|  |  |
| --- | --- |
|  | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ. СМК-Ф-4.2-К5-01 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Факультет | И |  | **Информационные и управляющие системы** |
|  | шифр |  | наименование |
| Кафедра | И2 |  | Приборостроение |
|  | шифр |  | наименование |

ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе

на тему

**Сбор фактического материала по тематике магистерской диссертации: исследование конструктивно-технологических факторов, влияющих на механические характеристики 3D-печатных пластиковых деталей**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил студент группы | | | | | |  | И2М31 | | |
|  | Кузнецов Д.В. | | | | |  | |  | | |
| Фамилия И.О. | | | | | | | | | | |
| Руководитель: | | | | | | | | | | |
|  | Жаркой М.Ф. | | | |  | | | |  | |
| Фамилия И.О. | | | | | | | | | Подпись | |
| Оценка | | |  |  | | | | |  | |  |
| « |  | » | |  | | | | | 2018г. | |

Санкт-Петербург

2018

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc531213133)

[1 Обоснование актуальности 4](#_Toc531213134)

[2 Постановка задач 7](#_Toc531213135)

[3. Испытания образцов. 9](#_Toc531213136)

[*3.1 Нормативные документы* 9](#_Toc531213137)

[*3.2 Испытания на разрыв.* 10](#_Toc531213138)

[*3.3 Испытания на изгиб.* 13](#_Toc531213139)

[*3.4 Испытания на сжатие.* 15](#_Toc531213140)

[4 Выбор материала печати 17](#_Toc531213141)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 22](#_Toc531213142)

# ВВЕДЕНИЕ

История 3D-печати насчитывает уже несколько десятилетий, но долгие годы она оставалась в тени из-за ограниченной сферы применения и дороговизны печатающих устройств. Развитие 3D-печати проходило по классическому сценарию: сначала были созданы огромные и баснословно дорогие устройства промышленного назначения, и лишь в последние годы, с появлением относительно недорогих настольных 3D-принтеров, технология вступила в период бурного развития.

Сегодня 3D-печать активно расширяет сферы своего приложения. Fashion-дизайнеры научились печатать на 3D-принтерах обувь и одежду, рекламные агентства – уникальные образцы рекламной продукции, предприятия общепита – пищевые блюда и кондитерские изделия, машиностроительные заводы – корпуса, детали и запасные части для автомобилей, авиастроительные компании – детали для авиалайнеров, озеленители – декоративные фигуры для ландшафтного дизайна, медицинские учреждения – ортопедические протезы и даже органы для пересадки.

Осознавая важность и значимость 3D-печати, развитые страны инвестируют в её развитие огромные средства. Некоторые из них приступили к строительству научных центров 3D-печати и разработали образовательные программы по изучению основ 3D-моделирования. Производственные объединения активно включают трёхмерные принтеры в цепочку технологических процессов, бизнесмены используют их для извлечения прибыли. Не остаются в стороне и рядовые пользователи, которые понемногу осваивают 3D-принтеры, приспосабливая их для печати сувениров и различных бытовых предметов.

Интерес к 3D-печати подогревают средства массовой информации, которые пестрят новостями о её достижениях.

# 1 Обоснование актуальности

За последние годы 3D печать стала интересна большому количеству коммерческих организаций и потребителей. В настоящее время технология 3D печати активно используется в различных отраслях: от медицины до космических летальных аппаратов. Поставщики 3D оборудования должны более тесно сотрудничать с клиентами, для определения потенциала для развития 3D печати, которые могут упускаться, а также уменьшать издержки на производство и увеличивать прибыль за счет использования своих продуктов. Компании, желающие использовать современные 3D технологии без издержек на покупку оборудования могут, например, договориться о сотрудничестве с бюро 3D полиграфических услуг.

Основным применением 3D печати, по данным опросов, является

прототипирование объектов и разработка продуктов. Несмотря на это, становится очень актуальным мелкосерийное производство готовой продукции. На рисунке 1 продемонстрированы основные сферы применения технологии 3D печати.

Основываясь на исследовании, можно сказать, что 3D печать в ближайшем будущем будет производить около 50% деталей и изделий, которыми пользуются потребители, тяжелая промышленность, а также производители в сфере биологии.

Основной движущей силой 3D технологий, судя по опросам респондентов, являются главы научно-исследовательских разработок и инженерно-технических работ.  
 Применение 3D принтера существенно снижает расходы на поддержание других процессов, в частности, на исследования и разработку продуктов. В среднем затраты на готовую продукцию составляют 4,1-4,3%, что является впечатляющим показателем и говорит о том, что компании, начавшие применение 3D технологий компании, уже получили преимущества, влекущее за собой дальнейшее развитие технологий.

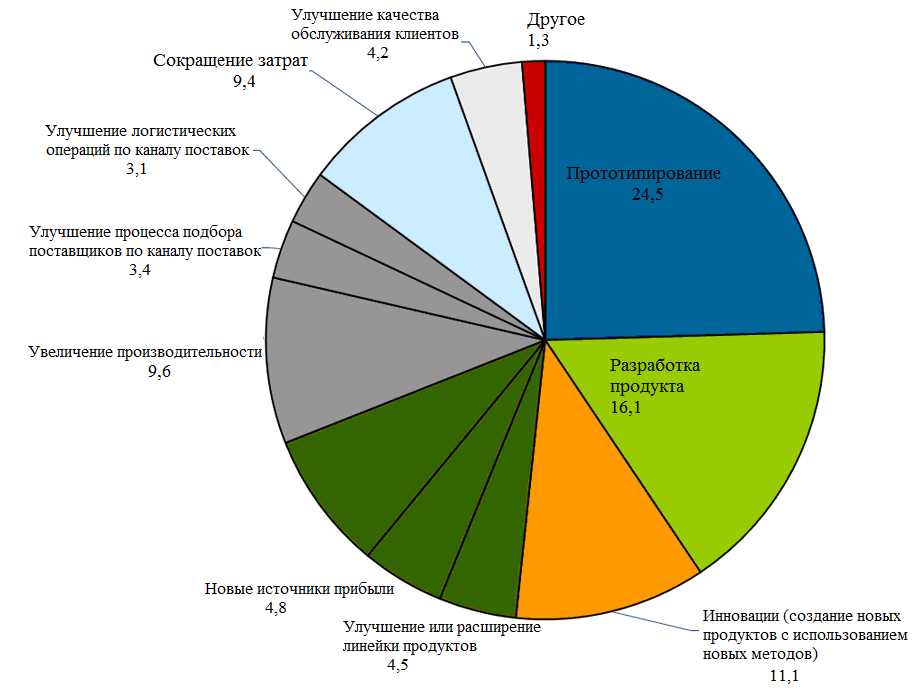
[](http://3dtoday.ru/upload/main/d3f/3dprint_company_2.png)

Рис. 1- Основные сферы применения технологии 3D печати

Как было сказано выше, технология 3d печати прижилась во многих отраслях: в сфере рекламы, предприятий общепита (печатаются пищевые блюда и кондитерские изделия), машиностроительных предприятиях (производятся корпуса, детали и запасные части для автомобилей методом 3d печати), у авиастроительных компаний (детали для авиалайнеров), в медицинских учреждения (печатаются ортопедические протезы и даже органы для пересадки).

В областях машиностроения, авиастроения и медицины прочность напечатанных образцов (изделий) играет ключевую роль в развитии и повсеместном применении технологии 3D печати. На механическую прочность деталей будут влиять **материал**, из которого печатается деталь, и **параметры (установки)** при которых она печатается (изготавлевается).

Напечатать одну и ту же деталь можно с различными параметрами печати (например, с различной скоростью печати и температурами стола), с различными параметрами и геометрией (треугольник, зиг-заг, тетраэдр и д.р) заполнения. Одни и те же изделия, напечатанные при различных параметрах, будут иметь отличные друг от друга прочностные характеристики. В большей степени на прочность образца будет влиять геометрия заполнения детали.

Целью данной работы является выявление наиболее удачной геометрии заполнения печатного образца, которая обеспечит максимальную прочность изделию (в сравнении с другими вариантами геометрии заполнения) и обеспечит наименьшее время изготовления (печати) образца.

# 2 Постановка задач

Печать детали (изделия) на 3D-принтере осуществляется послойным нанесением материала друг на друга в определенной последовательности. Данная технология обладает определенным преимуществом по сравнению с литьем, например. Данное преимущество заключается в том, что изготавливаемая деталь может быть “полой” или “частично полой” внутри. За то, будет ли деталь “полой” или “частично полой” отвечает такой параметр печати, как “Заполнение”. При заполнении 100% деталь будет сплошной, при 0% полой (будет напечатаны только стенки детали), при всех остальных параметрах заполнения (от 1% до 99%) деталь будет “частично полой”, притом геометрию заполнения (треугольник, квадрат, шестиугольник, зиг-заг и т.д) можно задать самому.

В конструировании применение “полых” или “частично полых” деталей очень актуально. Конструкторы зачастую используют стандартный сортамент материалов (круги, плиты, листы и т.д), детали, полученные из стандартного сортамента, зачастую получаются чересчур надежными и, соответственно, чересчур тяжёлыми. Тяжелые детали утяжеляют изделие в целом, что приводит к ограниченности использования данного изделия, проблемам при эксплуатации и транспортировки, что, в совою очередь, приводит к материальным потерям.

Решением данной проблемы является облечение таких деталей (например, удаление “лишнего” материала), но без дополнительной механической обработки деталь не облегчить. Доп. обработка ведет к дополнительным материальным затратам, увеличению общего времени изготовления детали, созданию отходов, утилизация которых тоже приносит убытки.

Применение 3D технологий позволяет решить данную проблему без дополнительных материальных затрат.

В данной работе будут исследованы механические характеристики деталей, изготовленных по технологии 3D печати из пластика, с заполнением 50% и различной геометрией заполнения. В процессе изготовления (печати) все параметры печати, кроме параметра: “геометрия заполнения”, будут одинаковы для всех испытательных образцов.

# 3. Испытания образцов.

## *3.1 Нормативные документы*

О механической прочности образцов будем судить по результатам испытаний на разрыв, изгиб, сжатие. Данные испытания проводятся по следующим нормативно-техническим актам:

* ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение;
* ГОСТ 4648-2014 Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб;
* ГОСТ 4651-2014 Пластмассы. Метод испытания на сжатие.

Чертежи испытательных образцов представлены в приложении 1.

Проводить испытания на разрыв и изгиб планируется на кафедре И2 на кафедральных разрывной и гибочной машинах.

Испытания на сжатие планируется проводить на кафедре Е4.

## *3.2 Испытания на разрыв.*

Испытания на разрыв проводятся по ГОСТ 11262-2017. Далее на рисунках изображены разрывные образцы, габаритные размеры которых соответствуют ГОСТ 11262-2017, напечатанных с заполнением 50% и различной геометрией заполнения.

На рисунках 2 и 3 продемонстрированы слои ДНА и КРЫШКИ разрывного образца. Данные слои сплошные (заполнение 100%), 2 сплошных слоя под дно и 2 сплошных слоя на крышку. Данные слои будут **одинаковы для всех образцов**, не зависимо от их принадлежности к той, или иной группе испытаний.

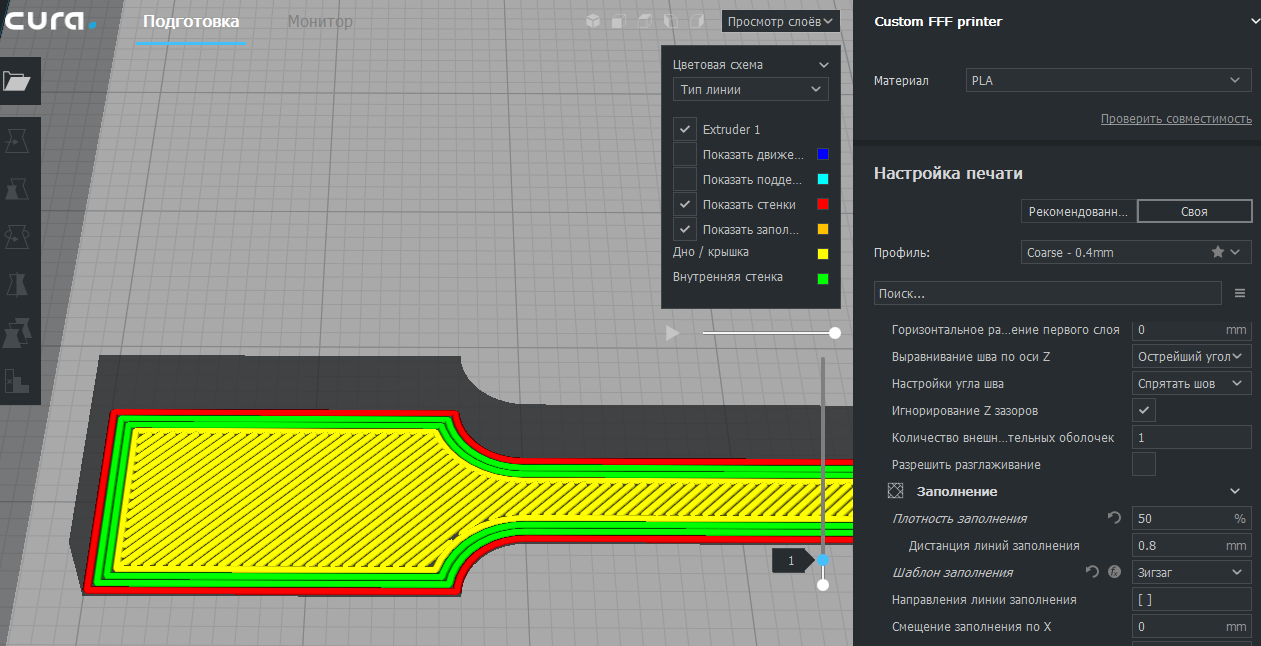


Рис. 2 Первый слой ДНА/КРЫШКИ

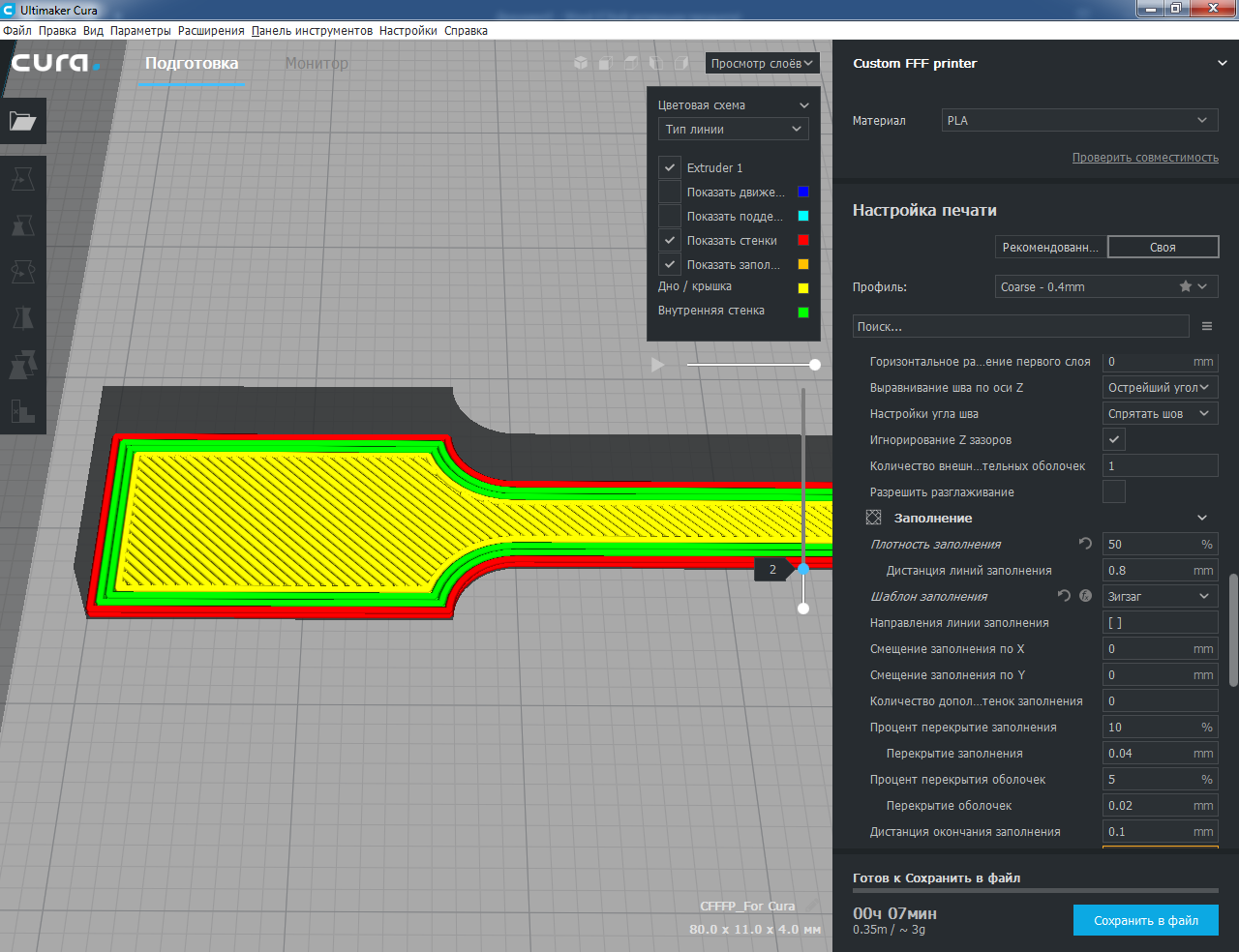


Рис. 3 Второй слой ДНА/КРЫШКИ

На рисунках 4 и 5 продемонстрирован шаблон заполнения “Зиг-Заг” с заполнением 50%

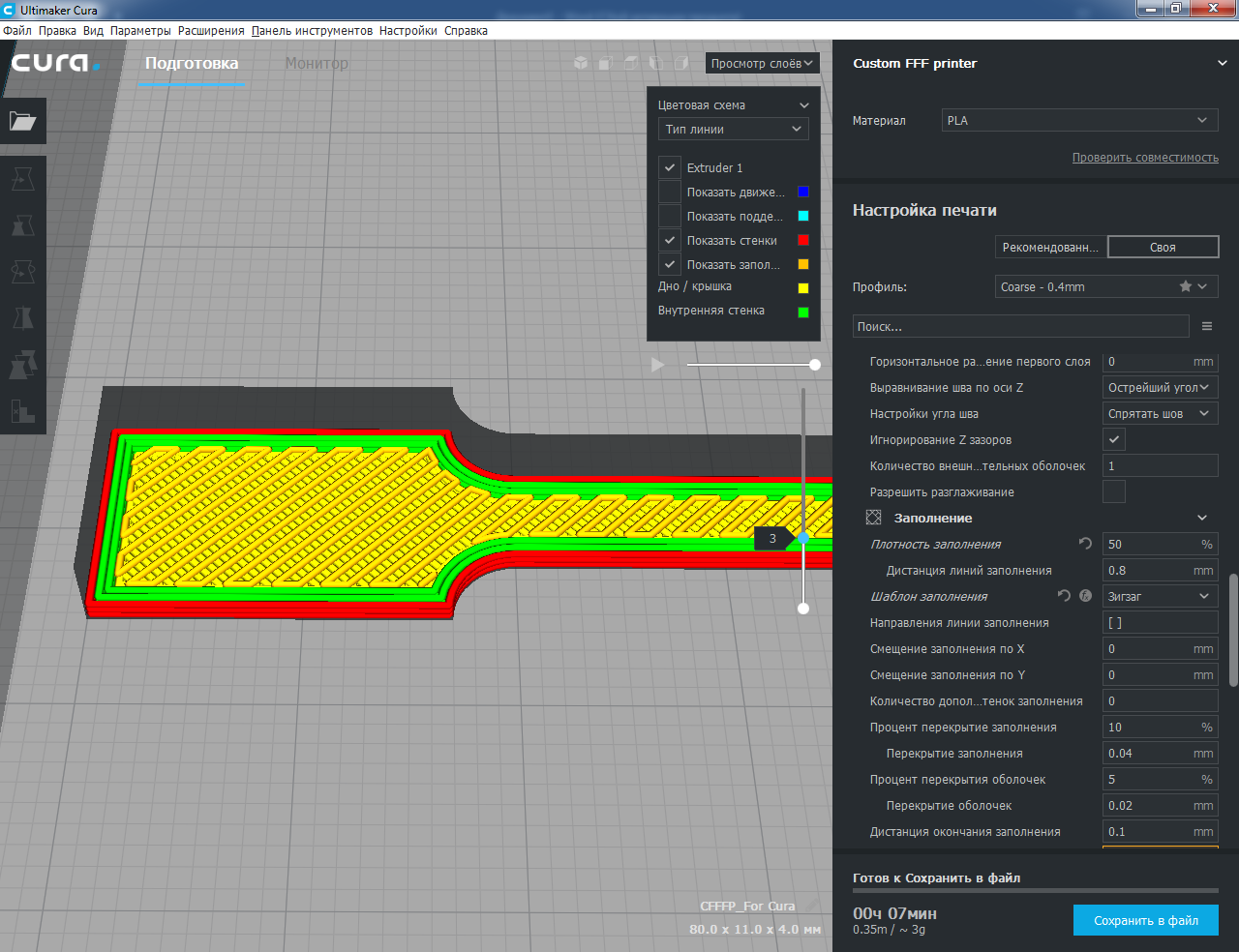


Рис. 4 Третий слой с шаблоном “Зиг-Заг” и заполнением 50%

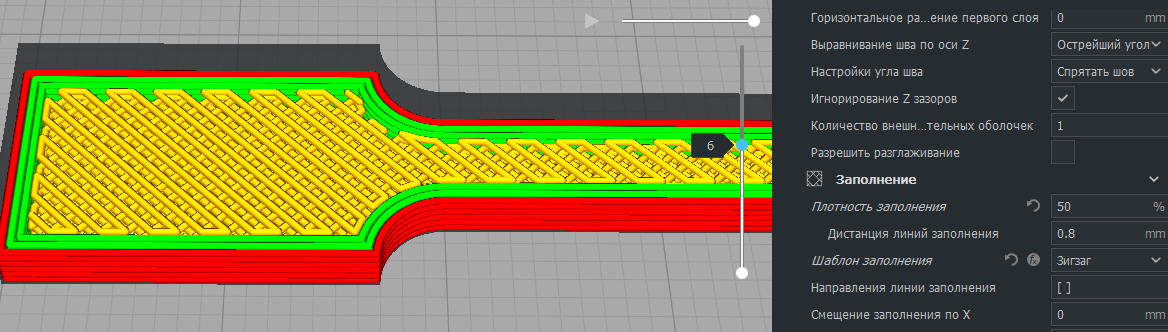


Рис. 5 Шестой слой с шаблоном “Зиг-Заг” и заполнением 50%

На рисунках 6 и 7 продемонстрирован шаблон заполнения “Треугольник” с заполнением 50%

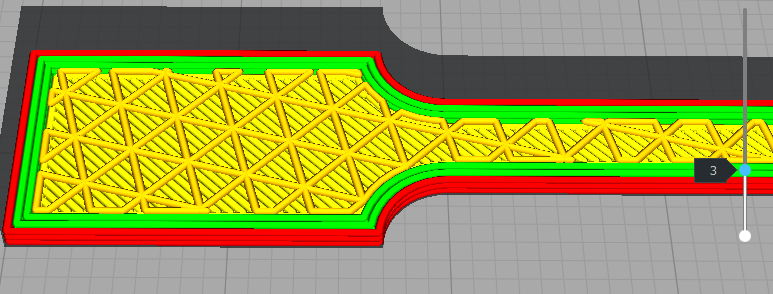


Рис. 6 Третий слой с шаблоном “Треугольник” и заполнением 50%

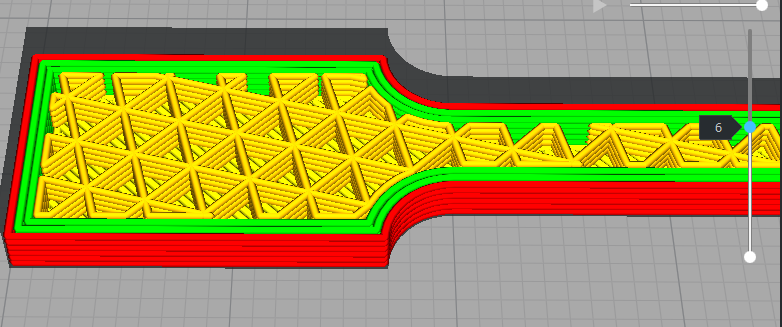


Рис. 7 Шестой слой с шаблоном “Треугольник” и заполнением 50%

## *3.3 Испытания на изгиб.*

Испытания на изгиб проводятся по ГОСТ 4648-2014. Далее на рисунках изображены гибочные образцы, габаритные размеры которых соответствуют ГОСТ 4648-2014, напечатанных с заполнением 50% и различной геометрией заполнения.

На рисунке 8 представлен первый слой ДНА/КРЫШКИ гибочного образца, на рисунке 9 Шестой слой с шаблоном “Треугольник” и заполнением 50%

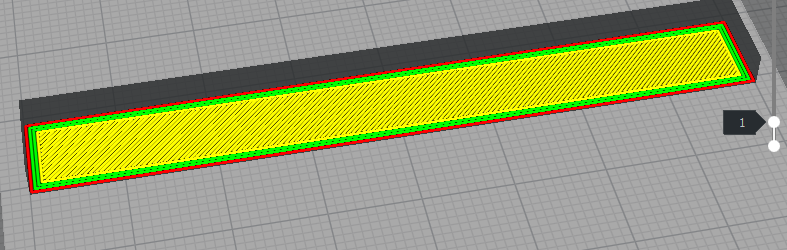


Рис. 8 Первый слой ДНА/КРЫШКИ

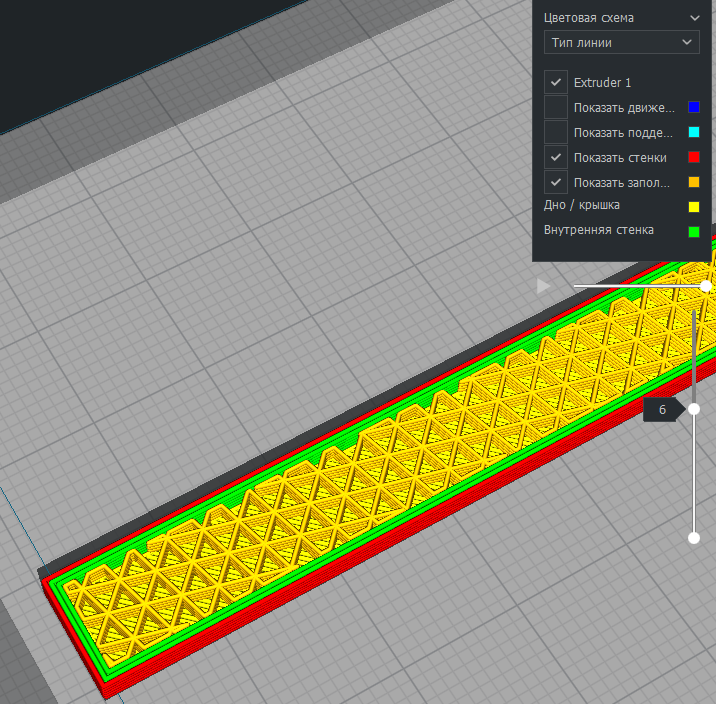


Рис. 9 Шестой слой с шаблоном “Треугольник” и заполнением 50%

На рисунке 10 продемонстрирован шестой слой гибочного образца с шаблоном заполнения “Зиг-Заг” и заполнением 50%

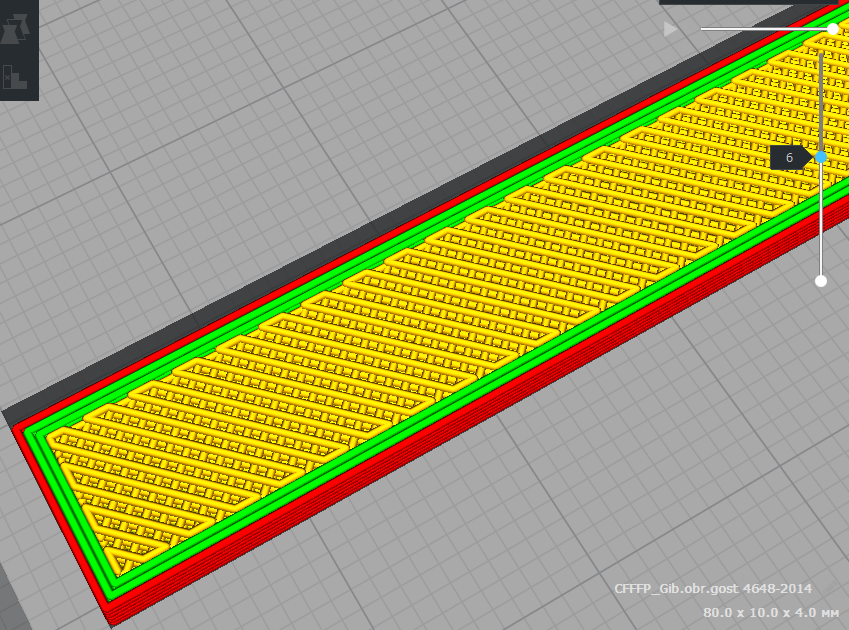


Рис. 10 Шестой слой с шаблоном “Зиг-Заг” и заполнением 50%

## *3.4 Испытания на сжатие.*

Испытания на сжатие проводятся по ГОСТ 4651-2014. Далее на рисунках изображены сжимные образцы, габаритные размеры которых соответствуют ГОСТ 4651-2014, напечатанных с заполнением 50% и различной геометрией заполнения.

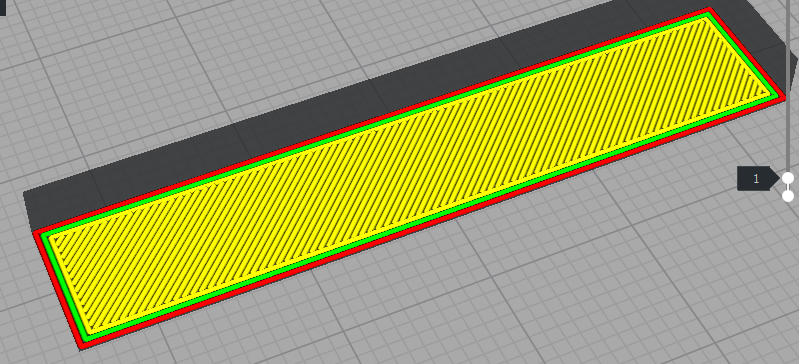
На рисунке 11 представлен первый слой ДНА/КРЫШКИ сжимного образца, на рисунке 12 Шестой слой с шаблоном “Треугольник” и заполнением 50%

Рис. 11 Первый слой ДНА/КРЫШКИ

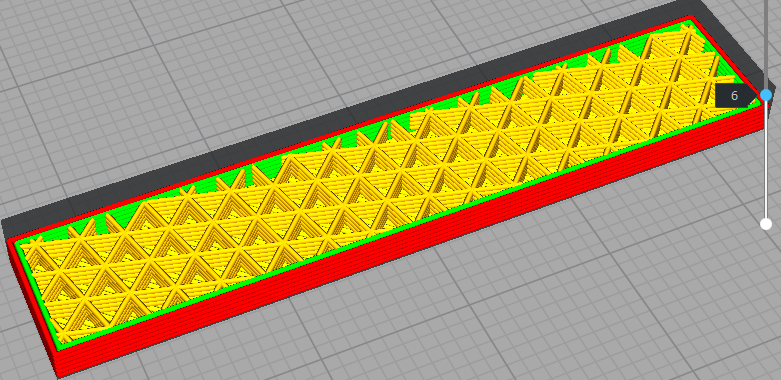


Рис. 12 Шестой слой с шаблоном “Треугольник” и заполнением 50%

На рисунке 13 продемонстрирован шестой слой сжимного образца с шаблоном заполнения “Зиг-Заг” и заполнением 50%

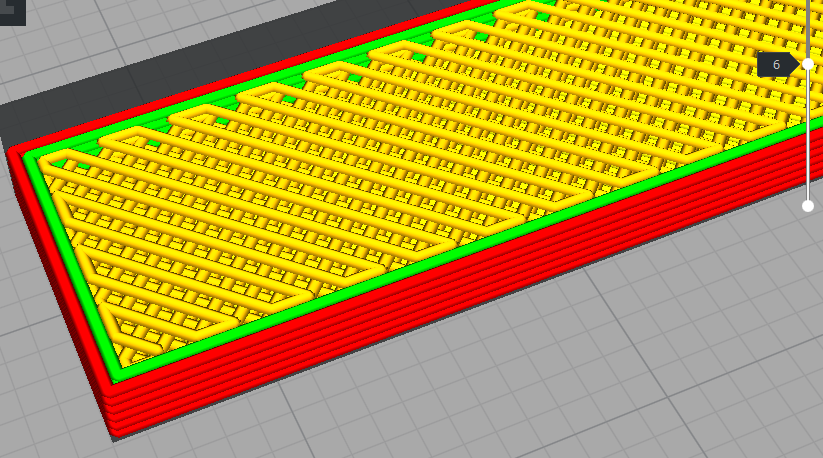


Рис. 13 Шестой слой с шаблоном “Зиг-Заг” и заполнением 50%

# 4 Выбор материала печати

Существует много материалов, которые исследовались на предмет применимости в 3D-печати, и на сегодняшний день доминирующую роль в этой нише занимают – ABS, PLA, SBS и PETG.

Все они – термопластики, т.е. они становятся мягкими и пластичными при нагревании, а при охлаждении затвердевают. Этот процесс может быть повторен многократно. Подверженность плавлению и обработке – именно то свойство, которое вывело термопластики в лидеры в повседневном использовании и привело к тому, что большинство видов пластика, с которыми мы сталкиваемся в быту, – термопластики.

***Основные свойства***

Помимо того, что объекты должны быть точно изготовлены, они должны выполнять необходимые функции.

**ABS** может принимать много разных полимерных форм, ему можно придать множество самых разных свойств. В целом, это прочный и несколько более податливый по сравнению с PLA пластик. Натуральный ABS имеет до окраски бежеватый (молочный) оттенок. Пластичность ABS позволяет легко создавать элементы различных соединений и крепежа. Он легко шлифуется и обрабатывается. Важно отметить, что ABS растворяется в ацетоне, что позволяет склеивать детали и добиваться очень гладкой поверхности.

**PLA пластик** создается из самых разнообразных продуктов сельского хозяйства – кукурузы, картофеля, сахарной свеклы и т.п. – и считается более экологичным, чем ABS, в основе которого лежит нефть. Изначально он применялся для изготовления продуктовых упаковок и легко утилизируется в промышленных компостных установках. В компостной куче на вашей даче он разлагаться не будет. В своем естественном виде он прозрачен и поддается окраске, в результате чего можно добиться также разной степени прозрачности. PLA такой же прочный, но более жесткий, чем ABS, поэтому его сложнее использовать для соединений различных элементов. Распечатанные объекты, как правило, более гладкие и блестящие. PLA немного труднее шлифовать и обрабатывать, чем ABS. PLA растворяется в Хлористом метилене (дихлорметане). Более низкая температура плавления делает PLA непригодным для ряда ситуаций – например, за день в нагретом салоне автомобиля детали из него могут деформироваться и «потечь».

***SBS.*** Прочность, пластичность и термостойкость делают из него материал, которому часто отдается предпочтение в инженерных и механических приложениях. Модуль упругости гораздо меньше, чем у ABS. То есть, напечатанные детали получаются более гибкими. Удлинение при разрыве >250%. Нить, в отличие от ABS, не ломается, не говоря о PLA, который наиболее хрупкий из рассматриваемых материалов. SBS имеет гибкую структуру. Он не обломится и не оборвется при печати. Даже если пруток в ваш экструдер подается под углом в 90 градусов! Материал прозрачен (93% светопропускания). Окрашивание материала дает очень красивый эффект. Обрабатывается и растворяется лимоненом, дихлорметаном, сольвентом. SBS идеально подходит для печати плафонов светильников, прототипов прозрачной посуды, бутылок и т.д.

***PETG.*** Считается, что PETG сочетает в себе преимущества ABS — прочность, термостойкость, долговечность, и PLA — легкость использования в печати. Он немного более гибкий чем ABS и PLA, но более жесткий чем SBS. Сплавление слоев, как правило, великолепное. Низкая термоусадка. Можно не так опасаться искажений в размерах распечаток.

С помощью всех этих материалов можно создавать точные пространственные элементы. Есть, тем не менее, определенные нюансы, которые следует иметь в виду в отношении рассматриваемых видов пластика.

***ABS.*** При использовании ABS единственной существенной проблемой является заворачивание пластика при контакте с поверхностью печати. Эту проблему легко устранить, если подогревать саму поверхность печати, которая при этом должна быть гладкой, плоской и чистой. Кроме того, некоторые прибегают к дополнительным хитростям, например, наносят на поверхность смесь ABS и ацетона или сбрызгивают ее лаком для волос. Хорошие результаты дает специальное покрытие fixpad и пленка для стола.

Нагрев стола нужен для обеспечения фазового состояния контакта пластика со столом — он должен быть в состоянии упругой деформируемости — для ABS это диапазон 105-230 градусов. При температуре ниже он кристаллизуется и отслоится, а выше — перейдет в состояние вязкой текучести и тоже отслоится. Но обычно стол нагревают всего до 70 градусов. Подогрев стола обеспечивает задачу поддержания всего объема изделия при температуре упругой деформируемости с минимальным гредиентом по слоям. Но если изделие достаточно большое — более 5 см, обеспечить это условие в полной мере можно только в закрытой камере печати.

***PLA.*** По сравнению с ABS, слои PLA скручиваются гораздо меньше. Это дает возможность печати без подогрева стола и использовать в качестве нее любимый многими синий скотч 3М, но который недавно был снят с производства, но на замену ему пришло универсальное покрытие fixpad. Полный отказ от подогретой подложки все же может привести к небольшому скручиванию крупных слоев – хотя и не всегда. При нагревании PLA подвергается более значительным фазовым изменениям и становится более текучим. При активном охлаждении при печати можно добиться более заостренных элементов и углов – без риска получить хрупкий объект. Повышенная текучесть обеспечивает также лучшее сцепление между слоями, и результат получается более прочным.

***SBS.*** Не боится открытого воздуха и сквозняков. Хорошо липнет к столу. Имеется возможность печати и на холодном столе. SBS хорошо подходит для печати крупно-габаритных макетов. Великолепная межслойная адгезия (слипание между слоями) добавляет распечатанным изделиям плюсы к прочности. Пластик допущен для изготовления медицинских изделий и детских игрушек.

***PETG***. Аналогично, не боится открытого воздуха и сквозняков. Хорошо липнет к столу. Подогрев стола не обязателен, но может оказаться полезен, особенно в случае, если обнаруживается искажение крупных деталей. Вполне возможно печатать без подогрева, однако придется немного повозиться с настройками. Очень прочный и долговечный материал.

Суммируя и упрощая тысячи факторов, в силу которых один пластик следует предпочесть другому, подведем краткий итог.

***ABS.*** Часто предпочитают применять в инженерных и профессиональных приложениях по причине его прочности, пластичности, легкости в обработке и высокой термостойкости. Нагретый ABS, как и любой пластик на основе нефтепродуктов, обладает неприятным для многих запахом. Необходимость наличия подогретой подложки делает его почти неприменимым для удовлетворительного качества печати на некоторых принтерах.

***PLA***. Широкая гамма доступных цветов, степеней прозрачности, а также получающаяся глянцевая поверхность делает этот пластик привлекательным для изготовления арт-объектов и хозяйственной утвари. Многие имеют в виду растительное происхождение этого пластика и предпочитают его полусладкий запах запаху ABS. При правильном режиме охлаждения максимальная скорость печати PLA выше, слои тоньше, углы острее. Если добавить к этому прочность получаемых деталей, то становится понятна популярность PLA среди любителей и в школах.

***SBS***. Новый и очень перспективный материал для 3D-печати. Своими свойствами он превосходит традиционные ABS или PLA. Если давать общую оценку для рассмотренных материалов, то SBS встанет на первое место как универсальный, не капризный, удобный и красивый материал.

***PETG.*** Призван заменить ABS и PLA в области 3D-печати, по своим свойствам превосходит эти материалы, удобен в использовании, долговечен, безопасен.

В качестве материал для печати образцов был выбран пластик ABS в виду его прочночных характеристик, а также его популярности и доступности на ранке.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитрий Горьков. 3D-печать с нуля 2015г.

2. Asadi Aaron. 3D Make & Print Second Edition 2017г.

3. Cline Lydia. 3D Printing and CNC Fabrication with SketchUp 2015г.

4. Интернет-ресурс: https://rusabs.ru/blogs/blog/razlichie-mezhdu-abs-i-pla-dlya-3d - Сравнение ABS, PLA, SBS, PETG. Различие пластиков: свойства, хранение, применение., 2016г.