

## СОЗДАНИЕ МИНИ БПЛА С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Кариева К., Ахмеджанов С., Калибеков Д.М., Омаров Ж.Г  
[mike.pancake@mail.ru](mailto:mike.pancake@mail.ru)

Магистранты 1-го курса кафедры космической техники и технологии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель - Жакупова А.Е.

Аддитивные технологии — технологии послойного наращивания и синтеза 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. Благодаря данным технологиям мы можем создавать более простые прототипы различных аппаратур.

Широко известные как дроны, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) - это транспортные средства, способные к автономной работе. Таким образом, беспилотный летательный аппарат не ограничивается самолетом; это может быть автомобиль, лодка или даже судно на воздушной подушке. Однако этот термин стал использоваться для определения воздушного судна, в котором имеется три или более пропеллеров, обеспечивающих подъемную силу и тягу. Их также обычно называют мультироторами или квадрокоптерами. Беспилотные летательные аппараты механически очень просты, состоят из рамы, контроллера полета, двигателей, пропеллеров, регуляторов скорости и, возможно, оборудования для просмотра от первого лица (FPV). 3D-печать не чужда полетам.

Еще одним плюсом при использовании 3D-печатных деталей является их относительно низкая плотность. С помощью 3D-печати такие параметры, как количество периметров и процент заполнения, могут быть скорректированы для значительного снижения веса, причем первое оказывает большее общее влияние. Помимо того, что детали полностью изготовлены на заказ и легки, их можно быстро повторять. Основным материалом, безусловно, на мини-квадрокоптерах, является композитный материал - нейлон. Это связано с тем, что он очень гибкий и может деформироваться при ударе, поглощая энергию и защищая компоненты, к которым они прикреплены. Поскольку он гибкий, он также может поглощать вибрацию, уменьшая количество, видимого в записанных кадрах. К счастью, это стало меньшей проблемой с выпуском стабилизации в камере. Другим подходящим материалом является нейлон. Он сложнее, чем TPU, но все же обладает некоторой гибкостью. Основными частями, которые печатаются в TPU, являются бамперы, крепления для камер, крепления антенн и защитные ограждения пропеллера.

**Плавники.** Они должны помочь с режимом, известным как «черепашка». При посадке самолета вверх ногами два двигателя могут быть перевернуты, чтобы перевернуть самолет, что позволит вам снова взлететь (и завершить гонку). Они чаще всего печатаются в TPU и иногда в нейлоне. **Антенные крепления.** Если вы летите с FPV, антенны видеопередатчика имеют жизненно важное значение. Таким образом, существует множество вариантов монтажа для этих компонентов. Если корабль предназначен для полетов на большие расстояния, то засекание активной части антенны в TPU не является хорошей идеей, поскольку это окажет пагубное влияние на видеосигнал. Нужно помнить, что юридически мы должны оставаться в пределах визуальной линии видимости. Для них TPU является предпочтительным выбором, потому что он очень эластичен и может деформироваться без длительного повреждения. Также может быть включено отслеживание головки FPV, где камера FPV установлена на буровой установке, что позволяет ей перемещаться в двух или

трех измерениях в соответствии с вашими очками. Таким образом, камера движется параллельно вашей голове, способствуя погружению. Для этого мы должны использовать негибкие материалы, такие как PETG, ABS, ASA или даже ПК.

В проектировании дрона мы будем использовать следующие детали.

Таблица 1

Используемые детали для дрона

Название детали	Цель	Вес
HGLRC F413 Flytower	Контроллер полета+плата для двигателей	7г
4x Racerstar RC1103B 8000kV	Двигатели	14,8г
2035 propellers	2 пары пропеллеров	4г
Giant Power 2S 300mAh Lipo	Батарея	19г
Charsoon Lipo Charger	Зарядное устройство	-
FlySky FS-i6	Радиопередатчик	-
FS-RX2A Pro	Приёмник	1г
JST Connector	Разъем для подключения аккумулятора	1г
3-wire servo cable	Подключение приемника к контроллеру полета	1г
Frame	3D-печать	16г

Нам также понадобятся пара стяжек на молнии, чтобы собрать каркас. Мы также можем использовать застежку-молнию для крепления аккумулятора, или получить липкую липучку. Также возьмем один комплект батарей. Батареи хватает примерно на 4-5 минут, поэтому чтобы летать на улице в течение длительного времени, наличие пары дополнительных li-po батарей - хорошее решение. Кроме того, нужно взять пару запасных подпорок, на случай если сломаем пару, прежде чем научимся правильно управлять дроном.

Квадрокоптер заставляет летать набор из четырех моторов. Два из них вращаются по часовой стрелке, два других - против часовой стрелки. Каждая пара двигателей имеет свой набор двухтактных пропеллеров (обычно называемых "опорами"). В идеальном случае эти четыре двигателя должны генерировать тягу, по крайней мере, вдвое превышающую массу машины. Однако настоящее веселье начинается в соотношении 1:3, а правильные гоночные квадроциклы намного выше этого. Для питания двигателей нам нужна батарея. Если мы хотим вращать двигатели быстрее или дольше, нам нужна батарея большего размера. Однако большая батарея весит больше, поэтому нам нужны более мощные двигатели с большими опорами, которые, в свою очередь, требуют больше "сока" от батареи, поэтому они разряжают ее быстрее. Это бесконечный цикл поиска наилучшего соотношения мощности и веса. Для этого проекта мы выбрали FPV-камеру со встроенным видеопередатчиком, который передает аналоговое изображение на частоте 5,8 ГГц. Почти у всех очков FPV есть кнопка автоматического сканирования. Поэтому, как только вы включите беспилотник, камера начнет передавать изображение на выбранной частоте. Используйте функцию автоматического сканирования очков FPV, чтобы настроиться на ту же частоту и получить изображение с камеры.

Рама для 1103 двигателей, 2-дюймовые опоры и электроника 20×20 мм. В нем есть держатель для камеры, а батарея расположена сверху. Все держится вместе с помощью маленьких кусочков обрезанной нити и стяжек на молнии – да, вы правильно расслышали. Несмотря на отсутствие винтов (есть только винты для двигателей), конструкция довольно прочная и совсем не шатается. Разборка и повторная сборка занимает всего минуту.

Все может быть напечатано без опор, а поскольку деталей больше, мы можем использовать нити разных цветов, чтобы по-настоящему настроить и персонализировать

свой беспилотник. На данный момент антенного щита нет, но, по правде говоря, после нескольких сильных аварий треснули только опорные щитки. Вся рамка весит всего 16 граммов, так что она идеально подходит для нашего случая. Мы можем сэкономить еще 3-4 грамма общего веса, сняв защитные ограждения. И преимущество 3D-печатной рамки очевидно - если мы повредим ее, мы легко сможем напечатать другую. Так что никогда не помешает иметь в сумке пару дополнительных деталей. Как только все детали будут спаяны вместе, мы можем перейти к процедуре связывания. Затем пришло время настроить программное обеспечение. Наше любимое решение - BetaFlight. BetaFlight - это мощный бесплатный инструмент для настройки летных характеристик широкого спектра летательных аппаратов. Базовая настройка невероятно проста – сначала нужно поместить беспилотник на ровную поверхность и откалибровать акселерометр. Затем выберем протокол нашей платы ESC. В нашем случае мы решили использовать DSHOT600 ESCs, потому что они позволяют нам делать некоторые очень приятные вещи – например, изменять направление вращения двигателей с помощью конфигурации программного обеспечения.

Как только ЭСК настроены, следующим шагом является настройка протокола передатчика – мы используем приемник на последовательной основе, который взаимодействует через интерфейс SBUS. Последним шагом является включение последовательного порта приемника – обычно UART1.

Далее нам нужно указать дрону, как реагировать на команды передатчика. BetaFlight имеет простой в использовании интерфейс, который позволяет сопоставлять постановку на охрану и переключение режима полета с одним переключателем AUX1. Мы можем использовать ползунки, чтобы назначить определенное действие входам передатчика. Например, переключатель AUX1 в положении по умолчанию заставляет беспилотный летательный аппарат оставаться в режиме “Снят с охраны”. Расположим второй и третий рычаги дрона (опоры начинают вращаться с низкой скоростью). Теперь мы можем добавить два режима полета в позиции два и три. Далее идет тестирование двигателей и крепления опор. Каждый из двигателей должен вращаться в определенном направлении, чтобы генерировать тягу. То же самое относится и к реквизиту. Подключаем аккумулятор, а затем подключаем беспилотный летательный аппарат с помощью кабеля micro USB к компьютеру. Открываем BetaFlight, переходим в раздел Двигатели и включаем тестовый режим. Убеждаемся что на нашем дроне нет опор, иначе мы рискуем получить травму (или повредить свой дрон). Используем ползунки для проверки всех четырех двигателей и наблюдения за их вращением.

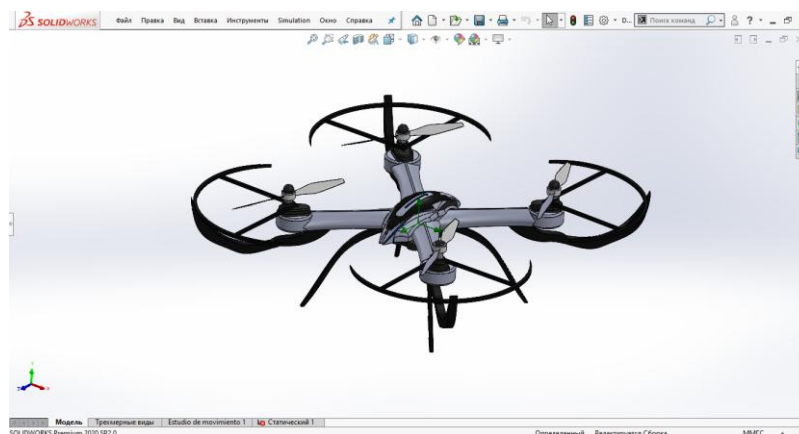


Рисунок-1 3D модель дрона

#### IV. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Для расчета введены следующие показатели [4]:

Показатель адиабаты ( $C_p/C_v$ ): 1.399  
 Молекулярная масса: 0.0290 кг/моль

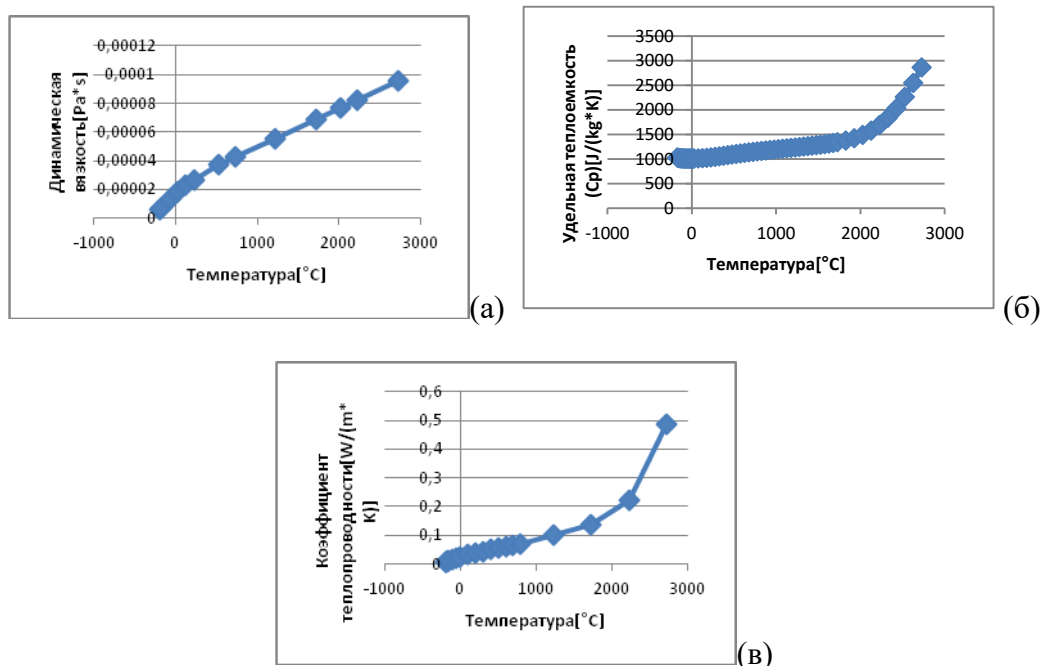


Рисунок 2. Изменение параметров от температуры (а – динамическая вязкость, б – удельная теплоемкость, в – коэффициент теплопроводности)

При расчете были определены следующие значения [5]. Значения приведены в таблице №2

Таблица 2

Минимальные и максимальные значения параметров аэродинамического расчета

Наименование параметра	Минимум	Максимум
Давление [Па]	101318.65	101326.39
Плотность (текучая среда) [кг/м <sup>3</sup> ]	1.20	1.20
Скорость [м/с]	0	4.336
Скорость (X) [м/с]	-3.982	4.105
Скорость (Y) [м/с]	-1.115	0.338
Скорость (Z) [м/с]	-3.958	3.736
Температура [°C]	20.04	20.06
Температура (текучая среда) [°C]	20.04	20.06
Завихренность [1/s]	$2.28 \cdot 10^{-4}$	104.28
Скорость во вращающейся системе координат [м/с]	0	4.543
Скорость во вращающейся системе координат (X) [м/с]	-4.421	4.329
Скорость во вращающейся системе координат (Y) [м/с]	-1.115	0.338
Скорость во вращающейся системе координат (Z) [м/с]	-4.303	4.424
Число Маха	0	0.01
Число Маха во вращающейся системе координат	0	0.01
Касательное напряжение [Pa]	0	0.35
Относительное давление [Pa]	-6.35	1.39
Индикатор неколлинеарности теплового потока	$2.0303717 \cdot 10^{-15}$	1.0000000
Индикатор теплового сопротивления	$3.0463554 \cdot 10^{-13}$	1.0000000
Акустическая мощность [В/м <sup>3</sup> ]	0	$2.224 \cdot 10^{-12}$

Уровень акустической мощности [dB]	0	3.47
------------------------------------	---	------

Проверена деформация при эксплуатации  
 Тип модели: Линейный, упругий и изотропный  
 Коэффициент Пуассона: 0,394  
 Массовая плотность: 1 020 kg/m<sup>3</sup>

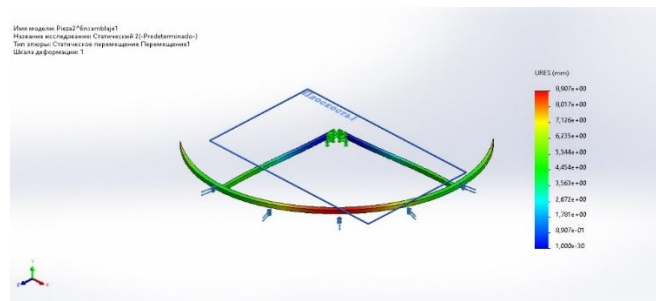


Рисунок 3. Статическое перемещение элемента дрона

Таблица 4

Деформация на точках моделей после статического анализа

Имя	Тип	Мин	Макс
Перемещение	Результирующее перемещение	0 mm Узел: 246	8,907e+00mm Узел: 8625

В статье был приведен метод проектирования мини БПЛА с помощью аддитивных технологий. Был проведен аэродинамический расчет и тест на деформацию в программе SolidWorks. Более выгодным вариантом создания БПЛА был выявлен метод проектирования при помощи аддитивных технологий. Основным материалом на мини-квадрокоптерах был выбран композитный материал - нейлон. В результате определено, что современный подход к созданию беспилотных летательных аппаратов позволит создавать аппараты намного дешевле и быстрее, что уже возможно, но и изменят структуру проектирования и разработок в целом.

### Список использованной литературы

1. Y.I. Bityukov , V.N. Akmaeva - THE USE OF WAVELETS IN THE MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING OF MANUFACTURE OF THE COMPLEX-SHAPED SHELLS MADE OF COMPOSITE MATERIALS. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование - 2016г. №3.
2. Должиков, В. П. Технологии наукоемких машиностроительных производств : учебное пособие / В. П. Должиков. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 304 с
3. Ляпков, А. А. Полимерные аддитивные технологии : учебное пособие для вузов / А. А. Ляпков, А. А. Троян. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 120 с.
4. Носков, Ф. М. Структурообразование в зоне контакта металлов при совместной пластической деформации : монография / Ф. М. Носков, Л. И. Квеглис, М. Б. Лесков. — Красноярск : СФУ, 2019. — 200 с
5. Грешнов, В. М. Физико-математическая теория больших необратимых деформаций металлов : монография / В. М. Грешнов. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. — 232 с.