

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
Образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский -на- Амуре государственный
Технический университет»



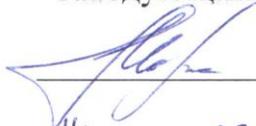
УТВЕРЖДАЮ

Декан ФАМТ


_____ О.А. Красильникова
« 14 » 02 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой АС


_____ С.Б. Марьин
« 14 » 02 2022 г.

Изготовление макета грузового БПЛА

Руководитель СКБ


_____ И.В. Лозовский

Ответственный исполнитель


_____ Лю Бинь

Комсомольск-на-Амуре 2022

Карточка проекта

Название	Изготовление макета грузового БПЛА
Тип проекта	Инициативный
Исполнители	Лю Бинь БТС-1 ответственный исполнитель
Срок реализации	03.22 Месяц, год

Использованное оборудование материалы и компоненты

Наименование	Количество, шт
Персональный компьютер	1
ПО T-flexCAD, NX	
ПО Cura	
3D принтер	1
Филамент PLA	0,8 кг
Комплектующие	Двигатели 8 шт., воздушные винты 8 шт.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



ЗАДАНИЕ

на разработку узла/изделия/проекта

Выдано студенту:

Лю Бинь группа БТС-1

Название проекта:

Изготовление макета грузового БПЛА

Назначение:

Макет предназначен для демонстрации проекта грузового БПЛА

Область использования:

Воздушные перевозки

Функциональное описание устройства:

Макет демонстрирует общий вид БПЛА, грузовой отсек, пересечения и зазоры основных элементов конструкции.

Техническое описание устройства:

Макет выполняется в масштабе 1:8. Элементы конструкции изготавливаются методом трехмерной печати. Воздушные винты и двигатели подбираются по масштабу.

Требования:

Высокое качество трехмерной печати (высота слоя 0.1 мм). Покрытие поверхности ЛКМ не требуется. Качественная и аккуратная склейка деталей

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



ПАСПОРТ ПРОЕКТА УЗЛА/ИЗДЕЛИЯ

Изготовление макета грузового БПЛА

Руководитель проекта

И.В. Лозовский

(подпись, дата)

Ответственный исполнитель

Лю Бинь

(подпись, дата)

Комсомольск-на-Амуре 2022

1. Описание схемы грузового беспилотного летательного аппарата

Грузовой БПЛА (рисунок 1) включает в себя силовой каркас и конструкцию грузового контейнера. Основной каркас состоит из вертикальных балок, которые расположены по обеим сторонам контейнера, и горизонтальной балки, расположенная внутри грузового контейнера.

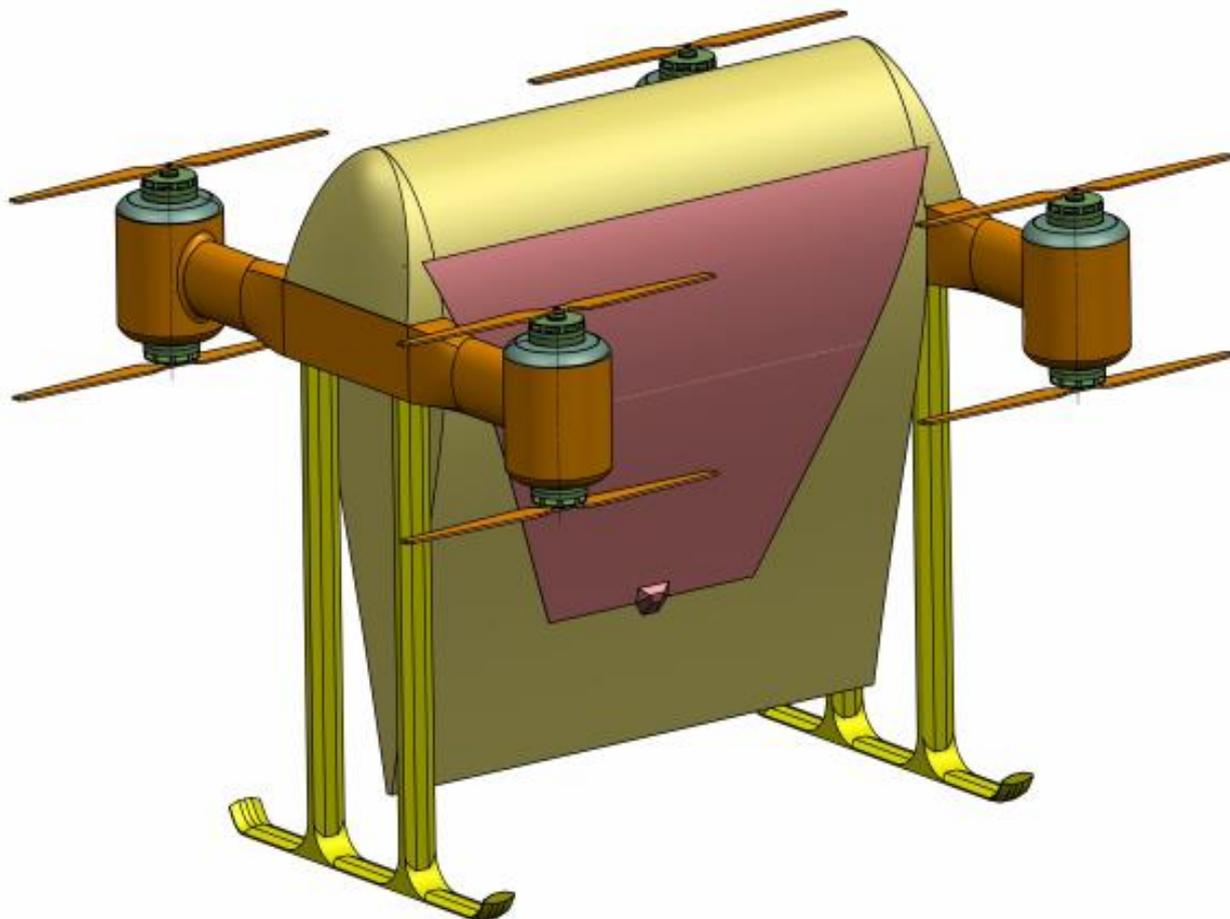


Рисунок 1 – Общий вид грузового БПЛА

На рисунке 2 показаны принципиальную схему изменения положения в полете.

На первом этапе БПЛА взлетает вертикально, создавая подъемную силу с помощью пропеллеров, чтобы достичь определенной высоты.

На втором этапе выбираются высота и скорость. Двигатели на одной стороне фюзеляжа увеличивает свою мощность, а другая сторона снижает

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

свою мощность, создавая разность тяг для достижения горизонтального положения полета.

Этап 3 горизонтальный полет.

С четвертого этапа на пятый этап подготовка к посадке беспилотник - торможение.

Этап 6 БПЛА снижается и посадка.

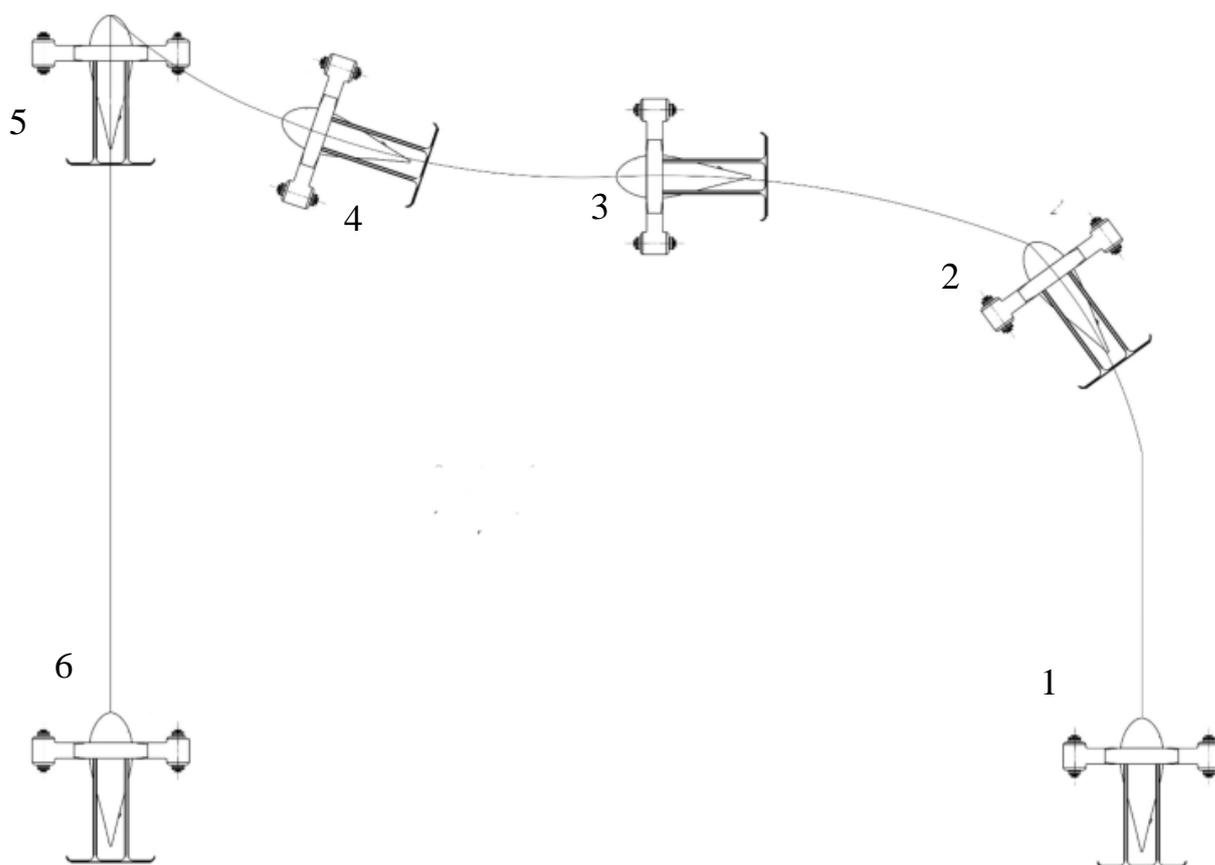


Рисунок 2 – Принципиальная схема изменения положения в полете

Сам контейнер выполнен в виде крыла малого удлинения и имеет толстый симметричный аэродинамический профиль. Обтекатели электродвигателей симметрично расположены на обоих концах вертикальных балок, в них размещаются батареи аккумуляторов и регуляторы скорости (ESC).

Габаритные размеры аппарата показаны на рисунке 3

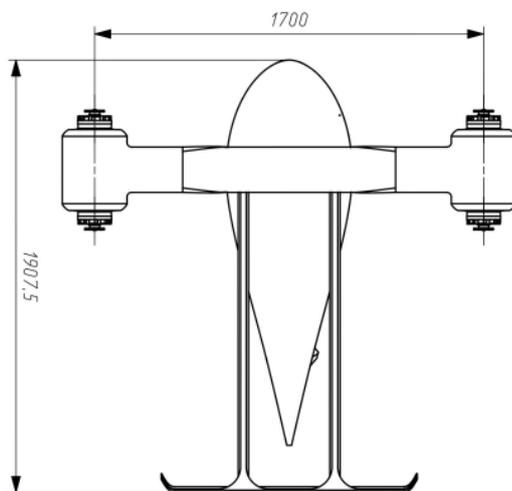
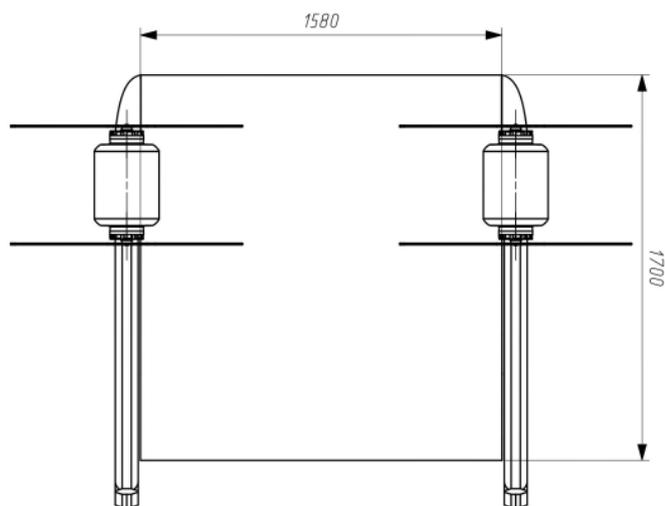


Рисунок 3 – Габаритные размеры БПЛА

2. Изготовление деталей БПЛА методом трехмерной печати

Конструктивная схема БПЛА относится к компоновке рамы, проходящей через грузовой отсек. Грузовой отсек имеет симметричную форму крыла, которое является подъемным корпусом БПЛА в состоянии горизонтального полета. Такая компоновка позволяет уравновесить

					СКБ БПЛА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

изгибающий момент, создаваемый грузовым отсеком, с помощью рамы. Кроме того, при изменении статуса полета создается изгибающий момент за счет изменения мощности двигателя на раме, которая передается на обе стороны грузового отсека через раму для изменения статуса полета всего БПЛА.

2.1 Выбор материала печати

В настоящее время материалы для 3D-печати включают инженерные пластмассы, светочувствительные смолы, материалы на основе резины, металлические и керамические материалы.

Сырье, используемое в 3D-печати, специально разработано для оборудования и процессов 3D-печати, отличается от обычных пластмасс, гипса и смол и обычно выпускается в виде порошков, нитей, ламелей и жидкостей. Обычно, в зависимости от типа печатного оборудования и условий эксплуатации, размер частиц используемых порошкообразных материалов для 3D-печати составляет от 1 до 100 мкм.

1 PLA-пластик (полимолочная кислота) - новый биоразлагаемый материал, изготовленный из крахмала, полученного из возобновляемых растительных источников, таких как сахарный тростник или кукуруза, относится к семейству полиэфиров.

PLA - это полимер, получаемый в результате полимеризации молочной кислоты как основного сырья, которое хорошо добывается и возобновляется. PLA является идеальным "зеленым" полимером, поскольку его производство не загрязняет окружающую среду, а сам продукт является биоразлагаемым и пригодным для вторичной переработки. Его молекулярная формула - $(C_3H_6O_3)_n$.

Особенности PLA:

1) Полимолочная кислота (PLA) - это новый тип биоразлагаемого материала

					<i>СКБ БПЛА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

2) Хорошие механические и физические свойства. PLA подходит для различных методов обработки, таких как выдувное формование и термоформование, он прост в обработке и очень широко используется.

3) PLA обладает наилучшей прочностью на разрыв и пластичностью. PLA также может быть изготовлен различными распространенными методами обработки, такими как экструзионное формование расплава, литье под давлением, выдувное формование, формование пены и вакуумное формование.

4) Пленка PLA обладает хорошей проницаемостью, проницаемостью кислорода и проницаемостью углекислого газа, а также обладает свойствами барьера для запаха.

Технические характеристики PLA пластика представлены в таблице 2.11

Таблица 2.11 – Основные технические характеристики PLA пластика

Параметр	Значение
Температура плавления, °С	155-185
Температура стеклования, °С	60-65
Плотность материала, г/см ³	1,20-1,30
Твердость по Роквеллу	R88
Прочность на изгиб, МПа	55,3
Прочность на разрыв, МПа	40-60
Модуль изгиба, МПа	100-150
Модуль упругости, МПа	3000-4000

2 ABS-пластик представляет собой терполимер трех мономеров - акрилонитрила (А), бутадиена (В) и стирола (S), и относительное содержание этих трех мономеров можно варьировать для получения различных смол. А обладает высокой прочностью, термической и химической стабильностью; В - вязкостью и ударопрочностью; S - легкостью обработки, высокой отделкой

и высокой прочностью. Его молекулярная формула $(C_8H_8)_x \cdot (C_4H_6)_y \cdot (C_3H_3N)_z$. Общее соотношение трех мономеров в сополимерах ABS составляет 20:30:50. Изменяя соотношение трех мономеров, бюро и метод, а также размер частиц, можно получать новые сорта ABS с различной ударной прочностью и характеристиками текучести.

ABS-пластик является одним из наиболее популярных материалов для печати методом послойного наплавления (FDM/FFF).

Технические характеристики ABS пластика представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Основные технические характеристики ABS пластика

Параметр	Значение
Температура плавления, °С	210-280
Прочность на изгиб, МПа	41
Предел прочности на разрыв, МПа	22
Модуль упругости при растяжении, МПа	1627
Относительное удлинение, %	6
Плотность материала, %	0,8
Плотность материала, г/см ³	1,05

3 Нейлон (РА) - Это синтетическая пластмасса из термопластичного линейного полиамида.

Существует много разновидностей РА, в основном РА6, РА66, РА610, РА11, РА12, РА1010, РА612, РА46, РА6Т, РА9Т, MXD-6 ароматические амиды и т.д. Наиболее часто используются РА6, РА66, РА610, РА11, РА12.

Нейлоновые инженерные пластмассы - это кристаллические, белые (или молочно-белые) или желтоватые, прозрачные или полупрозрачные кристаллические смолы с угловатой, прочной, глянцевой поверхностью, которую можно легко окрасить в любой цвет.

Особенности Нейлон:

					<i>СКБ БИЛА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		

- высокая механическая прочность, хорошая вязкость, высокая прочность на растяжение и сжатие. Удельная прочность на растяжение выше, чем у металла, а удельная прочность на сжатие сравнима с прочностью металла, но он не такой жесткий, как металл. Предел прочности на разрыв близок к пределу текучести, более чем в два раза превышая предел прочности ABS. Сильное поглощение ударов и вибраций, а ударная прочность намного выше, чем у обычных пластмасс.

- исключительная усталостная прочность, детали могут сохранять первоначальную механическую прочность после многократных изгибов.

- гладкая поверхность, малый коэффициент трения, износостойкость, коррозионная стойкость. Самозатухающий, нетоксичный, без запаха, хорошая атмосферостойкость, инертный к биологической эрозии, хорошая антибактериальная, антиплесневая способность. 4.

- отличные электрические свойства. Хорошая электроизоляция, объемное сопротивление нейлона высокое, высокое сопротивление пробивного напряжения, в сухой среде, может быть использован в качестве частотных изоляционных материалов, даже в условиях высокой влажности все еще имеет хорошую электроизоляцию. 5.

- легкий вес, легко красится, легко придать форму. 6.

- легко впитывает воду. Высокое водопоглощение. В определенной степени это влияет на стабильность размеров и электрические свойства. 7.

- плохая светостойкость. Окисление будет происходить под воздействием кислорода воздуха при длительном воздействии высокой температуры, что приведет вначале к коричневому цвету, а затем к разрушению и растрескиванию поверхности. 8.

- строгие требования к технологии литья под давлением: наличие следов влаги может нанести большой ущерб качеству литья; трудно контролировать стабильность размеров изделия из-за теплового расширения; наличие острых углов в изделии может привести к концентрации напряжений и снижению механической прочности; неравномерная толщина

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

стенок может привести к искажению и деформации детали; требуется высокая точность оборудования для последующей обработки детали.

Технические характеристики пластика Nylon представлены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Основные технические характеристики Nylon пластика

Параметр	Значение
Плотность материала, г/см ³	1.14 - 1.15
Температура плавления, °С	215 - 225
Предел прочности на разрыв, Мпа	> 60
Прочность на изгиб, МПа	90
Ударная вязкость при 23 °С, кДж/м ²	7
Влагопоглощение, %	0,7

4 PETG является термопластиком и наиболее распространенным представителем группы полиэфиров. Его продукция обладает высокой прозрачностью, отличной ударопрочностью и может быть сформована традиционными методами экструзии, литья под давлением, выдувного формования и блистерного формования, а свойства вторичной обработки превосходны, и она может быть подвергнута обычным модификациям механической обработки.

Особенности PETG:

- Отличные термоформовочные свойства
- Листы PETG легко изготавливать сложной формы и с большим коэффициентом растяжения. Кроме того, в отличие от листов из ПК и ударопрочного акрила, эти листы не требуют предварительной сушки перед процессом термоформования. Это позволяет сократить циклы формования, снизить температуру и повысить выход продукции по сравнению с листами ПК или акрила.

- Жесткость

- Устойчивость к атмосферным воздействиям - сохраняется прочность продукта и предотвращается пожелтение.

- Легкость обработки - можно пилить, вырезать, сверлить, пробивать, срезать, клепать, фрезеровать и гнуть в холодном состоянии, не ломая.

- Отличная химическая стойкость - устойчивость к широкому спектру химикатов и распространенных чистящих средств.

Технические характеристики филамента PETG представлены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Основные технические характеристики PETG пластика

Параметр	Значение
Плотность материала, г/см ³	1,28
Прочность на растяжение в поперечном направлении, МПа	51,0
Прочность на растяжение продольная, МПа	51,4
Прочность на изгиб, МПа	220
Модуль упругости при растяжении, МПа	1900
Температура теплового прогиба, °С	69,9

2.2 Подбор технологически выгодного материала для изготовления БПЛА

Каждый из перечисленных материалов имеет определенные преимущества и недостатки. Для того чтобы сделать наиболее точный выбор нити, отвечающей конструктивным требованиям БПЛА и условиям, в которых он будет использоваться, была составлена таблица, позволяющая сравнить свойства каждого материала и затем сделать выводы (Таблица 2.15).

Таблица 2.15 – Сравнительная таблица технических характеристик

Тип пластика	PLA	ABS	Nylon	PETG
Температура плавления, °С	155-185	210-280	215-225	235-270
Температура стеклования, °С	60-65	-	-	-
Плотность материала, г/см ³	1,20-1,30	1,05	1.14-1.15	1.28
Твердость по Роквеллу	R88	-	-	-
Прочность на изгиб, МПа	55,3	22	90	-
Прочность на разрыв, МПа	40-60	57,8	> 60	51,4
Модуль изгиба, МПа	100-150	3,8	-	-
Модуль упругости, МПа	3000-4000	1627	-	1900
Относительное удлинение, %	-	6	-	-

Проанализировав данные из матрицы технических характеристик нитей, можно сделать вывод, что наиболее подходящими и технически благоприятными материалами для данного БПЛА являются PLA и нейлоновые пластики.

Основное влияние на выбор направления этих нитей оказывают параметры плотности и эксплуатационные характеристики, которые непосредственно влияют на качество БПЛА и разнообразие условий полета.

Поскольку нейлоновые пластики менее устойчивы к воздействию света, они не могут быть приспособлены к различным условиям

транспортировки. Именно поэтому был выбран пластик PLA, имеющий относительно низкую плотность.

2.3 Анализ дефектов изготовления первой модели БПЛА

Макет БПЛА, изготовленный в масштабе 1:8, показан на рисунке 4



Рисунок 4 – Общий вид макета грузового БПЛА

В процессе печати первого беспилотника был обнаружен ряд серьезных дефектов и ошибок, которые серьезно повлияли на работу беспилотника во время сборки.

Первой ошибкой при производстве БПЛА был неправильный выбор толщины обшивки БПЛА. Тонкость кожи дрона (рисунок 5) привела к нескольким негативным последствиям: нити не могли быть напечатаны, а

структурная прочность БПЛА ухудшилась. Кроме того, неправильный выбор шага и внутреннего и внешнего радиуса резьбы привел к появлению зазоров в интерфейсе дрона, что добавило неустойчивости корпусу БПЛА.



Рисунок 5 – Дефект "тонкой кожи"

Второй ошибкой при производстве беспилотников было плохое составление чертежей. Несоответствие размеров двух деталей (рисунок 6) привело к тому, что детали не могли быть соединены вместе.

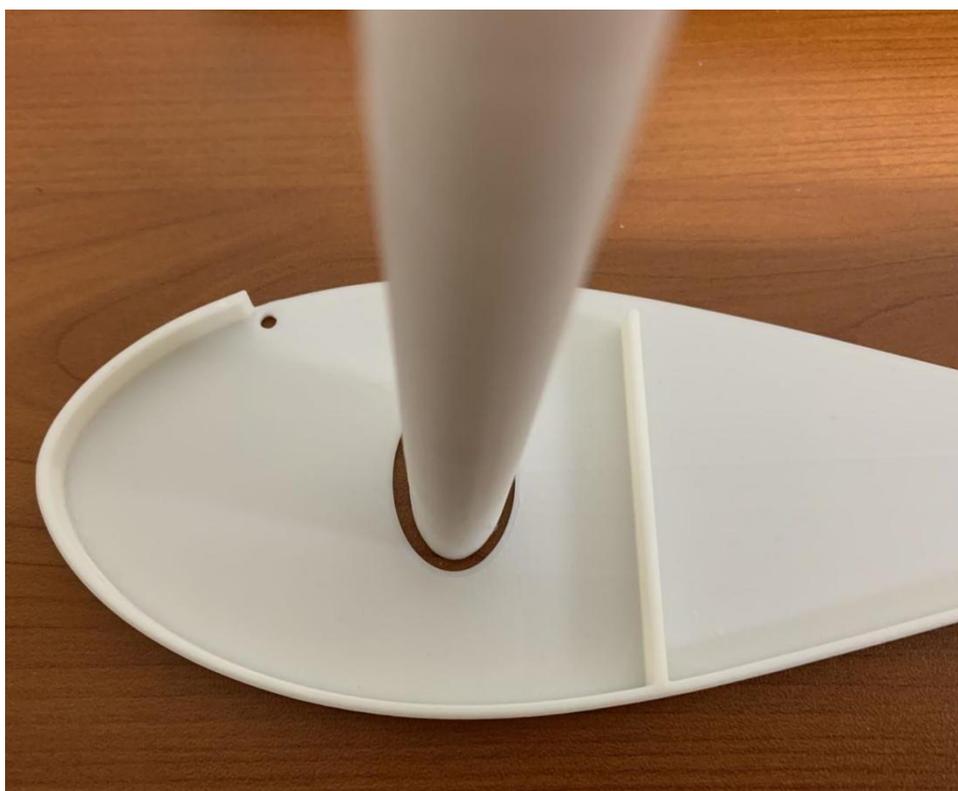


Рисунок 6 - Дефект "несоответствие размеров"

Поверхность детали имеет выступы (рисунок 7), потому что дополнительная деталь не была помещена в скрытый слой (слой 256) во время процесса отображения.



Рисунок 7 - Фотография рельефной части на поверхности детали

При сборке слишком большое усилие привело к растрескиванию детали (рисунок 8)

					СКБ БИЛА	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		



Рисунок 8 – Расслоение детали

Шлифовка детали была выполнена с недостаточным усилием, что привело к растрескиванию печатного слоя в начале детали (рисунок 9)



Рисунок 9 – Растрескивание в процессе доработки детали

					<i>СКБ БИЛА</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		