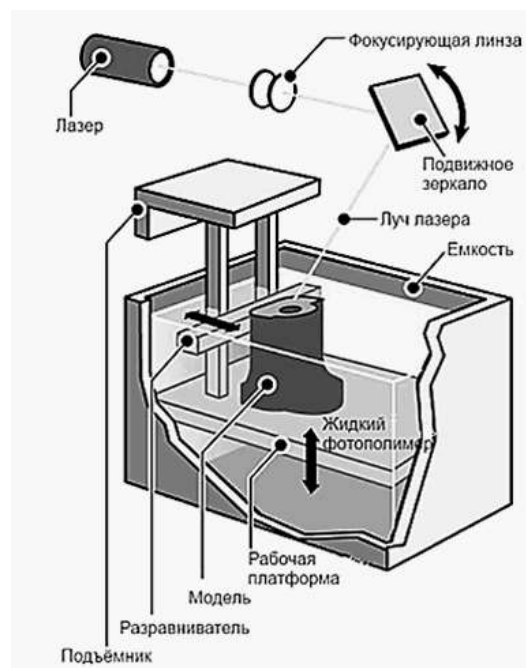


Рисунок 4 – Процесс печати деталей с применением углеродных волокон непрерывным способом

Что бы данная технология полноценно работала нужна подготовка волокна для армировки перед изготовлением детали, точнее пропитать его специальным полимером с улучшенной терморреакцией что позволит повысить адгезию и избежать проблемы с возникающими пустотами. Также для печати по данной технологии требуется не только особое устройство, но специально написанное под устройство программное обеспечение, поэтому этот способ пока что очень дорог для массового использования.

### *Лазерная стереолитография*

Данный способ (SLA от англ. stereolithography – стереолитография) включает в себя нанесение полимера слой за слоем с межслойным этапом по отверждению его с помощью проектора или лазера (рисунок 5). Поэтому для изготовления изделий данным способом необходимо применения специальных полимеров меняющих свои характеристики при контакте с ультрафиолетом – фотополимеры.



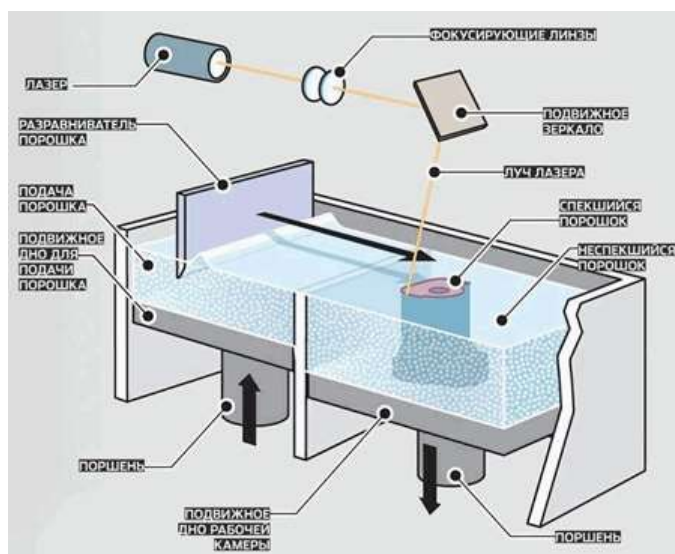
*Рисунок 5 – Процесс производства изделий с помощью технологии SLA-печати*

Достоинством данного способа в сравнении с вышеперечисленными является возможность изготовления детали с гладкой поверхностью, а также возможность производства мелких изделий и изделий с тонкой стенкой, из-за

того что толщина при производстве по данной технологии может варьироваться 0,03 до 0,15 мм. Недостатком же является дороговизна материала, а также ограниченность применения деталей изготовленных по этой технологии из-за маленькой физической прочности.

### *Селективное лазерное спекание*

Данный способ (SLS от английского Selective Laser Sintering –спекание селективное лазерное) включает в себя нанесение порошкового вещества слой за слоем с межслойным этапом по спеканию его с помощью лазера (рисунок 6).



*Рисунок 6 – Метод производства деталей по технологии SLS-печати*

Достоинствами данной технологии можно считать упрощённый по сравнению FDM и SLA технологиями процесс печати, а также намного большие прочностные характеристики по сравнению с теми же способами, из-за наличия более сильных связей между частицами. В отличие от SLA метода данная технология использует полимеры нормально работающие с повышением температуры, которые в свою очередь мало склонны разрушению по причине хрупкости. Самая маленькая толщина слоя может быть равна 0,05 мм, в следствие чего поверхности изделий получаются очень качественными. К недостаткам этой технологии относится большая цена производства и тяжелые условия труда из-за работы оператора с химически активными летучими порошкообразными материалами.

### Список литературы:

1. Дьячков С.В., Бахарев А.А., Урюпин А.А. Применение системы компас-3d для решения научных задач в агроинженерии // Наука и образование. 2019. Т.2. №2. С. 201

2. Борзых Д.А., Бахарев А.А. Пути снижения трудоемкости работ по ремонту двигателей в ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий // Наука и образование. 2020. Т.3. №4. С. 22

3. Алехин Р.В., Бахарев А.А. Пути повышения эффективности ремонтов автомобильного транспорта // Наука и Образование. 2022. Т. 5. № 3.

4. Бахарев С.А., Бахарев А.А. Повышение эффективности ремонта тормозного цилиндра 2ТЭ116 // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 2.



**UDC 631.3**

**ANALYSIS OF METHODS FOR THE PRODUCTION OF VARIOUS  
PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON THE  
APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES**

**Sergey I. Babkin**

Master student

BabkinSerj@mail.ru

**Alexey A. Bakharev**

candidate of technical sciences, associate professor

BakharevAlex@mail.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The article considers the analysis of cases of manufacturing parts from polymers using three-dimensional printing using various additive technologies. The most rational tools and materials have been identified that allow efficient production of spare parts from polymers for agricultural machinery.

**Key words:** printing, detail, polymer, manufacturing.

Статья поступила в редакцию 10.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2022; принята к публикации 30.06.2023.

The article was submitted 10.05.2023; approved after reviewing 15.06.2022; accepted for publication 30.06.2023.