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

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 1201 Савкин Д.Д.

Принял: доцент кафедры Шибаев П. Б.

Казань 2023

Оглавление

[**Введение** 3](#_Toc131716840)

[**Популярные полимеры, используемые для 3d–печати** 4](#_Toc131716841)

[**Аддитивные технологии. 3d принтер и его устройство** 10](#_Toc131716842)

[**Применение аддитивных технологий в авиастроении** 11](#_Toc131716843)

[**Заключение** 14](#_Toc131716844)

[**Список литературы** 15](#_Toc131716845)

## **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 термопласты, в то время как термореактивные – не подходят, ввиду отвердевании при нагреве.

Определившись с классификацией, перейдем к составу. Выбор полимера зависит от типа детали, применение, рабочей температуры изделия, приложенных нагрузок. На рынке существуют пластики различного состава и модификаций. Приведем самые популярные из них.

1. PLA (полилактид)

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

Изделия из PLA-пластика подвергают шлифованию и сверлению, красят акрилом. Однако стоит помнить, что предмет из ПЛА нужно обрабатывать с осторожностью из-за его хрупкости. Еще одним минусом PLA-пластика является его недолговечность: материал служит от нескольких месяцев до нескольких лет.

PLA-пластик является идеальным материалом для 3D-печати прототипов и изделий, которые не предполагается эксплуатировать длительное время. Это могут быть декоративные объекты, изделия для презентаций и предметы, требующие тщательной детализации.

Износостойкостью PLA похвастать тоже не может. Поверхность его нельзя назвать очень скользкой, а значит любое трение быстро разогревает материал.  
Биоразлагаемость, скорее всего, трудно отнести к достоинствам, если только она не является главной причиной выбора этого пластика. Например, в садоводстве, где подпорки саженцев со временем теряют смысл и бесследно исчезают сами собой. Время жизни пластика сильно зависит от внешних факторов, таких как влажность, температура и ультрафиолетовое излучение. В идеальных условиях, каковыми являются тень и температура чуть выше нуля, пластик может сохранять свои свойства и внешний вид лет пять и более. В неблагоприятных же условиях, при высоких температурах и влажности, разрушение, в теории, начнет сказываться уже менее чем через месяц, а полностью закончится в срок от трех месяцев до полугода. Вообще, в обычных, комнатных и даже уличных условиях опасность разложения зачастую преувеличена, тем более если речь идет о современных версиях этого материала. Тем не менее важно учитывать, где и как будет работать ваше деталь еще до того, как ее напечатать.

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

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.

ABS-пластик относительно безопасен и не предоставляет угрозы в нормальных условиях. Тем не менее, нагревание ABS приводит к выделению токсичных паров акрилонитрила, что означает необходимость элементарных предосторожностей при 3D-печати. Объем испарений, как правило, невелик ввиду относительно медленного расхода материала при FDM-печати. Стоит также иметь в виду, что ABS-пластик вступает в реакцию с этанолом, что приводит к выделению стирола.  
Не следует использовать готовые изделия из ABS для хранения горячей пищи и напитков, либо алкоголя при любой температуре.

К несомненным плюсам следует отнести возможность легкой механической постобработки, деталь хорошо сверлится, шкурится, строгается, режется. Несмотря на глянцевую поверхность неплохо грунтуется и красится.

1. PETG (Полиэтилентерефталат гликоль)

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. Относится к группе полиэфирных пластиков.

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.

По прочности находится между ПЛА и АБС. Устойчив к воздействию солнца.

Из существенных недостатков – сложная постобработка. Шкурить, сверлить и резать этот материал, ввиду его вязкости, очень сложно. Можно немного обрабатывать горячим инструментом, но и тут главное не перестараться с температурой. Глянцевая поверхность плохо держит краску и грунтовку, однако материал редко нуждается в покраске, ибо и так достаточно красив и устойчив к окружающей среде.

1. Нейлон

NYLON - он же полиамид, поэтому известен также под сокращением PA.

Плюсом нейлона можно назвать гладкую структуру его поверхности, что делает ее очень “скользкой” и износостойкой, благодаря чему этот материал является лучшим пластиком для изготовления таких деталей как шестерни, втулки, шарниры и так далее. Коэффициент трения нейлон-нейлон без смазки достигает 0,15, что вдвое меньше, чем, например, латунь-латунь - популярный металл, из которого делают аналогичные вещи. При этом прочность деталей не уступает латунным, а по долговечности намного превышает их. Нейлоновые детали могут долго работать даже без смазки, не теряя своих свойств, о чем металлические и мечтать не смеют. А ведь за смазкой надо следить, регулярно обновлять, иначе пыль и стружки быстро превратят ее в абразив. Нейлон не ржавеет, не разлагается и не покрывается оксидной пленкой.

Стоек к кислотам, щелочам, маслам, растворам солей, жирам, бензину органическим растворителям. Неравнодушен к ультрафиолету. Изделия, работающие на открытом воздухе, следует закрывать или окрашивать. Растворяется в кислотах, особенно в концентрированных. В природных условиях (без прямых солнечных лучей) быстрому разложению и деградации не подвержен, довольно долговечен.

1. 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.

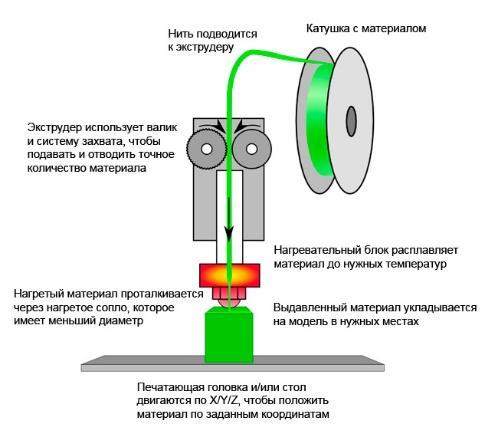
## **Аддитивные технологии. 3d принтер и его устройство**

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 результате проделанной работы 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.

## **Список литературы**

1. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 220 с.

2. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учебное пособие / Университет ИТМО; СПб., 2015. 63 с.

3. Шишковский И.В. Основы аддитивных технологий высокого разрешения. СПб.: Питер, 2015. 348 с.

4. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технология аддитивного производства. Трехмерная печать, быстрое прототипирование и прямое цифровое производство. M.: Tехносфера, 2016. 656 c.

5. Публичный аналитический доклад по направлению «Новые производственные технологии». Сколковский институт науки и технологий, 2015. 210 с.

6. Колесников Л.А., Манжула Г.П., Шелег В.К., Якимович А.М. Состояние и перспективы развития технологий быстрого прототипирования в промышленности (часть первая) // Наука и техника, 2013. № 5. С. 3–9.

7. Колесников Л.А., Манжула Г.П., Шелег В.К., Якимович А.М. Состояние и перспективы развития технологий быстрого прототипирования в промышленности (часть вторая) // Наука и техника, 2013. № 6. С. 8–16.

8. Волхонский А.Е. Дудков К.В. Методы изготовления прототипов и деталей агрегатов различных изделий промышленности с помощью аддитивных технологий // Образовательные технологии, 2014. № 1. С. 127–143.

9. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Электронный журнал «Труды МАИ», 2014. Вып. № 78. 22 с.