МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

(КНИТУ-КАИ)

[Институт авиации, наземного транспорта и энергетики](https://kai.ru/web/institute-of-aviation-land-vehicles-and-energetics)

КАФЕДРА МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ, СВАРКИ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**РЕФЕРАТ**

**По дисциплине:** Материаловедение. Технология конструкционных материалов

**На тему:** Полимеры и формование деталей с помощью аддитивных технологий

Выполнил: студент группы 1203 Кухар Валентин Андреевич

Принял: Шибаев Павел Борисович

Казань 2022

**Оглавление**

[Введение 3](#_Toc122369178)

[Популярные полимеры, используемые для 3d–печати 4](#_Toc122369179)

[Аддитивные технологии. 3d принтер и его устройство 7](#_Toc122369180)

[Применение аддитивных технологий в авиастроении 8](#_Toc122369181)

## **Введение**

За последние несколько лет интенсивное развитие аддитивных технологий позволило внедрить 3D-печать в большинство отраслей, а это, в свою очередь, повлекло за собой новые требования к 3D-принтерам и появление совершенно новых, разработанных под конкретные запросы заказчиков расходных материалов. Расширение линейки расходных материалов главным образом коснулось самой востребованной и доступной технологии 3D-печати — FDM/FFF.

3D-печать становится всё более массовой. По данным производителей, в 2015 году был отгружен 500-тысячный 3D-принтер, а к 2017 году продано около миллиона устройств. 3D-печать уже внедряется в качестве производственной технологии. Например, в 2016 году компания General Electric стала продавать авиационные двигатели с топливными форсунками, напечатанными на 3D-принтере. Ракеты Атлас-5 с деталями, напечатанными той же технологией, запустили в космос. Бренды Under Armour и New Balance пустили в продажу небольшие партии спортивной обуви, частично напечатанной на 3D-принтере, а компания Organovo запустила коммерческую биопечать тканей почек человека.

В современном мире аддитивные технологии приобрели сильное влияние на многие отрасли. Это связано с быстрым прототипированием деталей, уменьшением стоимости на их разработку и в целом позитивно отражается на промышленную индустрию.

При этом аддитивные технологии открыты, их могут использовать и рядовые пользователи.

Цель данной работы изучить популярные материалы, применяемые в технологиях послойного наложения материала.

## **Популярные полимеры, используемые для 3d–печати**

Заметим, что интерес представляют полимеры, представляющие собой расплав при нагреве, то есть термопластичные полимеры, в то время как термореактивные – не подходят, ввиду отвердевании при нагреве.

Определившись с классификацией, перейдем к составу. Выбор полимера зависит от типа детали, применение, рабочая температура изделия, приложенные нагрузки. На рынке существуют пластики (высокомолекулярное соединение) различного состава и модификаций. Приведем самые популярные из них.

1. PLA (полилактид)

Формула: (C3H4O2)n

Биоразлагаемый, биосовместимый термопласт, мономером которого является молочная кислота. Сырьем для производства служат возобновляемые ресурсы (кукуруза и сахарный тростник).

|  |  |
| --- | --- |
| Температура плавления | 173-178 °C |
| Твердость (по Роквеллу) | R70-R90 |
| Прочность на изгиб | 55,3 МПа |
| Прочность на разрыв | 57,8 МПа |
| Температура стеклования | 60—65 °C |
| Плотность | 1,23—1,25 г/см³ |

1. ABS ([акрилонитрилбутадиенстирол](https://3ddevice.com.ua/product/abs-plastik-lowcost/))

Формула: (C8H8)x·(C4H6)y·(C3H3N)z

Ударопрочная техническая термопластическая смола на основе сополимера акрилонитрила с бутадиеном и стиролом (название пластика образовано из начальных букв наименований мономеров). Пропорции могут варьироваться в пределах: 15—35 % акрилонитрила, 5—30 % бутадиена и 40—60% стирола.

Свойства: Непрозрачный. Окрашивается в различные цвета. Нетоксичность в нормальных условиях. Долговечность в отсутствие прямых солнечных лучей и ультрафиолета. Стойкость к щелочам и моющим средствам. Влагостойкость. Маслостойкость. Кислотостойкость. Теплостойкость 103 °C. Широкий диапазон эксплуатационных температур (от −40 °C до +90 °C). Плотность — 1,02-1,06 г/см³.

1. PETG (Полиэтилентерефталатгликоль)

Представляет собой модификацию [полиэтилентерефталата](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D1%8D%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%84%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D1%82) (ПЭТ или ПЭТФ), которая преодолевает его определённые недостатки.

Прозрачный аморфный материал. Температура стеклования около 80 - 85 °С. Имеет высокую жесткость и твердость. Стоек к разбавленным кислотам и щелочам, растворам солей, мылам, маслам, спиртам, алифатическим углеводородам. Хорошо стерилизуется. Плотность – 1,26 – 1,28 г/см3.

1. Нейлон
2. ПВС (Поливиниловый спирт)

Искусственный, водорастворимый, термопластичный полимер. Синтез ПВС осуществляется реакцией щелочного/кислотного гидролиза или алкоголиза сложных поливиниловых эфиров. Основным сырьём для получения ПВС служит поливинилацетат (ПВА).

Интересующее применение: водорастворимые поддержки для 3д печати.

1. Композиты

Термопластичные полимеры, армированные углеродным волокном, уже зарекомендовали себя как материалы, в которых ключевое значение имеет соотношение прочности и веса. Угленаполненные композиты постепенно захватывают рынок и уже используется в аэрокосмической промышленности, автомобилестроении, приборостроении и даже в спорте по причине самых высоких соотношений прочности к весу. С точки зрения рыночной доступности углеродное волокно — одна из самых популярных добавок, но стоит отметить, что него не отстают и более бюджетные стеклонаполненные филаменты. Для реального внедрения в производство оба материала перспективны. Стекло — недорогой наполнитель, обеспечивающий значительное повышение жесткости и прочности. С углеволокном можно добиться более высоких прочностных характеристик и более низкую итоговую плотность материала, но и стоит оно значительно дороже.

Существует два типа усиления исходного материала волокнами — это короткое волокно и непрерывное. В первом случае измельченные волокна длиной менее миллиметра смешиваются с базовым материалом, таким как нейлон, АБС или ПЛА. В случае с непрерывными волокнами их необходимо интегрировать в термопласт по мере экструдирования. Это достаточно сложный и трудоемкий процесс, но благодаря непрерывному армированию можно создавать детали с прочностью на уровне металлов.

Самая сильная сторона композиционных материалов в сравнении с чистыми полимерами — это значительно более широкий спектр механических, температурных, фрикционных, электрических и других свойств. Композиты могут быть более жесткими, более прочными, могут проводить электричество, проявлять антибактериальные свойства, сопротивляться горению, многократно увеличиваться в объеме, светиться в рентгеновском излучении, проявлять ферромагнитные свойства, упрощать 3D-печать тем или иным материалом, быть стойкими к ультрафиолету и многое, многое другое. Вариантов множество, поэтому при выборе материала в первую очередь следует исходить из поставленной задачи.

Из минусов стоит отметить, как более высокую стоимость материалов, так оборудования для 3D-печати. Если говорить про непрерывное армирование, то на рынке сейчас не так много предложений от производителей специализированного оборудования, а в связи с высоким спросом на технологию цены на 3D-принтеры, позволяющие изготавливать детали с добавлением непрерывных волокон, достаточно высоки. 3D-печать филаментами с короткими волокнами считается более дешевой, но детали в этом случае обладают меньшей прочностью, чем изготовленные с помощью непрерывного армирования. С другой стороны, номенклатура 3D-принтеров, позволяющих печатать коротковолоконными композитами, намного шире.

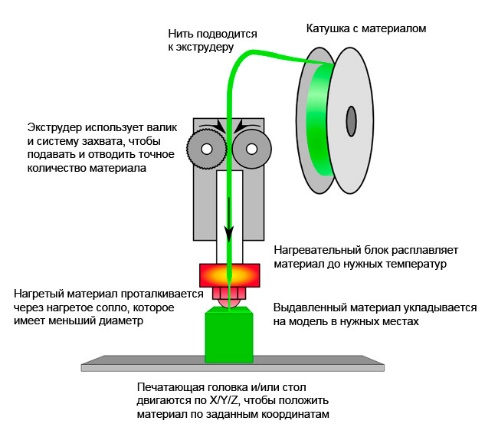
## **Аддитивные технологии. 3d принтер и его устройство**

Технологии послойного наращивания и [синтеза](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B7) объектов. Широкое применение получили для так называемой фаббер-технологии — группы технологических методов производства изделий и прототипов, основанных на поэтапном формировании изделия путём добавления материала на основу (платформу или заготовку).

Среди применений аддитивных технологий наиболее востребовано производство функциональных изделий для нужд наиболее заинтересованных отраслей промышленности таких как авиакосмическая отрасль, автомобиле- и машиностроение, ВПК, медицина в части протезирования, то есть там, где существует острая потребность в изготовлении высокоточных изделий и их прототипов в кратчайшие сроки.

[Моделирование методом наплавления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BC_%D0%BD%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) (Fused deposition modeling, FDM) — объект формируется путём послойной укладки расплавленной нити из плавкого рабочего материала (пластик, металл, воск). Рабочий материал подаётся в [экструзионную](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%8F_(%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81)) головку, которая выдавливает на охлаждаемую платформу тонкую нить расплавленного материала, формируя таким образом текущий слой разрабатываемого объекта. Далее платформа опускается на толщину одного слоя, чтобы можно было нанести следующий слой. Часто в данной технологии участвуют две рабочие головки — одна выдавливает на платформу рабочий материал, другая — материал поддержки.

3D–принтер — это технология, которая позволяет создавать реальные объекты из цифровой модели. Всё началось в 80-х годах под названием «быстрое прототипирование», что и было целью технологии: создать прототип быстрее и дешевле. С тех пор многое изменилось, и сегодня 3D-принтеры позволяют создавать всё, что вы можете себе представить.



Нить пластика (филамента) подается в экструдер. Экструдер использует валик и систему захвата, чтобы подавать и отводить точное количество материала. Далее, нить поступает в нагревательный блок, который расплавляет материал до нудной температуры. Нагретый материал проталкивается через сопло (диаметр сопла должен быть меньше диаметра нити, как правило диаметр сопла составляет 0.4 мм, а диаметр нити 1.75мм). Нагретый пластик укладывается на модель в нужных местах (это достигается передвижением этой системы и стола по осям X, Y, Z).

## **Применение аддитивных технологий в авиастроении**

С появлением 3D печати авиастроение получило новые уникальные возможности. Теперь задачи разработки и внедрения новых технологий, стоящие перед инженерами и конструкторами отрасли, существенно упростились. Ранее для создания рабочего прототипа приходилось привлекать производственные мощности и целенаправленно настраивать оборудование для изготовления малого количества деталей, что весьма долго и дорого. Сегодня же со всеми задачами без проблем справляется [промышленный 3D принтер](https://cvetmir3d.ru/3d-printery/promyshlennye/), позволяя для производства высокоточной детали отказаться от таких технологических процессов, как литье, штамповка и фрезерование.

Внедрение 3D печати позволило по-новому подойти к изготовлению форсунок. Столь сложный функциональный узел ранее собирался из двух десятков элементов, каждый из которых изготавливался отдельно. Теперь же принтер по металлу выполняет всю работу в один проход. Экономия времени, материалов и денег колоссальная! Изготовленные таким образом форсунки уже прошли сертификацию, так что технология в скором времени будет поставлена на поток.

В каждом пассажирском самолете Boeing 787 есть порядка 30 деталей, напечатанных на 3d принтере. В совокупности суда воздушного флота Boeing Commercial Airplanes (реактивные авиалайнеры и бизнес-джеты) содержат 25000 печатных деталей. А военные самолеты F-15 и F/A-18 – порядка 40000. Большинство компонентов – составные части воздуховодов, но есть и детали двигателей, и части интерьера салонов.

Сейчас в аэрокосмической промышленности используют все популярные методы объемной печати: лазерную стереолитографию (SLA), метод наплавления (FDM), селективное лазерное спекание (SLS) и прямое осаждение металла (DMD). В отличие от традиционных техник, в которых стоимость детали зависит от тиража (чем он выше, тем ниже цена за каждую запчасть), 3D-печатные изделия стоят одинаково: неважно, заказали вы 10 или 1000 штук. Поэтому при небольших тиражах использовать эту технологию выгодно.

Воздуховоды — та часть самолета, в которой 3D-печатные детали сегодня применяются шире всего. В современных авиасудах циркулирующий воздух поддерживает комфортную для человека температуру и безопасное давление. Соединения узлов воздуховода, напечатанные на 3D-принтере, используются в лайнерах Boeing 787, истребителях F/A‐18 и F‐35, а также вертолетах Bell 429.

Силовые установки. В системах, приводящих самолет в движение, тоже встречаются 3D-печатные детали. Как правило, это металлические изделия, изготовленные методом лазерного спекания или осаждения металла. Так, в Boeing 777 компрессор соединен с датчиком температуры с помощью 3D-печатного переходника. А в военном самолете F-15K Slam Eagle методом объемной печати изготовили корпуса для турбин. Это позволило снизить стоимость детали с $34 000 до $2550 и вдвое сократить сроки ее производства.

Полки, кронштейны и различные крепления в салонах пассажирских самолетов нередко печатаются из пластика. Например, популярный самолет Boeing A350 содержит на борту более 500 таких деталей.

Аддитивные технологии привлекают авиаконструкторов не только экономичностью. Они дают возможность оптимизировать форму на стадии модели и заметно снизить массу изделия. Так, заменив литой металлический кронштейн пластиковым, напечатанным на 3D-принтере, конструкторам удалось уменьшить его вес с 918 граммов до 326. Разумеется, кронштейн в самолете не один, поэтому общий выигрыш в весе — несколько килограмм. Для пассажирских самолетов облегчение конструкции означает уменьшение расхода топлива, что снижает не только затраты авиакомпании, но и ущерб для экологии.

Детали с сетчатой и ячеистой структурой легче монолитных, но при этом не теряют в прочности. Каждый новый образец, внедряемый в авиастроении, проходит многоступенчатые тесты, особенно если это функциональная часть.

Исходя из этого, возникает вопрос: можно ли напечатать самолет целиком? Эксперты уверены, что сейчас сделать это невозможно. Для создания корпусов лайнеров, грузовых и военных самолетов – современные технологии 3д печати недостаточно надежны. Из здравого смысла и стандартов полетопригодности следует, что детали надежными, а их структура должна быть прочной, что необходимо подтверждать определенными сертификациями и тестами. Но испытания деталей, напечатанных на 3д принтере, часто могут вызывать дефекты и неоднородности, которые могут приводит к разрушению.

## **Заключение**

В данной работе были изучены несколько типов материалов, которые применяются для 3д-печати, разобраны их основные характеристики и прочностные свойства. Изучен принцип работы 3д принтера и метод выдавливания пластика.

Также было изучено влияние аддитивных технологий на авиационную промышленность. Использование этих технологий и конкретные случаи применения.