

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Документация инженерного продукта  
**Автоматическая лазерная игрушка для котов**  
**Automatic Laser Cat's Toy**

Мясникова Алина, Стельмух Никита,  
Сметанина Елена, Шувайникова Татьяна

Долгопрудный, 2023 г.

# 1 Описание

Автоматическая лазерная игрушка для кота - далее устройство.

Данное устройство представляет собой совокупность систем модулей электроники, управление которыми производится с помощью микроконтроллера Arduino Nano.

**Применение:** При подключении устройства в сеть, фиксируется игровая площадка, после чего загораются три лазера, способные привлечь внимание кота. В режиме реального времени с помощью дальнометра устройство способно определить поймал кот лазер или нет. В зависимости от этого с помощью сервоприводов лазеры направляются в другую точку, изменяя направление цели кота. Таким образом устройство поможет отвлечь кота, пока хозяин занят своими делами.

## 2 Комплектация

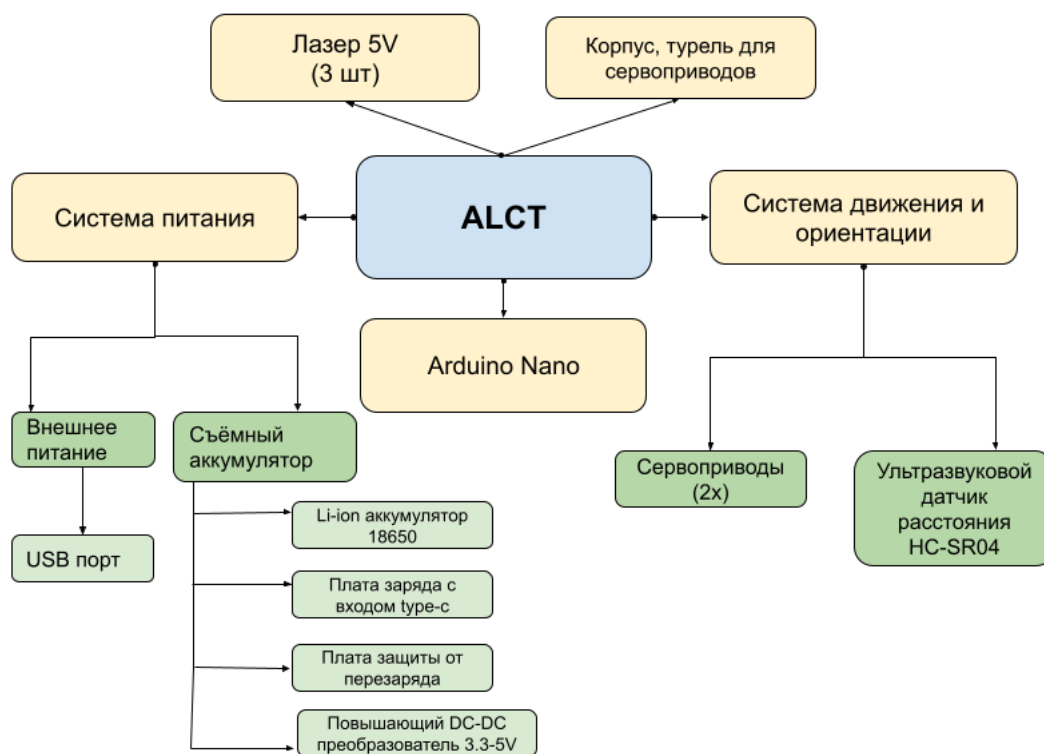


Рис. 1: Схема деления систем устройства

Устройство состоит из 5 основных систем:

### 1. Бортовая машина

- Микроконтроллер Arduino Nano
- Тактовая кнопка для перезагрузки платы

### 2. Полезная нагрузка

- Лазер 5V (3 шт.)

### 3. Корпус

- Основной корпус для электроники
- Крышка корпуса
- Турель для сервоприводов SG90/MG90
- Корпус для датчика дальности
- Держатель лазеров

### 4. Система питания

#### 4.1 Внешнее питание

- USB порт

#### 4.2 Съёмный аккумулятор

- Li-ion аккумулятор 18650
- Плата заряда с входом type-c
- Плата защиты от перезаряда (может идти вместе с аккумулятором)
- Повышающий DC-DC преобразователь 3.3-5V
- Микропереключатель
- Светодиоды для определения состояния

### 5. Система движения и ориентации

- Сервопривод SG90
- Сервопривод MG90
- Ультразвуковой датчик дальности HC-SR04

После составления сметы, была посчитана примерная стоимость продукта - **2480 рублей**.

Данная стоимость была рассчитана на основании стоимости электронных компонент в интернет магазине [chip.dip](http://chip.dip).

Стоит отметить, что 3D печать элементов корпуса обошлась бесплатно. Приносим благодарность [Физтех.Фабрике](#) !

Компоненты	шт	Цена, руб
Плата Arduino Nano	1	300
Сервомотор SG90	1	150
Сервопривод MG90	1	200
Ультразвуковой датчик HC-SR04	1	450
Лазер 5V	3	100
Резистор 133 $\Omega$	1	100
Аккумулятор Li-ion 18650 с защитой	1	930
Плата с гнездом USB Type-C	1	150
Повышающий DC-DC преобразователь до 5 В	1	60
Тактовая кнопка	1	15
Микропереключатель	1	25
Корпус	1	0
Крышка для корпуса	1	0
Турель для сервоприводов SG90/MG90	1	0
<b>Итого:</b>		<b>2480</b>

Таблица 1: Стоимость компонент

### 3 Технические характеристики

#### 1. Микроконтроллер Arduino Nano

В качестве бортовой машины используется микроконтроллер Arduino Nano. Такой выбор был сделан из-за компактности при достаточной эффективности. Данная машина работает на чипе ATmega328P.

##### Технические характеристики:

- Напряжение питания 5В;
- Количество цифровых пинов – 14, из них 6 могут использоваться в качестве выходов ШИМ;
- 8 аналоговых входов;
- Максимальный ток цифрового выхода 40 мА;
- Флэш- память 16 Кб
- ОЗУ 1 Кб
- Частота 16 МГц;
- Размеры 19 x 42 мм;
- Вес 7 г.

#### 2. Дальнометр HC-SR04

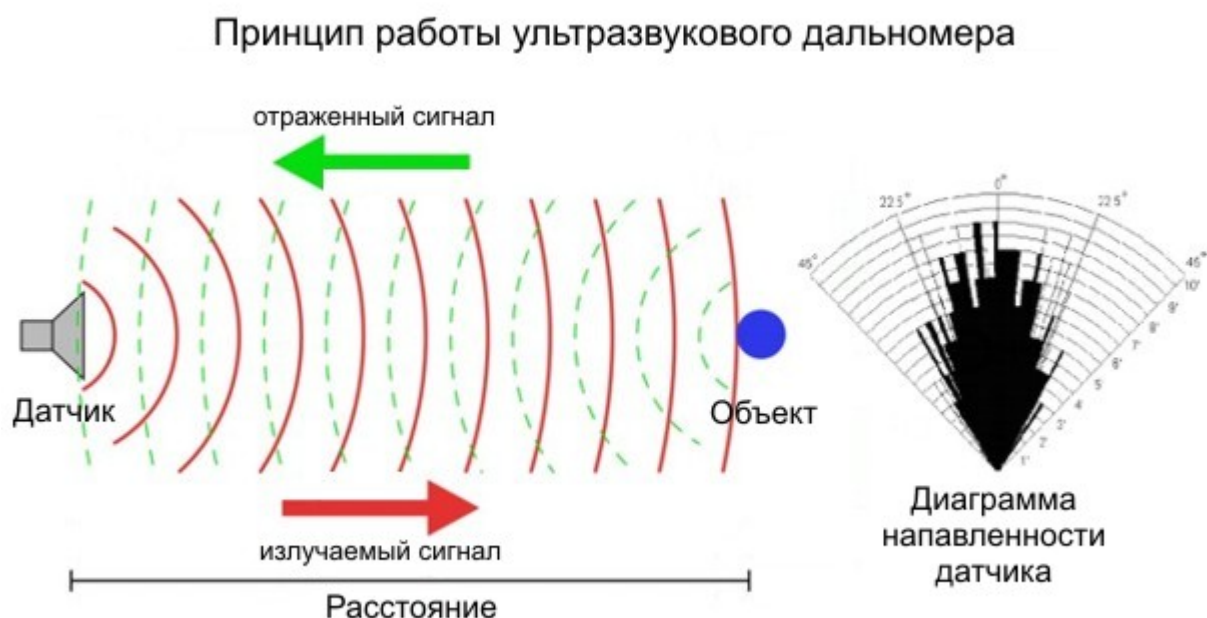
**Принцип работы:** Ультразвуковой датчик расстояния работает по принципу эхолокации — посылает пучок ультразвука и получает его отражение с некоторой задержкой, с помощью которой рассчитывается расстояние до объекта.

На передней части модуля расположено два ультразвуковых датчика, первый с надписью T (Transmitter) является передатчиком ультразвуковых волн, а второй с надписью R (Receiver) служит приёмником отражённых волн.

**Подключение:** Датчик оснащён четырьмя выводами. Два стандартных вывода для питания и земли, вывод Trig подключается к цифровому пину Arduino в качестве сигнала входа, вывод Echo подключается к цифровому выводу Arduino в качестве сигнала вывода.

#### Этапы получения данных с помощью датчика:

- На выход Trig подаётся импульс длительностью 10 микросекунд;
- Трансмисмиттер отправляет 8 импульсов с частотой 40 кГц;
- Когда импульсы отразятся от препятствия и будут приняты ресивером, то на выходе Echo образуется входной сигнал;
- Ширина импульса преобразуется в расстояние с помощью формулы. Чтобы получить расстояние в сантиметрах, нам необходимо разделить ширину импульса на 58.



#### Технические характеристики:

- Напряжение питания: 5V
- Диапазон расстояний: 2–400 см
- Точность: 0.3 см
- Эффективный угол обзора: 15°
- Рабочий угол наблюдения: 30°
- Рабочая температура: от 0°C до +60°C
- Габариты: 45мм×20мм×15мм

### 3. Сервоприводы SG90 и MG90

Сервопривод типа SG90 расположен в нижней части конструкции устройства. Данный датчик отвечает за поворот устройства в горизонтальной плоскости (XoY).

#### Характеристики SG90:

- Скорость вращения (4.8В без нагрузки): 0.14 сек/60 градусов
- Максимальный угол поворота: 180 градусов
- Рабочая температура: от -30°C до +60°C
- Рабочее напряжение: 3.5 - 8.4В
- Габариты: 22.6 x 21.8 x 11.4 мм
- Масса: 13 г.

Сервомотор типа MG90 расположен в верхней части устройства. Данный датчик отвечает за поворот устройства в вертикальной плоскости (XoZ).

#### Характеристики MG90:

- Скорость вращения (4.8В без нагрузки): 0.1 сек/60 градусов
- Максимальный угол поворота: 160 градусов
- Рабочая температура: от -30°C до +60°C
- Рабочее напряжение: от 3V до 7.2V (Вольт)
- Габариты: 22mm x 11.5mm x 22.5mm
- Масса: 9 г.

### 4. Лазерный излучатель 5В

Лазерный излучатель с радиатором охлаждения - это простой и недорогой вариант точечного света.

#### Характеристики:

- Напряжение питания: 5 Вольт DC
- Цвет излучения: 650 нм (красный)
- Вид излучения: точка
- Рабочий ток: < 40 мА
- Мощность излучения: < 5 мВт
- Размеры: диаметр 6 мм, длина 10.5 мм
- Рабочая температура: от -36°C до 65°C

## 4 Алгоритмизация

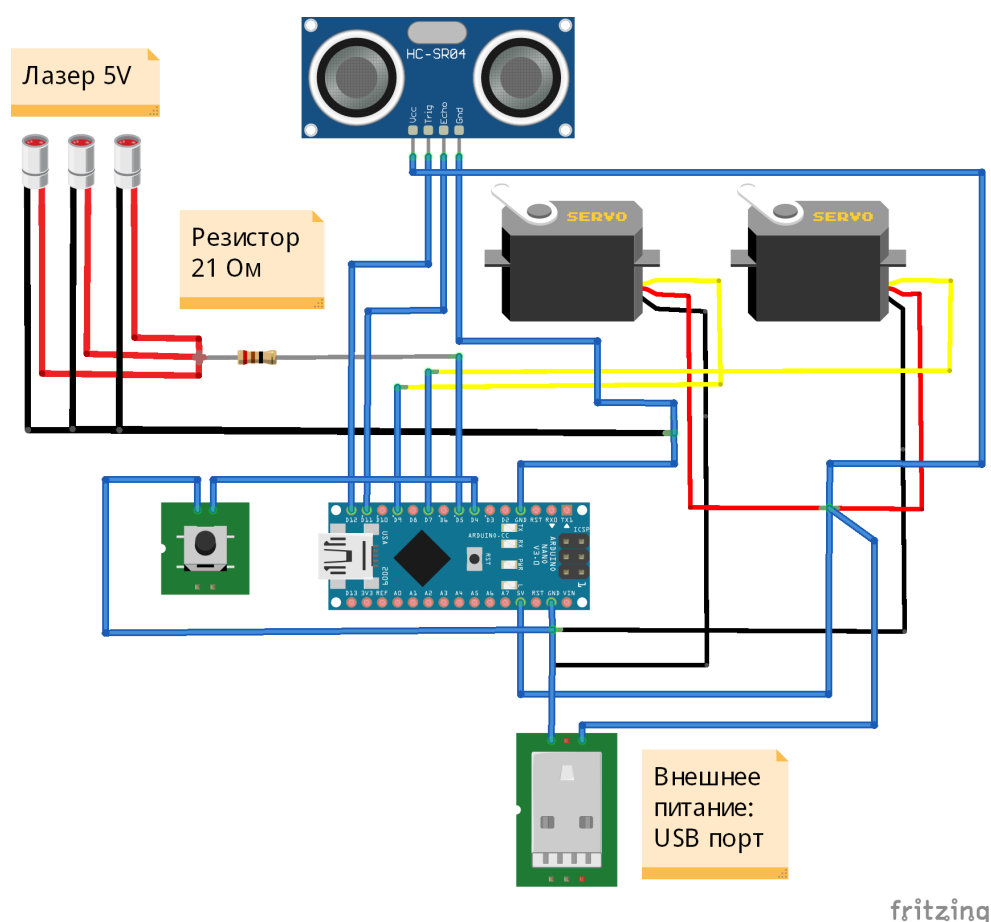


Рис. 3: Схема соединения модулей электроники

Компонента	PIN
Сервомотор SG90	7
Сервопривод MG90	9
Датчик дальности - TRIG	12
Датчик дальности - ECHO	11
Лазеры 5V	5
Тактовая кнопка	4

Таблица 2: Распиновка электроники

В прошивке устройства использованы базовые программы работы движения сервоприводов на рандомный угол и фиксации изменения расстояния до объекта с помощью датчика.

Логика кода: Если расстояние, зафиксированное датчиком изменилось более, чем на 10 см, то кот поймал лазер -> через секунду лазер поменяет положение с помощью движения сервоприводов. Если в течение минуты изменение расстояния не было зафиксировано (кот по какой-либо причине не поймал лазер), то вновь срабатывает алгоритм поворота - лазер перебегает в другое место. Код с подробными комментариями смотрите в репозитории гитхаб в папке [Код](#)

## 5 Корпус

Файлы в формате STL и SLDPRT смотрите в нашем репозитории на гитхаб в папке [Модели 3D печать](#)

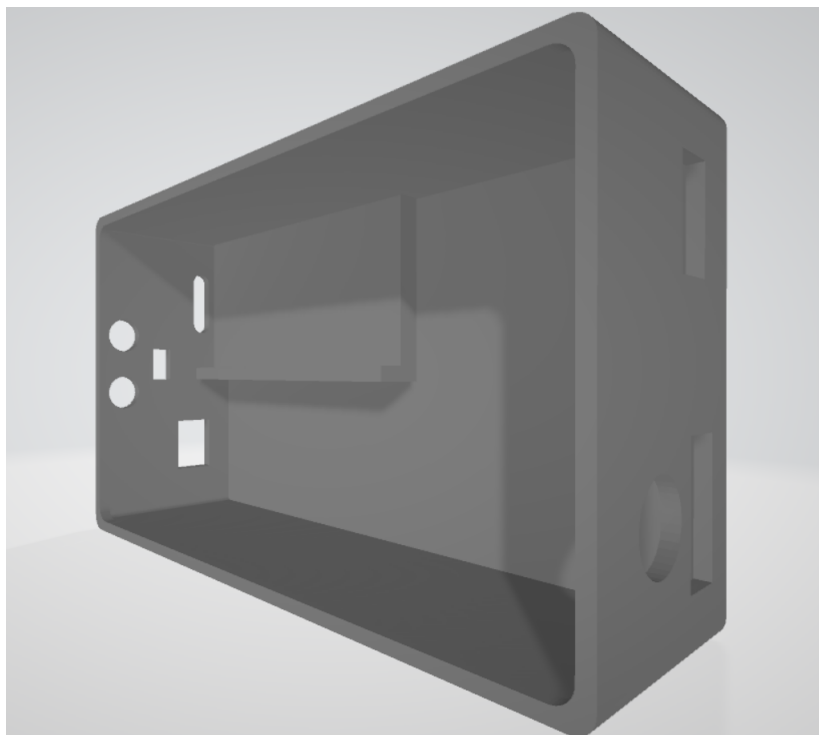


Рис. 4: Модель основного корпуса

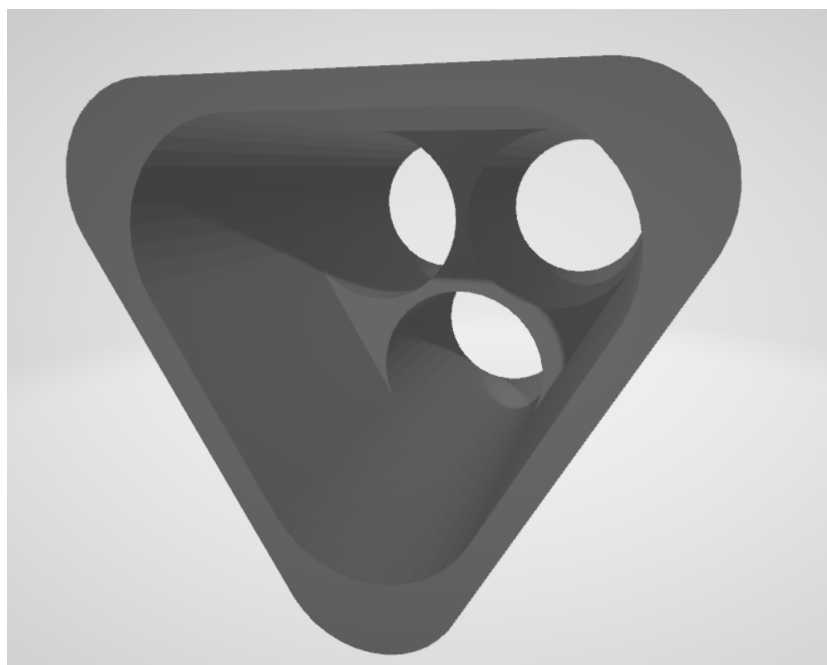


Рис. 5: Модель держателя лазера



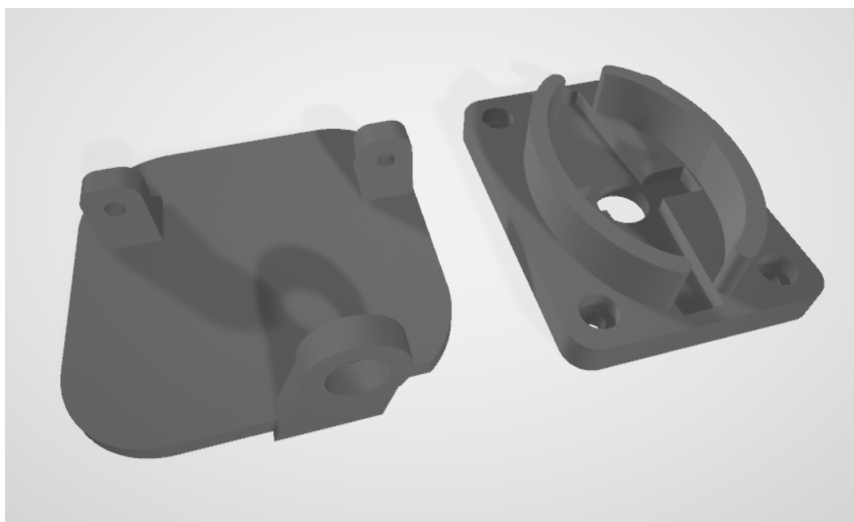


Рис. 6: Модель нижней и верхней частей турели для сервоприводов

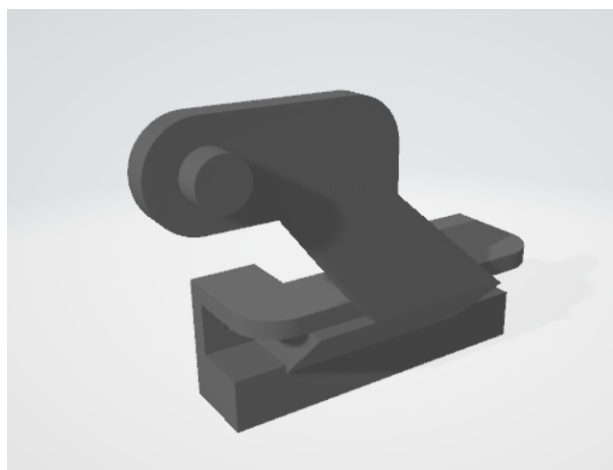


Рис. 7: Модель боковой части турели для сервоприводов

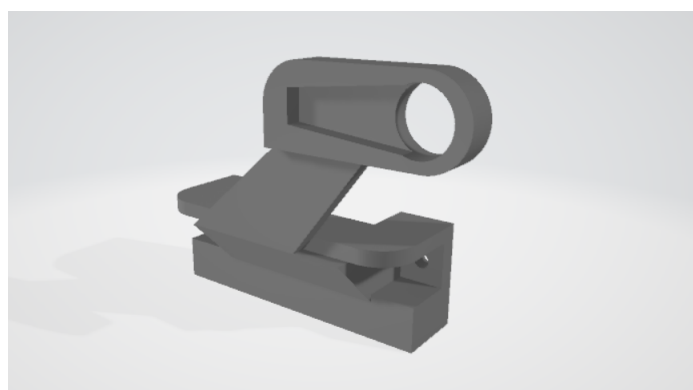


Рис. 8: Модель боковой части турели для сервоприводов

## 6 Протоколы испытаний

### 1. Первоначальные испытания от разработчиков

**Наименование продукции:** Автоматическая лазерная игрушка для котов

**Дата получения образца:** 16 мая 2023 года

**Дата начала испытаний:** 17 мая 2023 года

**Дата окончания испытаний:** 17 мая 2023

**Количество образцов:** один, сборный

№	Наименование испытаний	Метод испытаний	Результат испытаний
1	Прочность конструкции при тресении/падении	Вибродинамический*	Успешно
2	Работа сервоприводов	Тест код**	Успешно
3	Работоспособность лазеров	Тест код**	Успешно
4	Работоспособность датчика дальности	Тест код**	Успешно

\*тресали и роняли устройство с небольшой высоты, чтобы проверить что будет, если кот доберётся до источника

\*\*тестовый код смотрите в нашем [репозитории](#) на гитхаб

Члены команды:

\_\_\_\_\_ Мясникова Алина  
\_\_\_\_\_ Стельмух Никита  
\_\_\_\_\_ Сметанина Елена  
\_\_\_\_\_ Шувайникова Татьяна

## 2. Испытания независимых экспертов - котов

**Наименование продукции:** Автоматическая лазерная игрушка для котов

**Дата получения образца:** 18 мая 2023 года

**Дата начала испытаний:** 18 мая 2023 года

**Дата окончания испытаний:** 18 мая 2023

**Количество образцов:** один, сборный

№	Наименование испытаний	Результат испытаний
1	Прочность конструкции при тресении/падении	Успешно
2	Работа сервоприводов	Успешно
3	Работоспособность лазеров	Успешно
4	Работоспособность датчика дальности	Неуспешно*

\*выяснили, что разница между фиксируемыми расстояниями датчика в коде слишком велика, в следствие чего не фиксирует котика, если он наступает только лапкой, а не прыгает на лазер целиком

Независимые испытатели и их хозяева:

_____	Кассандра   Иванова Мария
_____	Степан   Кошлаков Артём
_____	Жопа   Конюхов Егор
_____	Муня   Боргоякова Вероника

Детализация испытаний с кошками

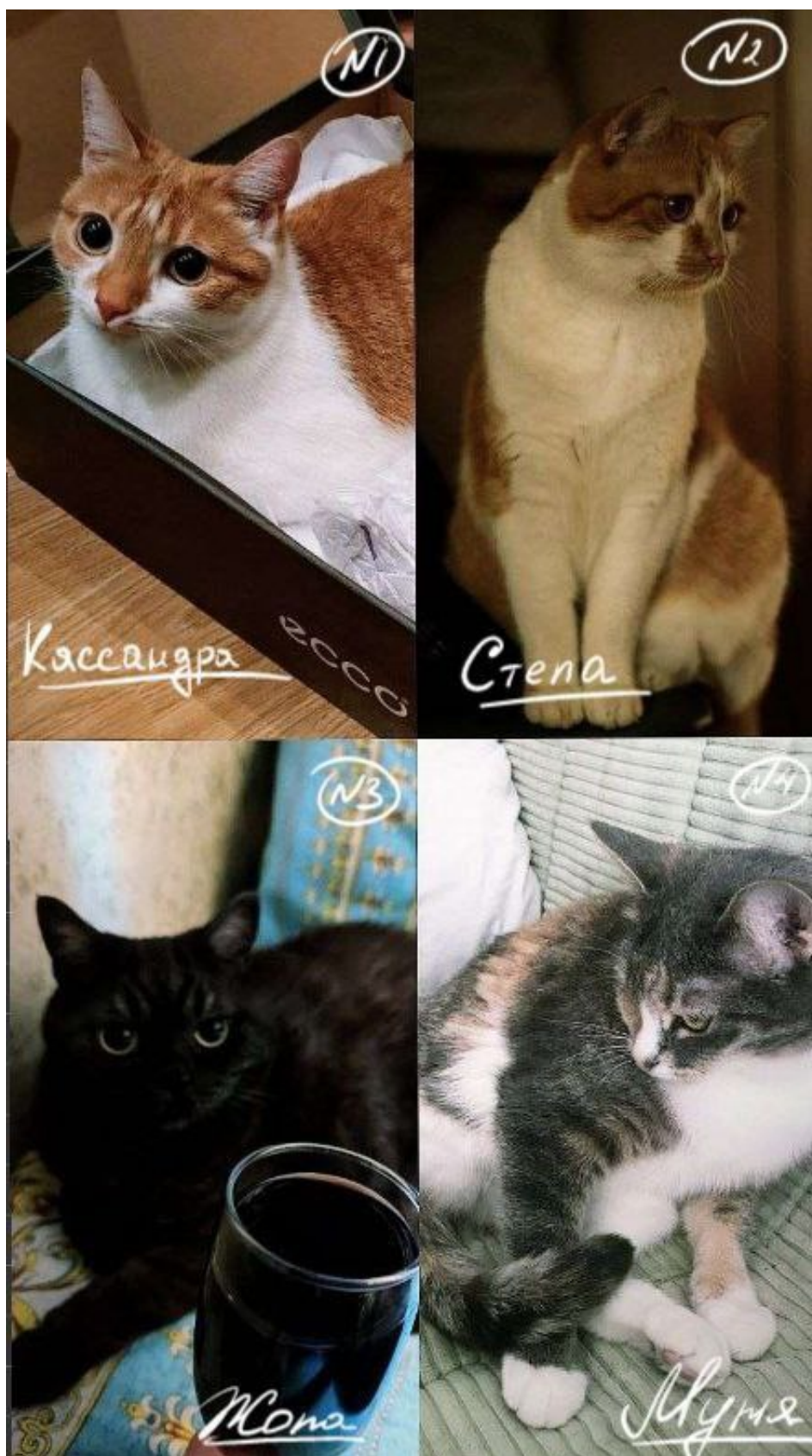


Рис. 9: Коты-испытатели

## 1. Кассандра

Кассандра несильно заинтересовалась лазерной игрушкой. Мы думаем, что это может быть связано с ярким освещением комнаты, в которой проводились испытания. Чтобы не подвергать котиков опасности попадания лазера в глаза, лазер настроен не на полную мощность, из-за чего в слишком хорошо освещённой комнате кот может не заметить игрушку.

Кассандра оказалась умной кошечкой. Услышав звук, она заинтересовалась непосредственно источником, её привлекло именно вращение самого устройства, а не лазерный луч, излучённый им. Вскоре кошка потеряла интерес к устройству вообще.

**В ходе первого эксперимента мы столкнулись с двумя проблемами:**

- Звук, издаваемый сервоприводами при повороте привлёк кошку больше, чем сам лазер.
- Лазер плохо видно в освещённой комнате

## 2. Степан

Степан оказался более заинтересованным в происходящем. Вначале игрушку расположили слишком низко - на стуле. Поэтому Степа заинтересовался источником, тщательно его изучил, даже потрогал. Так мы убедились в том, что если кот доберётся до игрушки, то вряд ли будет атаковать, скорее заинтересуется или даже немного испугается при очередном движении сервоприводов. После этого лазерную игрушку переместили повыше - на стол. К сожалению, Степан тоже больше был заинтересован в звуках, чем в лазерном луче. К тому же он порой отвлекался на какие-либо другие посторонние звуки, например работающая в комнате мультиварка.

Тем не менее спустя время, аккуратный Степан осмелился потрогать луч, располагающийся у него прямо под лапками. После чего немного походил за лазером, но быстро устал и ушёл спать на своё место.

В момент, когда Степа тронул лапой лазерную точку мы увидели главную на данный момент проблему - неисправность режима датчика дальности! После того, как кот тронул точку, она не сдвинулась, потому что изменение расстояния было меньше 10 см (лапка кота поменьше).

**В ходе второго эксперимента мы столкнулись с двумя новыми проблемами:**

- Постаронные звуки отвлекали кота от лазерной игрушки
- Слишком осторожный кот будет ловить лазер лапкой, которая даст **результат изменения расстояния меньше 10 см, предполагаемого в прошивке устройства.**

### 3. Жопа

Жопа оказался достаточно пугливым котом, поэтому испытания проводили только сами хозяева, поделившись с нами видеоматериалами.

В отличие от первых двух экспериментов данное испытание проводилось в более тёмном помещении. К сожалению это не повлияло на повышение интереса кота к игрушке.

Жопа внимательно наблюдал за лазерной точкой, но не атаковал её. Тут мы увидели ещё одну недоработку. В данном эксперименте лазер часто попадал на самого кота сзади например, так, что кот не понимал где находится лазер, не видел его, из-за чего мог потерять интерес.

Снова была подтверждена проблема срабатывания алгоритма по изменению расстояния датчика дальности, т.к. Жопа если ловил лазер, то только лапой, не слишком активно, в следствие чего расстояние менялось менее чем на 10 см.

**В ходе третьего эксперимента мы столкнулись с новыми проблемой:**

- Режим работы лазера не исключает случая, когда лазер попадает на тело кота таким образом, что кот теряет лазер, не понимая, что происходит

### 4. Муня

Самым активным и заинтересованным испытателем определённо стала Муня. У этой кошечки хорошо развиты охотничьи инстинкты, ей понравилось охотиться за лазером. Она активно прыгала и нападала на лазерную точку, иногда отходя в засаду, чтобы выждать подходящего момента.

Так мы проверили срабатывание движения сервоприводов по таймеру, если кот не ловит лазерную точку более минуты. Снова убедились в неадекватности алгоритма измерения изменения расстояния, при случаях, если Муня ловила лазер только лапкой. Но к счастью это не мешало данной кошечке наслаждаться игрой, потому что она активно атаковала лазерный луч, в следствие чего измеренная разница расстояний была определено больше 10 см.

Стоит отметить новую проблему для активных котиков: после выключения лазера кошечка продолжала искать его по всей комнате. Кроме того охотница слишком разыгралась и перевозбудилась, потому что играла около 12 минут.

**В ходе последнего эксперимента мы столкнулись с новой проблемой:**

- Активные коты могут слишком сильно разыгаться, если использовать игрушку долго - более 10 минут.

## 7 Итоги испытаний и дальнейшая разработка

### Основные проблемы и анализ их решения:

- В ходе испытаний стало понятно, что разницу изменения расстояния, в момент, когда кот поймает лазер нужно делать менее 10 см, как мы поставили изначально. Тем не менее меньше 5 см делать её тоже не стоит, т.к. из-за неточности измерения значений датчика будут ловиться бесконечные ложные срабатывания, такие, что точка ни на мг не застынет на месте.  
Было принято решение поменять данный параметр на 8 см.
- Кроме того в ходе испытаний было проверено, что остальные проблемы возникшие при проектировке устройства были решены качественно, так, что системы работают исправно.
- Трения между сервоприводами и колебаний устройства за счёт смещения центра масс не наблюдалось. Значит подкладки справляются достаточно хорошо, проблема, возникшая во время проектировки решена качественно.
- Чтобы сузить радиус углового обзора датчика дальности и сфокусировать датчик дальности на измерение расстояния непосредственно до объекта точно, куда падает лазер, был спроектирован небольшой цилиндр, сужающий угол обзора датчика.  
Вначале испытаний мы заподозрили, что алгоритм изменения координат не срабатывает именно из-за перекрытия цилиндром сигнала датчика, но сняв данную деталь мы убедились, что это не так. Несрабатывания алгоритма происходят именно из-за просчётов в измерении разницы расстояний, а не из-за перекрытия сигнала.  
Наличие цилиндра показало, что с ним реакция датчика на посторонние движения вне точки лазера всё же уменьшается, т.е. данное инженерное решение было результативным и верным.

### Идеи дальнейшего развития продукта:

- Добавление новых алгоритмов, рассчитанные на котиков разной активности
- Питание от съёмного аккумулятора 3.3V
- Выбор режима пользователем (например яркости лазера, режимом игры по активности кота и т.п.)

## 6 Протоколы испытаний

### 1. Первоначальные испытания от разработчиков

Наименование продукции: Автоматическая лазерная игрушка для котов

Дата получения образца: 16 мая 2023 года

Дата начала испытаний: 17 мая 2023 года

Дата окончания испытаний: 17 мая 2023

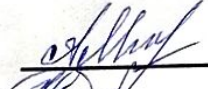

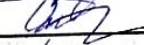
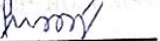
Количество образцов: один, сборный

№	Наименование испытаний	Метод испытаний	Результат испытаний
1	Прочность конструкции при тресении/падении	Вибродинамический*	Успешно
2	Работа сервоприводов	Тест код**	Успешно
3	Работоспособность лазеров	Тест код**	Успешно
4	Работоспособность датчика дальности	Тест код**	Успешно

\*тресли и роняли устройство с небольшой высоты, чтобы проверить что будет, если кот доберётся до источника

\*\*тестовый код смотрите в нашем репозитории на гитхаб

Члены команды:

	Мясникова Алина
	Стельмух Никита
	Сметанина Елена
	Шувайникова Татьяна



## 2. Испытания независимых экспертов - котов

Наименование продукции: Автоматическая лазерная игрушка для котов

Дата получения образца: 18 мая 2023 года

Дата начала испытаний: 18 мая 2023 года



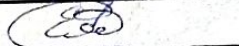

Дата окончания испытаний: 18 мая 2023

Количество образцов: один, сборный

№	Наименование испытаний	Результат испытаний
1	Прочность конструкции при тресении/падении	Успешно
2	Работа сервоприводов	Успешно
3	Работоспособность лазеров	Успешно
4	Работоспособность датчика дальности	Неуспешно*

\*выяснили, что разница между фиксируемыми расстояниями датчика в коде слишком велика, в следствие чего не фиксирует котика, если он наступает только лапкой, а не прыгает на лазер целиком

Независимые испытатели и их хозяева:

	Кассандра   Иванова Мария
	Степан   Кошлаков Артём
	Жопа   Конюхов Егор
	Муня   Боргоякова Вероника