

**«Моделирование процесса остывания элементов корпуса  
при 3Д печати с использованием ПО Логос»**

Ишматова Аида Эдуардовна, Хайдарова Диляра Владиславовна

математика

10 класс, МБОУ «Лицей №83 - Центр образования»

г. Казани, Республики Татарстан

Научные руководители: Бикоева Д. Д., директор МБОУ «Лицей №83 - Центр  
образования» г. Казани, Республики Татарстан

Зиннурова Л. Д., учитель математики МБОУ «Лицей №83 - Центр  
образования» г. Казани, Республики Татарстан

## **Введение**

**Актуальность:** 3D-печать продолжает набирать популярность в различных отраслях, таких как машиностроение, медицина, архитектура и другие. Моделирование этого процесса позволяет улучшить результаты печати. Использование программного обеспечения для моделирования процесса охлаждения позволяет предсказать дефекты и оптимизировать параметры печати для улучшения качества изделия. Тема исследования актуальна, так как она помогает создать базу для внедрения инновационных решений в 3D-печати, которые будут отвечать требованиям повышенной точности и качества.

**Объект исследования:** 3D печать.

**Предмет исследования:** моделирование процесса остывания элемента корпуса при 3Д печати с использованием ПО Логос.

**Цель исследования:** исследование свойств материала и процессов, происходящих при 3д печати с целью предсказания и предотвращения дефектов, а также разработкой рекомендаций для улучшения качества печати.

### **Задачи исследования**

1. Изучение процесса остывания элементов корпуса при 3Д печати.
2. Определение оптимальных параметров печати, оценка точности созданной модели
3. Рекомендовать условия для улучшения процесса печати

**Методы исследования:** Моделирование материала, анализ термических деформаций и оптимизация процессов печати

## **Основная часть**

### **Теоретическая часть**

**Типы пластика для 3D печати. [1]**

- **PLA (полимолочная кислота)** — биосовместимый и легко печатаемый материал, подходящий для начинающих. PLA быстро остывает и практически не деформируется, легко плавится при низких температурах.
- **ABS (акрилонитрилбутадиенстирол)** отличается прочностью, устойчивостью к высоким температурам и токсичностью.

- **PETG (полиэтилентерефталатгликоль)** сочетает прочность ABS с простотой печати и гибкостью PLA. Этот пластик устойчив к влаге и химическим веществам, а также обладает хорошей прозрачностью.
- **TPU (термополиуретан)** — гибкий и эластичный материал. Является уникальным материалом, объединяющим только лучшие свойства каучука и пластмасс.
- **PA (нейлон)** — это один из самых популярных материалов для 3D-печати благодаря своей прочности, долговечности и отличным механическим свойствам.

При выборе пластика для 3D-печати корпуса беспилотника стоит обратить внимание на материалы, которые сочетают прочность, термостойкость и легкость. Выбор пластика зависит от конкретных условий эксплуатации и требований к дрону. ABS и карбоновый нейлон подходят для прочных и устойчивых к нагрузкам корпусов, тогда как PETG — компромиссный вариант между прочностью и простотой печати.

### **Процесс печати на 3D принтере с использованием разных типов пластика.**

[2]

При 3D-печати выбор материала важен, так как разные типы пластика имеют разную область применения. Технология FDM (послойное направление) подходит для термопластиков, таких как PLA, ABS, PETG и TPU.

PLA плавится при 190-220°C и хорошо адгезирует к платформе при минимальном подогреве или без него (20-60°C), что снижает риск деформации изделия. PLA имеет приятный запах и считается экологически безопасным, так как изготовлен из возобновляемых и органических источников.

Печать с использованием ABS требует высокой температуры (230–250°C) и нагреваемой платформы (80–110°C) для предотвращения деформации и хорошей адгезии слоев. ABS выделяет пары при печати, поэтому рекомендуется хорошая вентиляция и использование закрытой камеры. Поскольку ABS имеет тенденцию к усадке при остывании, важно поддерживать стабильную температуру в процессе печати. Этот материал часто применяется для

изготовления функциональных деталей и корпусов, требующих долговечности и стойкости к механическим нагрузкам.

PETG плавится при температуре 220–250°C и требует нагрева платформы до 60–80°C для улучшения адгезии, а также для предотвращения деформации изделия. PETG требует тщательной настройки охлаждения, чтобы избежать нитей и излишков материала между слоями. Этот материал часто используется для печати функциональных деталей, благодаря своей устойчивости к влажности и возможной совместимости с пищевыми продуктами.

Печать с использованием TPU требует особого подхода из-за гибкости и эластичности материала. TPU плавится при температуре 220–250°C, и температура стола должна поддерживаться на уровне 40–60°C для улучшенной адгезии. Гибкость TPU делает его склонным к скручиванию или заеданию в экструдере, поэтому лучше использовать низкую скорость печати (20–30 мм/с). TPU идеально подходит для создания упругих, гибких изделий, таких как чехлы, уплотнители и детали, поглощающие удары, что делает его незаменимым для прототипов, требующих гибкости.

Нейлон (PA) требует высоких температур для печати: температура сопла должна быть в пределах 240–270°C, а температура стола — 70–100°C. Важно обеспечить хорошую адгезию к поверхности стола. Для этого можно использовать такие материалы, как PEI или специальный клей. Нейлон обладает отличной прочностью, гибкостью и устойчивостью к химическим воздействиям, что делает его идеальным для изготовления функциональных и долговечных деталей, таких как компоненты для автомобилей или медицинские изделия.

### **Процесс остывания пластика. [3]**

При 3D-печати корпусов для беспилотников важен процесс охлаждения, который влияет на прочность, форму и стабильность финального изделия. Элементы корпуса беспилотников обычно охлаждаются естественным образом или с помощью дополнительных методов, чтобы предотвратить деформацию и улучшить качество поверхности. Корпус дрона должен

выдерживать нагрузки и температурные перепады, а значит, материал должен равномерно охлаждаться и избегать деформаций.

- 1. Остывание от воздействия воздуха.** В случае с такими материалами, как PLA, охлаждение может происходить быстро, поскольку этот пластик имеет низкую температуру плавления (около 180-220°C). Однако для предотвращения усадки и деформации важно контролировать скорость охлаждения. Быстрое охлаждение может привести к растрескиванию или искривлению изделия.
- 2. Остывание в контролируемых условиях.** Для пластиков, склонных к деформации, таких как ABS, или материалов, как нейлон, охлаждение часто происходит в специально контролируемой среде. Например, в закрытой камере 3D-принтера или в помещении с равномерной температурой, где температура остаётся стабильной. Это помогает минимизировать напряжение в материалах, которое может возникнуть из-за резкого перепада температур.
- 3. Использование охлаждающих вентиляторов.** Для пластика, как PETG, который имеет меньше проблем с деформацией, вентиляция или включение охлаждающего вентилятора может помочь ускорить процесс, предотвращая накопление тепла в слоях. Однако слишком интенсивное охлаждение может привести к образованию дефектов, таких как стекание или неровности на поверхности.

Охлаждение производится после завершения печати или поэтапно между слоями, в зависимости от материала и модели дрона. Охлаждение также помогает предотвратить деформации, которые могут повлиять на аэродинамические свойства дрона и его устойчивость в полете. Такой подход к охлаждению позволяет сохранить прочность и легкость корпуса дрона, что важно для стабильности и маневренности в воздухе.

**Виды деформаций, которые могут возникать при печати, и причины, по которым это происходит с пластиком:**

- **Усадка.** Возникает из-за разницы температурного режима внутри изделия и на его поверхности.

- **Чрезмерное свободное пространство печатного бокса.** Проблема возникает, если мощности стола не хватает, чтобы в достаточной мере разогреть пространство термобокса по всему объёму печатающейся модели.
- **Недостаточная адгезия детали к поверхности рабочего стола.** Если сцепления недостаточно, внутреннее напряжение (усадка) будет преодолевать его силы, и изделие потеряет форму.
- **Низкий показатель спекаемости слоёв.** Если сила внутреннего напряжения превысит силу спекания слоёв, произойдёт разрыв, и на поверхности модели появятся трещины.
- **Неправильные настройки толщины слоя и процента заполнения детали.** Избыточная усадка может возникать при выставлении неверных показателей.

#### **Как избежать деформации пластика [4]:**

- **Откалибровать и выровнять платформу.** Даже небольшое отклонение может привести к плохой адгезии первых слоёв, что способствует деформации.
- **Закруглить углы модели.** Остроконечные и прямоугольные углы более склонны к деформации, чем закруглённые.
- **Контролировать скорость охлаждения.** Для некоторых материалов важно регулировать её: например, ABS плохо переносит резкое охлаждение, поэтому нужно снизить скорость вентилятора или отключить его на первых слоях.
- **Использовать температурный режим.** Нужно подобрать оптимальный температурный профиль для материала.
- **Использовать подложки и поддержки.** Они увеличивают площадь контакта модели с платформой, что улучшает адгезию и снижает вероятность деформации.
- **Поддерживать стабильную температуру в помещении.** Сквозняки или резкие изменения температуры могут негативно влиять на процесс печати.
- **Применять адгезионные покрытия и специальные плёнки.** ПЭТ-плёнки и каптоны создают равномерную поверхность для печати и могут быть эффективнее стандартного клея.

- **Уменьшить плотность печати.** Внутри деталь будет заполнена сеткой или сотами из пластиковых нитей. Это не только уменьшает расход материала, но и снижает вероятность деформации за счёт достаточной жёсткости конструкции и сравнительно меньшим объёмом пластика в верхних слоях.

### О программе ПО «Логос»

Программный продукт «Логос» - это система автоматизации инженерных расчетов, программное обеспечение для численного моделирования поведения отдельных элементов и целых конструкций в различных условиях использования. Предварительный анализ работоспособности проектируемых деталей в цифровой среде, сокращает время разработки и экономит средства.

### Практическая часть

#### Процесс моделирования детали

##### 1. Создание эскиза в “Компас-3D”

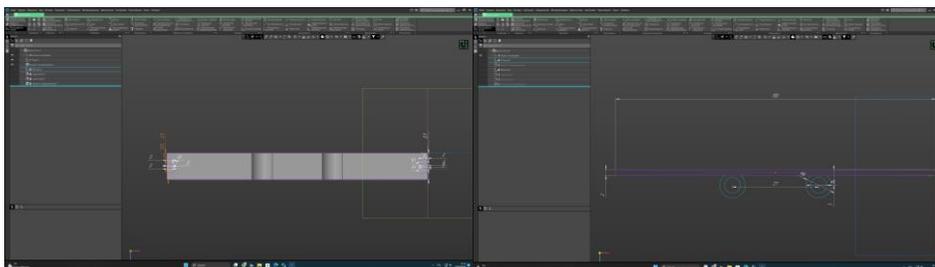


Рисунок 1. Эскиз в “Компас-3D”

На рисунке 1 показаны размеры детали. Деталь для печати - LED holder для Tweaker 180. Длина детали - 100 мм, ширина - 2 мм, высота - 10 мм, радиус окружностей - 8, радиус вырезанных окружностей - 5.

##### 2. Экспорт детали в Ocraslicer и подготовка к печати. На рисунке 2 показана деталь в Ocraslicer.

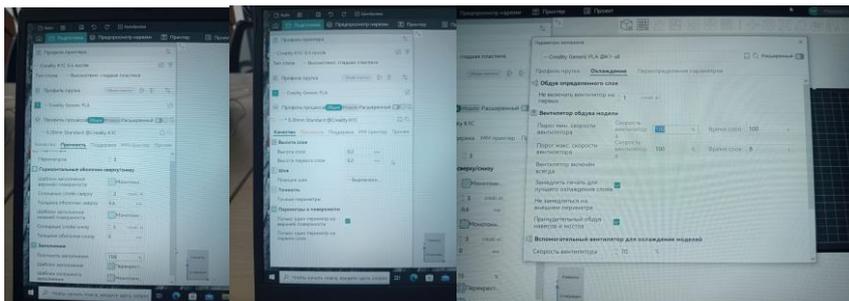


Рисунок 2. Деталь в Ocraslicer

## Процесс печати детали

Для печати был выбран пластик PLA, так как данный тип биосовместим и экологичен, практически не даёт усадки, что снижает вероятность деформаций, позволяет получать чёткий продукт с высокой детализацией и распространением.

## Получившиеся деформации

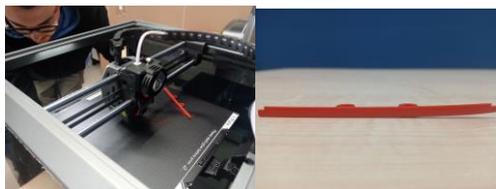


Рисунок 3. Деформации

На рисунке 3 показана деформация детали. В процессе печати деталь вылетела из принтера из-за неправильных настроек. Сама деталь деформировалась ввиду того, что “охлаждение” было на 100 процентов. PLA чувствителен к температурам, что и повлияло на деформирование продукта.

## Процесс моделирования остывания в ПО Логос

Моделирование происходило в модуле логоса аэрогидромеханика.

1. Построение сетки показано на рисунке 4.

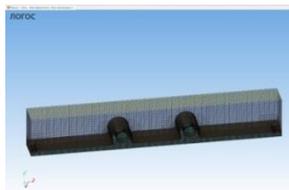


Рисунок 4. Построение сетки

2. Выбор материала и установка параметров показано на рисунке 5.

Используются два материала: воздух и пластик PLA. Чаще всего при печати PLA используют обдув.

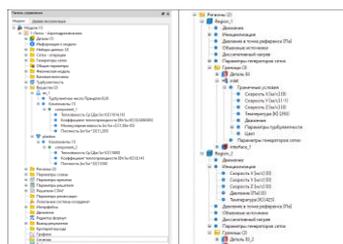


Рисунок 5. Установка параметров

## Процесс остывания детали.

1. Начальный этап (0 секунд) показан на рисунке 6. Область вокруг детали комнатной температуры, сама деталь нагрета на 423 кельвина (150°)

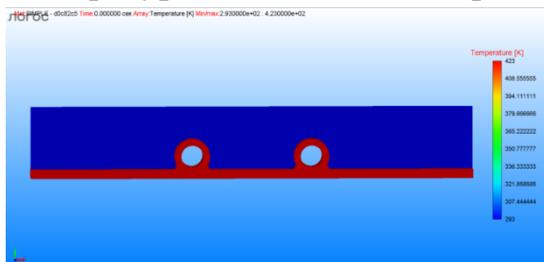


Рисунок 6. Начальный этап

2. Деталь на 6 секунде обдува показана на рисунке 7. Постепенно начинает охлаждаться

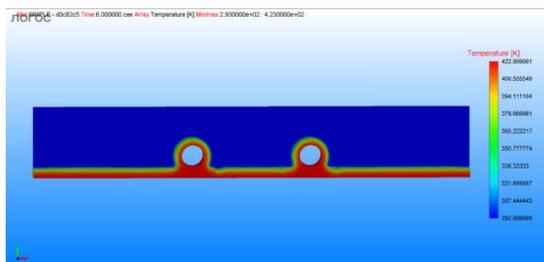


Рисунок 7. Деталь на 6 секунде обдува

3. Деталь на 9 секунде обдува показана на рисунке 8. Деталь стала холоднее, чем была, температура на ее поверхности примерно 90°.

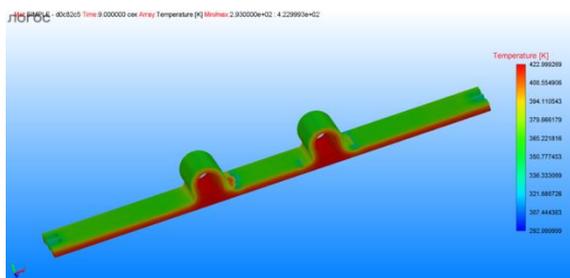


Рисунок 8. Деталь на 9 секунде обдува

4. Деталь на 28 секунде обдува показана на рисунке 9. Практически полностью охладились, температура по краям достигла комнатной.

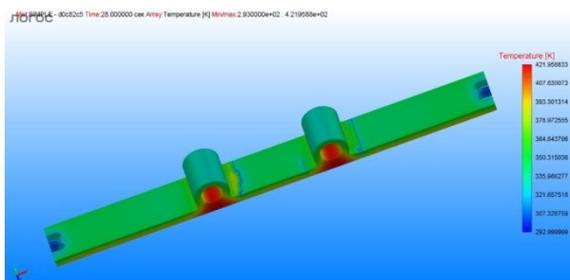


Рисунок 9. Деталь на 28 секунде обдува.

## **Заключение**

Мы смоделировали процесс остывания элементов корпуса при 3D печати с использованием ПО Логос. Исследовали свойства материала и процессов, происходящих при 3d печати с целью предсказания и предотвращения дефектов, а также занимались разработкой рекомендаций для улучшения качества печати.

Мы пришли к выводу, чтобы избежать деформаций, рекомендуется снижать скорость печати, уменьшать температуру нагрева пластика, а также охлаждать экструдер, за исключением первых слоев: во время их печати кулер экструдера необходимо выключить для лучшей адгезии слоя к платформе.

## **Список литературы**

1. Виды пластика для 3D принтера. Плюсы и минусы, советы по выбору. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cvetmir3d.ru/blog/poleznoe/vidy-plastika-dlya-3d-printera/>
2. Пластики для 3D принтера. Руководство по видам пластиков и их характеристики. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://3dtool.ru/stati/plastiki-dlya-3d-printera-sravnivaem-kharakteristiki-plastikov-dlya-3d-printera/>
3. 3D печать. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://3d-favorit.ru/blog/8-sovetov-kak-izbezhat-deformacii-i-korobleniya-vo-vremya-3d-pechati>
4. Как победить деформацию. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://m.vk.com/@solovey3d-kak-pobedit-deformaciu-sovety-dlya-professionalov-3d-pechati>