



# Разработка системы управления безопасностью БПЛА

Проектирование, конструирования,  
автоматизация

# Содержание

## Система обнаружения аномалий и атак

- Тестовые испытания системы обнаружения аномалий и атак.

## Программа автономного управления БПЛА

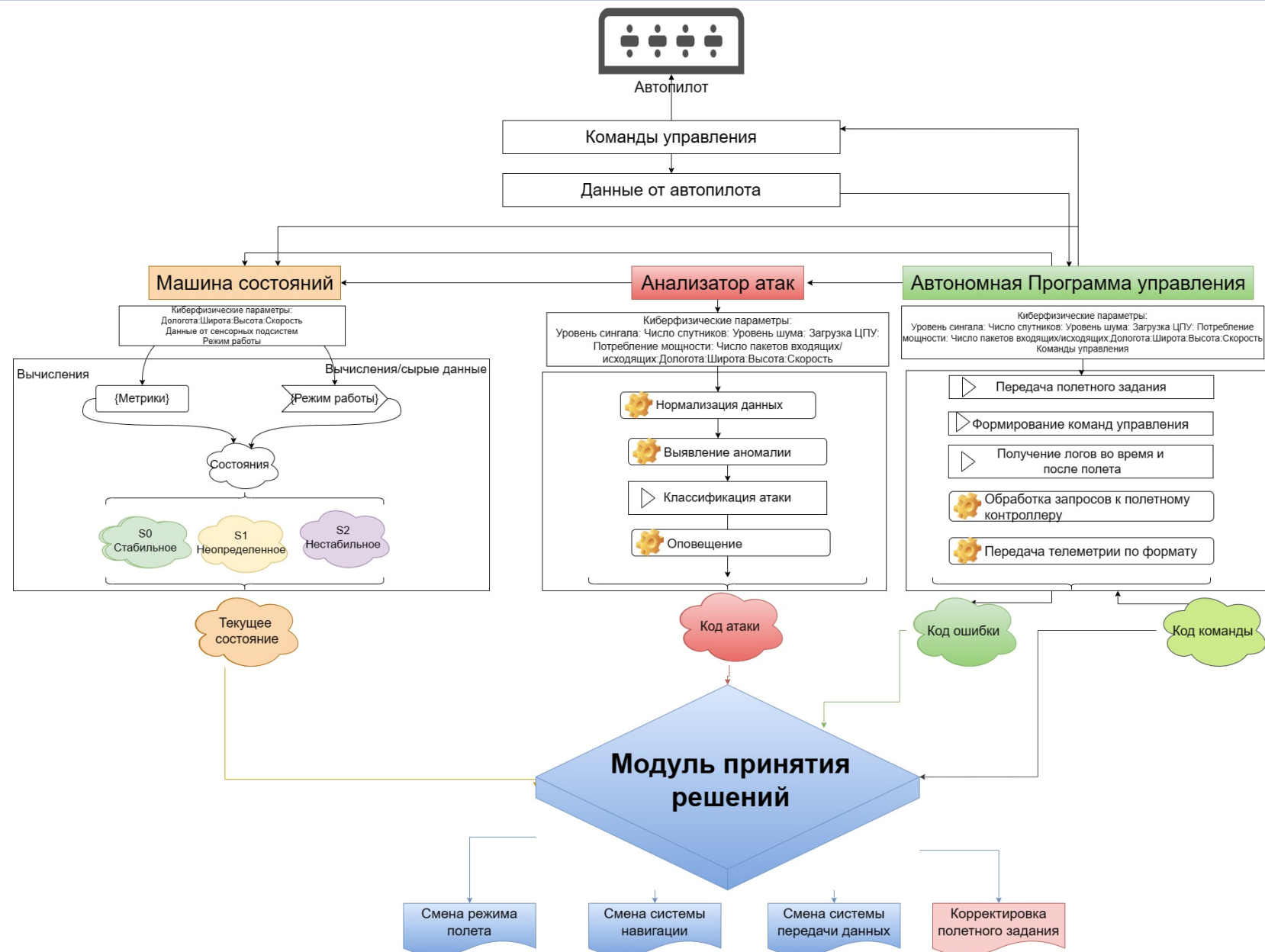
- Машина анализа состояний БПЛА,
- Модуль принятия решений,
- Реагирование на инциденты,
- Тестовые испытания модуля принятия решений

## Модуль оператора

- Планирование полетного задания с учётом рельефа местности,
- Интеллектуальная система рекомендаций при планировании полетного задания

## Общая архитектура системы управления безопасностью БПЛА

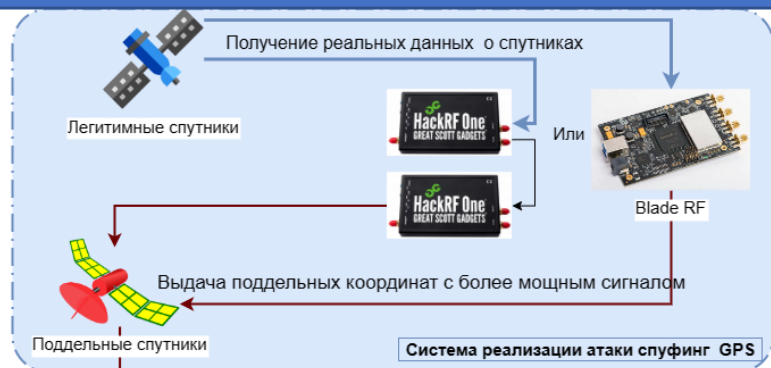
- Меры по выявлению аномалий и сбоев в работе системы в случае реализации угроз безопасности информации,
- Меры по восстановлению штатного режима функционирования автоматизированной системы управления в случае реализации угроз безопасности информации.
- Меры по защите информации, реализуемые организационными мерами или имеющимися средствами защиты.



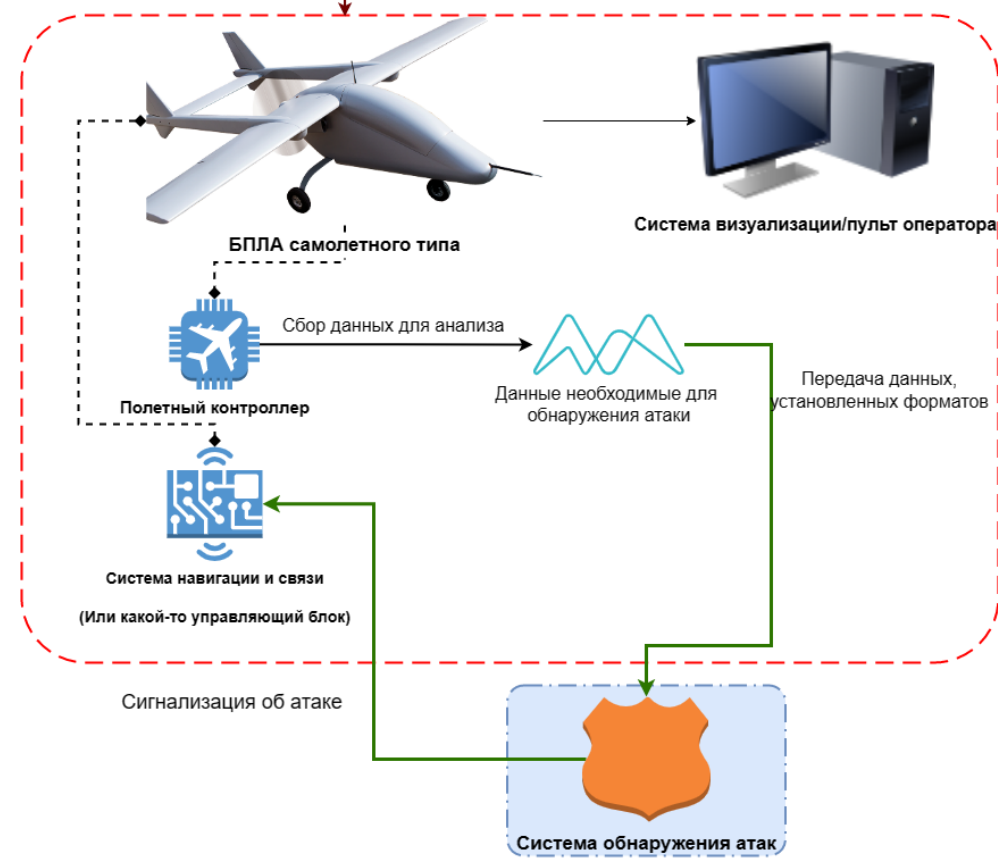
# Система обнаружения аномалий и атак для БПЛА

- ✈ Разработана и реализована,
- ✈ Прошла тестовые испытания,
- ✈ 4 уровень TRl

# Система обнаружения аномалий и атак

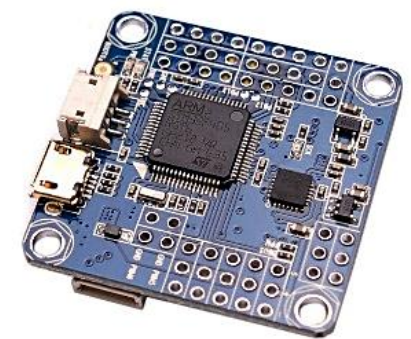


- ✦ Автономное обнаружения вредоносного воздействия, основанного на анализе изменений киберфизических параметров БПЛА.
- ✦ Самостоятельная оценка БПЛА наличия изменений в его подсистемах и выявление признаков кибератаки.
- ✦ Определение типа вредоносного воздействия в автономном режиме.
- ✦ Обеспечение классификации факторов для выработки плана реагирования на инцидент.
- ✦ Своевременная отправка оповещения об атаке с кодом атаки.



Предлагаемое  
решение

## ПОЛЕТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР



Интерфейс обмена данными с полетным контроллером

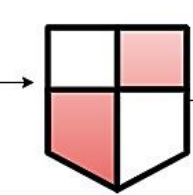


### Данные от полетного контроллера Pixhawk 4

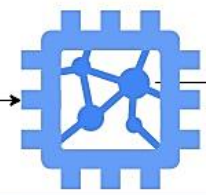
Flight time	Flight mode	GPS Sat	Baro. Alt.	Sonar Alt.	Speed	Home Dist	Bat%	Volts	Cell 1	Cell 2	Cell 3	Deviation	Radio Signal	Notification
N 31m 23.2s	15	7.8	N/A	2.6	53.0	100%	12.88	4.294	4.294	4.294	0	38%	[gps] Main GPS	
O 31m 23.4s	15	8.4	N/A	2.6	53.0	100%	12.88	4.294	4.294	4.294	0	37%	[gps] rate RTCM injection: 0.00 Hz	
31m 23.6s	15	8.3	N/A	2.6	53.0	100%	13.02	4.289	4.289	4.289	0	36%		
P 31m 23.8s	15	9.6	N/A	2.1	53.4	100%	13.02	4.289	4.289	4.289	0	36%	[gps] rate reading: 695 B/s	
Q 31m 23.9s	15	10.8	N/A	2.1	53.4	100%	13.02	4.289	4.289	4.289	0	36%	[gps] rate position: 5.00 Hz	
R 31m 24.2s	15	10.4	N/A	2.5	53.7	100%	13.02	4.289	4.289	4.289	0	35%	[gps] rate RTCM injection: 0.00 Hz	
S 31m 24.3s	15	7.5	N/A	2.5	53.7	100%	13.02	4.289	4.289	4.289	0	34%	[gps] Main GPS	
T 31m 24.5s	15	9.6	N/A	2.5	53.7	100%	12.96	4.271	4.271	4.271	0	34%	[gps] rate position: 5.00 Hz	
U 31m 24.7s	15	9.0	N/A	2.5	54.4	100%	12.96	4.271	4.271	4.271	0	34%	[gps] rate RTCM injection: 0.00 Hz	
V 31m 25.2s	15	10.1	N/A	2.2	54.9	100%	12.96	4.271	4.271	4.271	0	31%	[gps] Main GPS	
W 31m 25.3s	15	8.6	N/A	2.2	54.9	100%	12.96	4.271	4.271	4.271	0	31%	[gps] sat info: disabled	

### Данные от полетного контроллера DJI Mavic Air

Flight time	Flight mode	GPS Sat	Baro. Alt.	Speed	Home Dist	Bat%	Volts	Radio Signal
03m 26.0s	12	19.9	0.0	0.0	94.9	47%	11.19	52%
03m 56.9s	12	19.9	0.1	0.1	95.4	47%	11.19	51%
03m 57.3s	12	19.9	0.0	0.0	95.8	47%	11.18	51%
03m 57.7s	12	19.9	0.0	0.0	96.1	47%	11.18	50%
03m 58.1s	12	19.8	0.0	0.0	96.5	47%	11.18	50%
03m 58.5s	13	19.8	0.1	0.1	96.9	47%	11.18	48%
03m 58.9s	13	19.8	0.1	0.1	97.3	47%	11.18	49%
05m 54.9s	12	19.8	0.1	0.1	97.3	47%	11.18	0%
05m 55.5s	12	4.0	0.1	0.1	6.5	42%	11.43	0%
05m 55.9s	12	4.0	0.1	0.1	6.5	42%	11.43	0%
05m 56.3s	1	-	-	-	-	-	-	0%
05m 56.7s	1	-	-	-	-	-	-	0%
05m 57.1s	12	3.9	0.1	0.1	6.6	42%	11.43	0%
05m 57.5s	12	3.9	0.1	0.1	6.7	42%	11.43	0%
05m 57.9s	12	4.0	0.1	0.1	6.7	42%	11.43	0%



Обнаружение атак  
Определение состояния



Принятие решений  
Корректировка полета

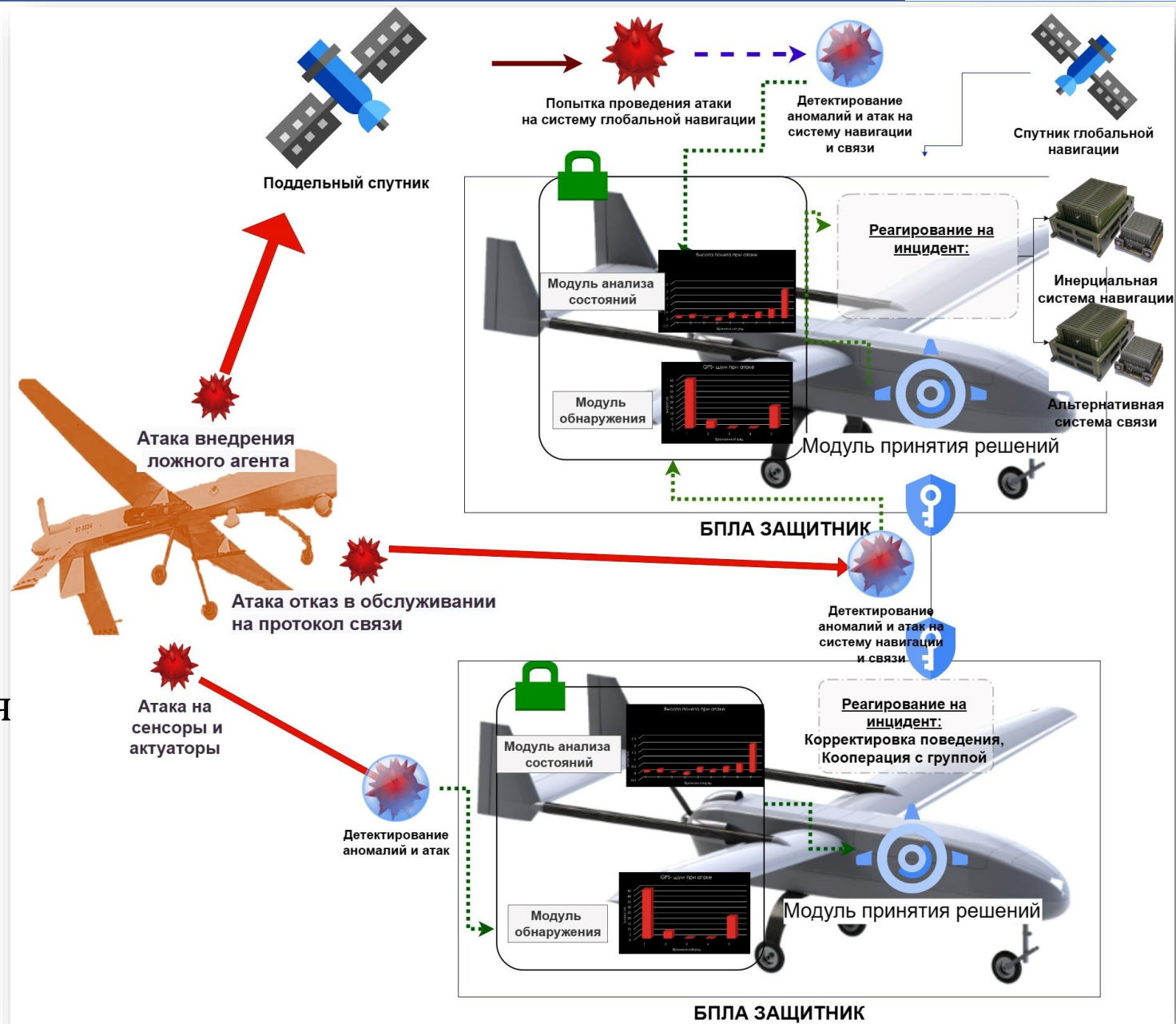


Одноплатный компьютер



## Отражение атак

- Переход на альтернативную систему навигации и связи;
- Корректировка точек полетного задания;
- Корректировка состава и количества выполняемых целей;
- Выработка нового полетного задания во время полета;
- Корректировка параметров полета (скорость, высота и др.) во время полета.



## Архитектура тестового стенда.

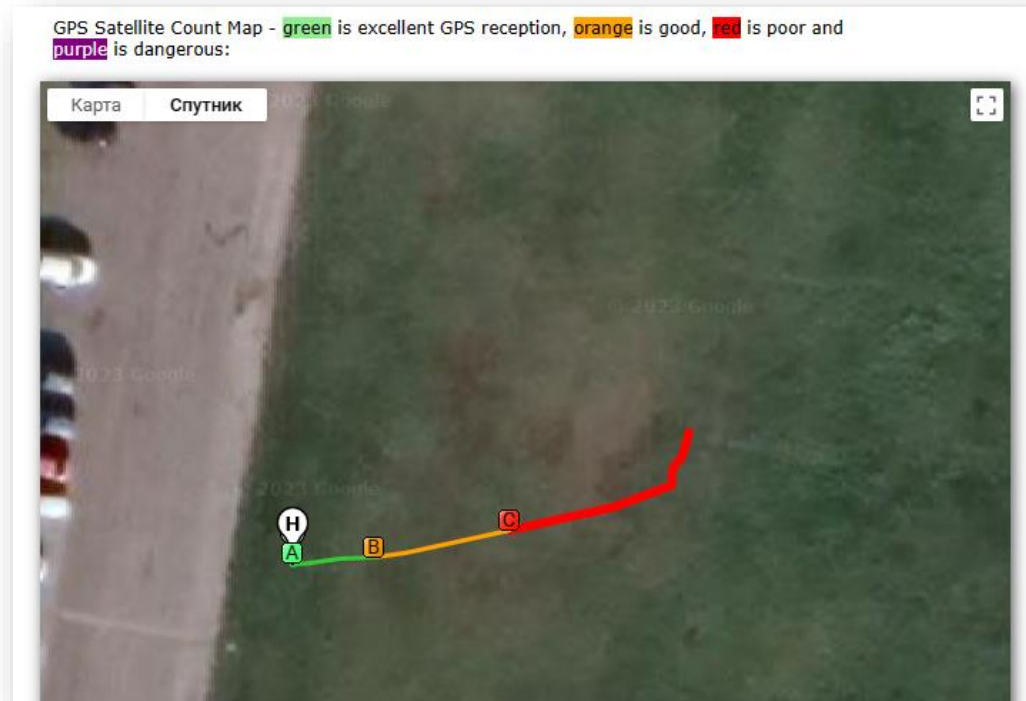


- ✈ Оператор задает полетное задание БПЛА.
- ✈ Примечание:
- ✈ Интерфейс управления со стороны оператора разрабатывается рабочей группой.
- ✈ БПЛА принимает полетное задание и начинает выполнение миссии.
- ✈ Модуль сбора данных, установленный на вычислителе собирает данные телеметрии, системных сообщений и др., для анализа.
- ✈ Модуль анализа обрабатывает данные и выявляет возникающие аномалии.
- ✈ Модуль анализа оповещает модуль реагирования на инциденты с целью корректировки полета БПЛА.

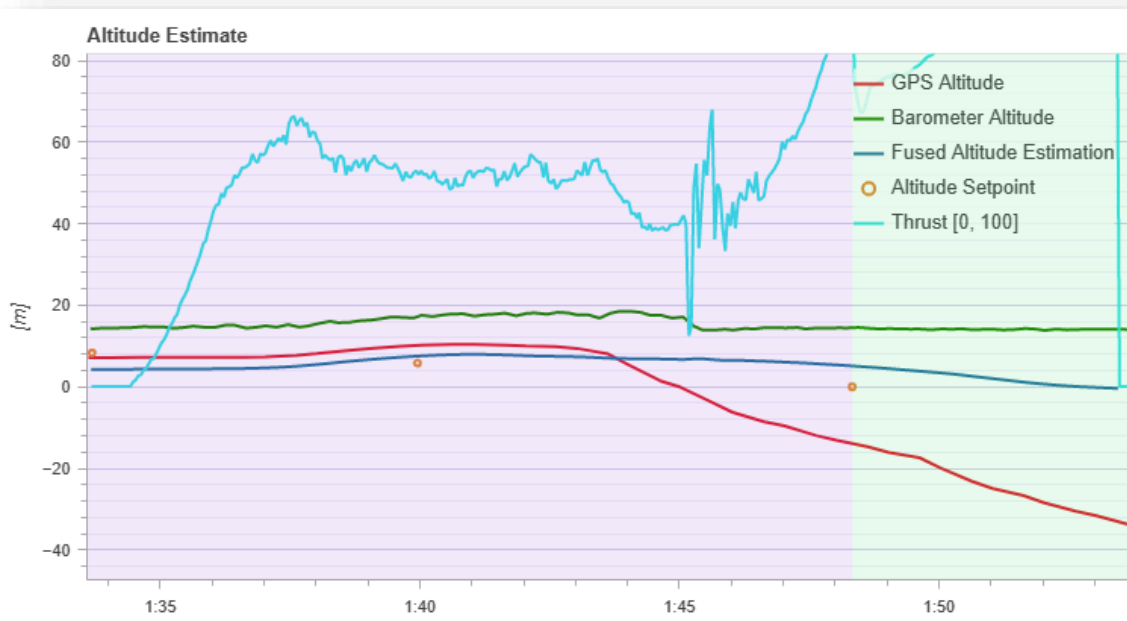
# ТЕСТОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Сценарий 1 . Глушение Системы навигации БПЛА.

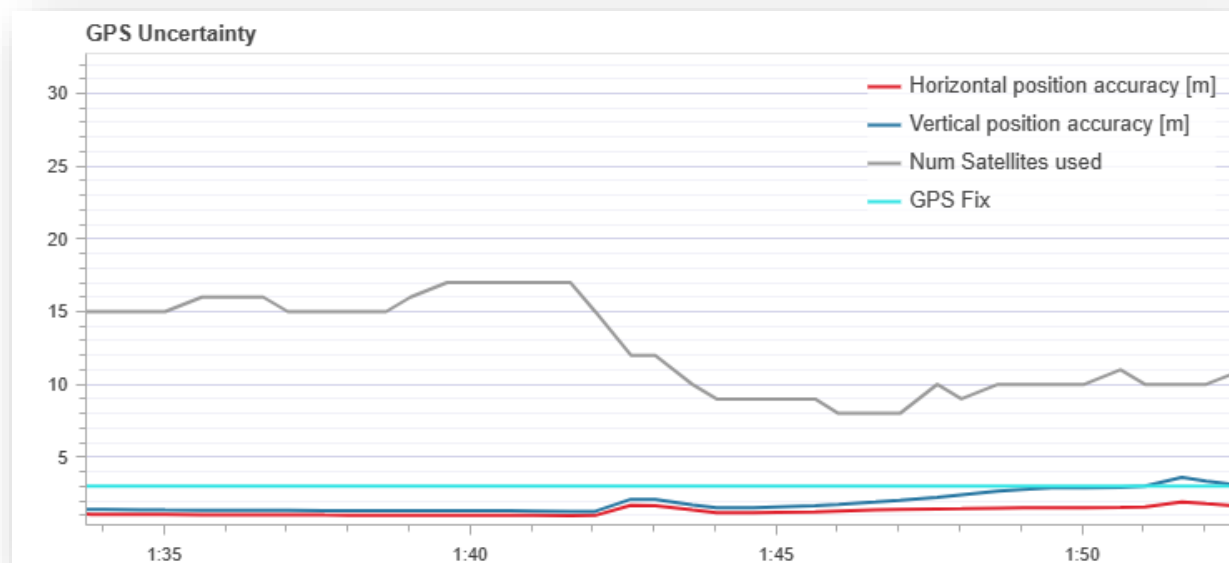
Сырые данные , полученные в ходе эксперимента.



Карта уровня сигнала



Оценка изменения высоты полета

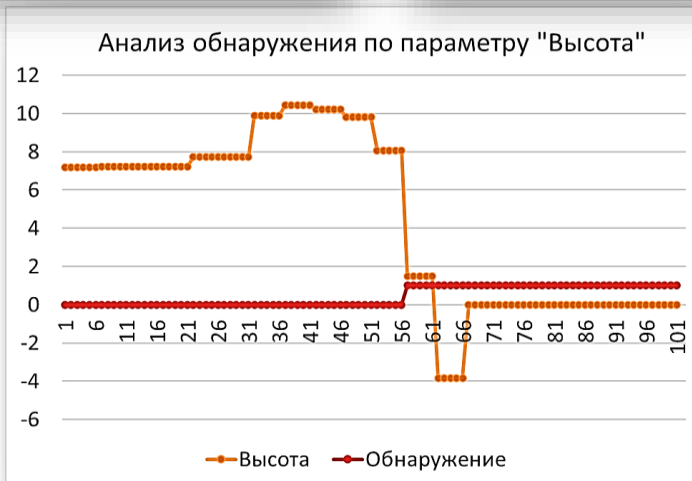


Оценка изменения числа спутников

# ТЕСТОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Сценарий 1 . Глушение Системы навигации БПЛА.

Обнаружение



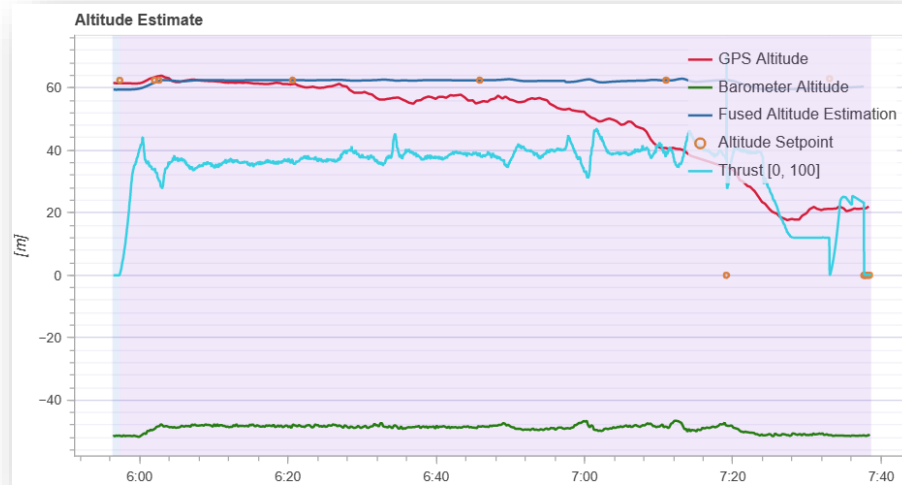
The screenshot shows a flight simulation environment with a 3D view of a drone in a field. A terminal window in the foreground displays log data for various parameters including 'noise', 'jamming', 'num\_stat', and 'alt'. The terminal output shows a sequence of data points corresponding to the graphs shown in the other figures.

```
lenny@lenny-900X3C-900X3D-900X4C-900X4D: ~/Desktop/ANALYSER/A...
[2023-02-14 22:32:41,575]:[WARNING]:Status: DANGEROUS_TERRAIN_ANOMALY Status_code
Timestamp: 102262076
[2023-02-14 22:32:42,022]:[DEBUG]:Лог успешно сохранен.
[2023-02-14 22:32:42,323]:[WARNING]:Status: DANGEROUS_TERRAIN_ANOMALY Status_code
Timestamp: 102878816
[2023-02-14 22:32:43,075]:[
]:Status: GPS_JAMMING Status_code: 102 Timestamp:
3474801
[2023-02-14 22:32:43,830]:[
]:Status: GPS_JAMMING Status_code: 102 Timestamp:
4061364
[2023-02-14 22:32:44,582]:[
]:Status: GPS_JAMMING Status_code: 102 Timestamp:
4681154
[2023-02-14 22:32:45,336]:[
]:Status: GPS_JAMMING Status_code: 101 Timestamp:
279992
[2023-02-14 22:32:46,093]:[
]:Status: GPS_JAMMING Status_code: 101 Timestamp:
379782
lenny@lenny-900X3C-900X3D-900X4C-900X4D: ~/Desktop/ANALYSER/SI...
Send row: {'timestamp': 103474801, 'noise': 119, 'jamming': 42, 'num_stat': 12, 'alt': 9
.802}
Send row: {'timestamp': 103675425, 'noise': 145, 'jamming': 28, 'num_stat': 10, 'alt': 8
.077}
Send row: {'timestamp': 103876482, 'noise': 145, 'jamming': 28, 'num_stat': 10, 'alt': 8
.077}
Send row: {'timestamp': 104061364, 'noise': 145, 'jamming': 28, 'num_stat': 10, 'alt': 8
.077}
Send row: {'timestamp': 104272066, 'noise': 145, 'jamming': 28, 'num_stat': 10, 'alt': 8
.077}
Send row: {'timestamp': 104477225, 'noise': 145, 'jamming': 28, 'num_stat': 10, 'alt': 8
.077}
Send row: {'timestamp': 104681154, 'noise': 166, 'jamming': 25, 'num_stat': 9, 'alt': 1.
497}
Send row: {'timestamp': 104880911, 'noise': 166, 'jamming': 25, 'num_stat': 9, 'alt': 1.
497}
Send row: {'timestamp': 105073895, 'noise': 166, 'jamming': 25, 'num_stat': 9, 'alt': 1.
497}
Send row: {'timestamp': 105279992, 'noise': 166, 'jamming': 25, 'num_stat': 9, 'alt': 1.
497}
Send row: {'timestamp': 105469815, 'noise': 166, 'jamming': 25, 'num_stat': 9, 'alt': 1.
497}
Send row: {'timestamp': 105679704, 'noise': 178, 'jamming': 30, 'num_stat': 9, 'alt': 0}
Send row: {'timestamp': 105879782, 'noise': 178, 'jamming': 30, 'num_stat': 9, 'alt': 0}
Send row: {'timestamp': 106076846, 'noise': 178, 'jamming': 30, 'num_stat': 9, 'alt': 0}
```

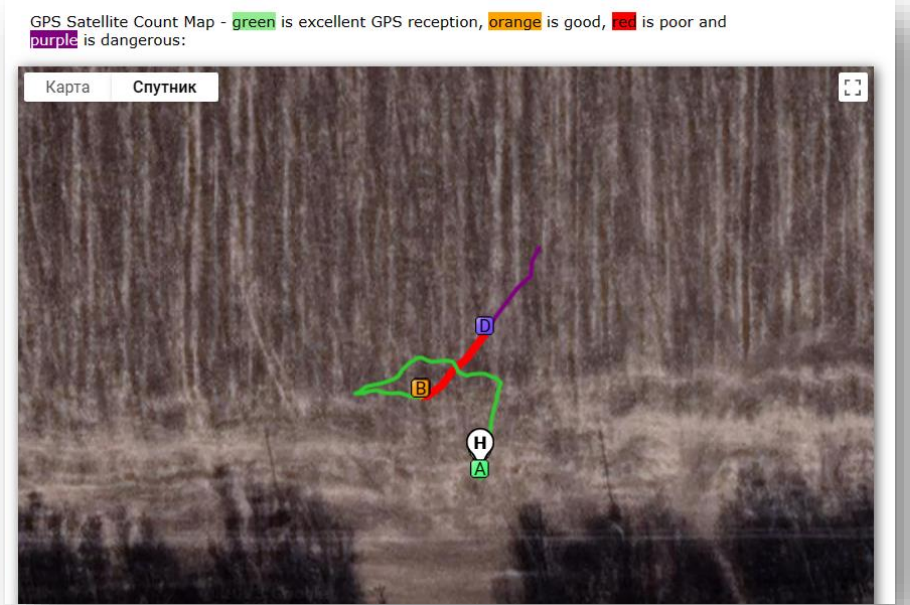
# ТЕСТОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

✈ Сценарий 2 . Спуфинг БПЛА.

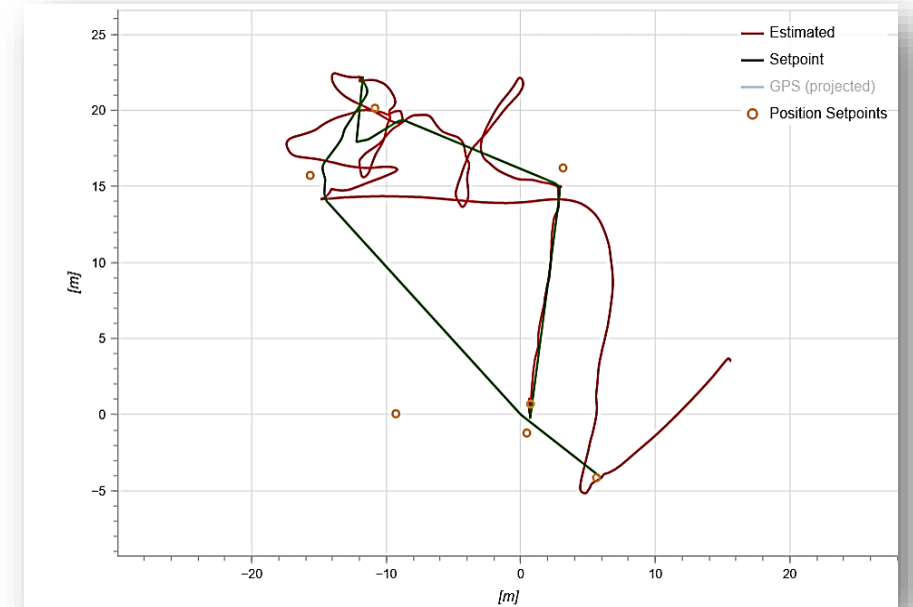
✈ Сырые данные , полученные в ходе эксперимента



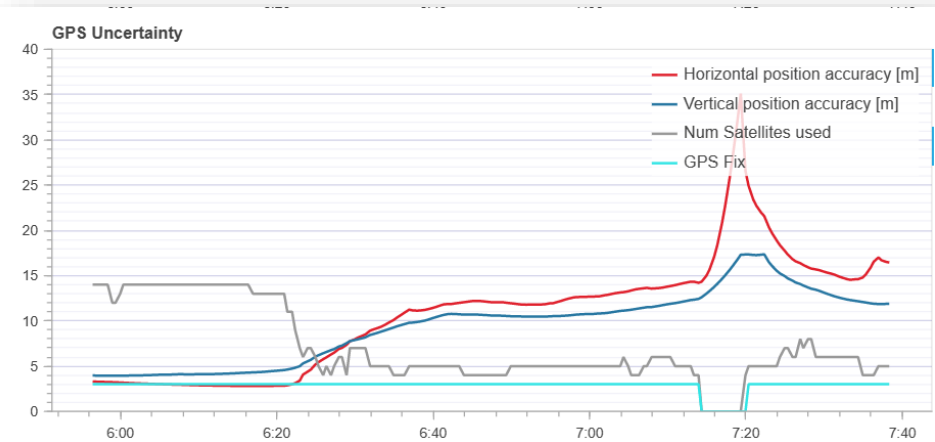
Оценка изменения высоты полета



Карта уровня сигнала



Траектория полета



Оценка изменения числа спутников

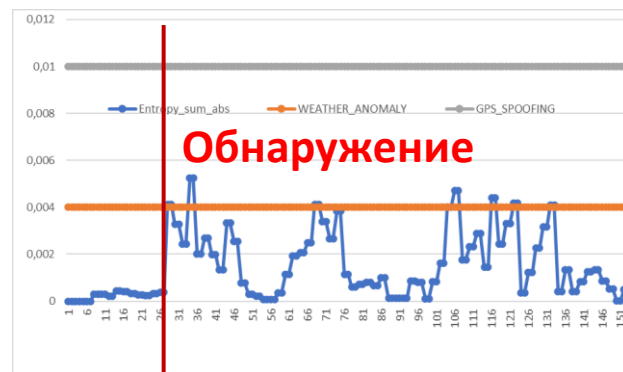




# ТЕСТОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

🦋 Сценарий 3. Имитация погодной аномалии БПЛА.

🦋 Обнаружение

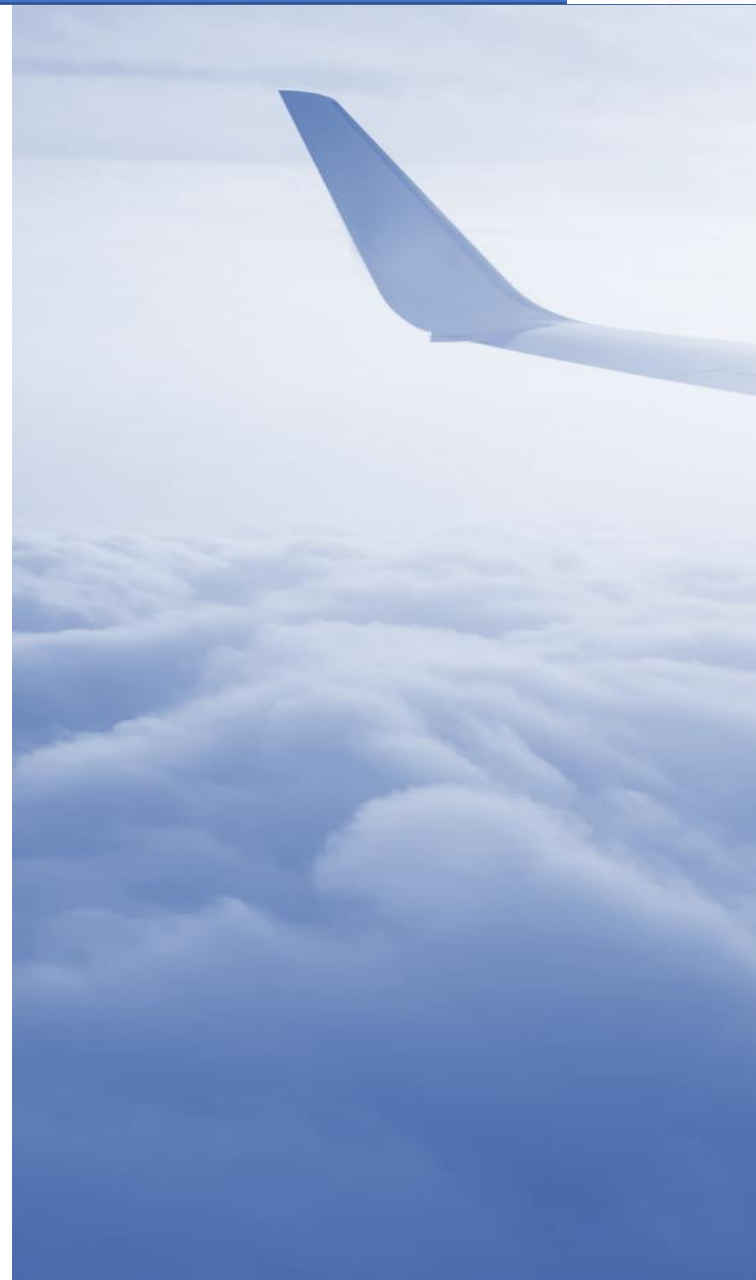


# Программа автономного управления БПЛА

- ✈️ Машина анализа состояний БПЛА, 2 уровень TRL
- ✈️ Реагирование на инциденты, 3 уровень TRL
- ✈️ Тестовые испытания модуля принятия решений

# Машина анализа состояний БПЛА

- ✈ Оценка точности полета согласно полетному заданию,
- ✈ Оценка соответствия параметров режиму полета (взлет, посадка, полет в режиме миссии),
- ✈ Определение состояния процессов в системе: стабильное, нестабильное, неопределенное.
- ✈ Определение процессов, которые требуют корректировок со стороны системы управления.
- ✈ Оценка вероятности сбоев и ошибок во время полета на основе анализа параметров полета и состояний.

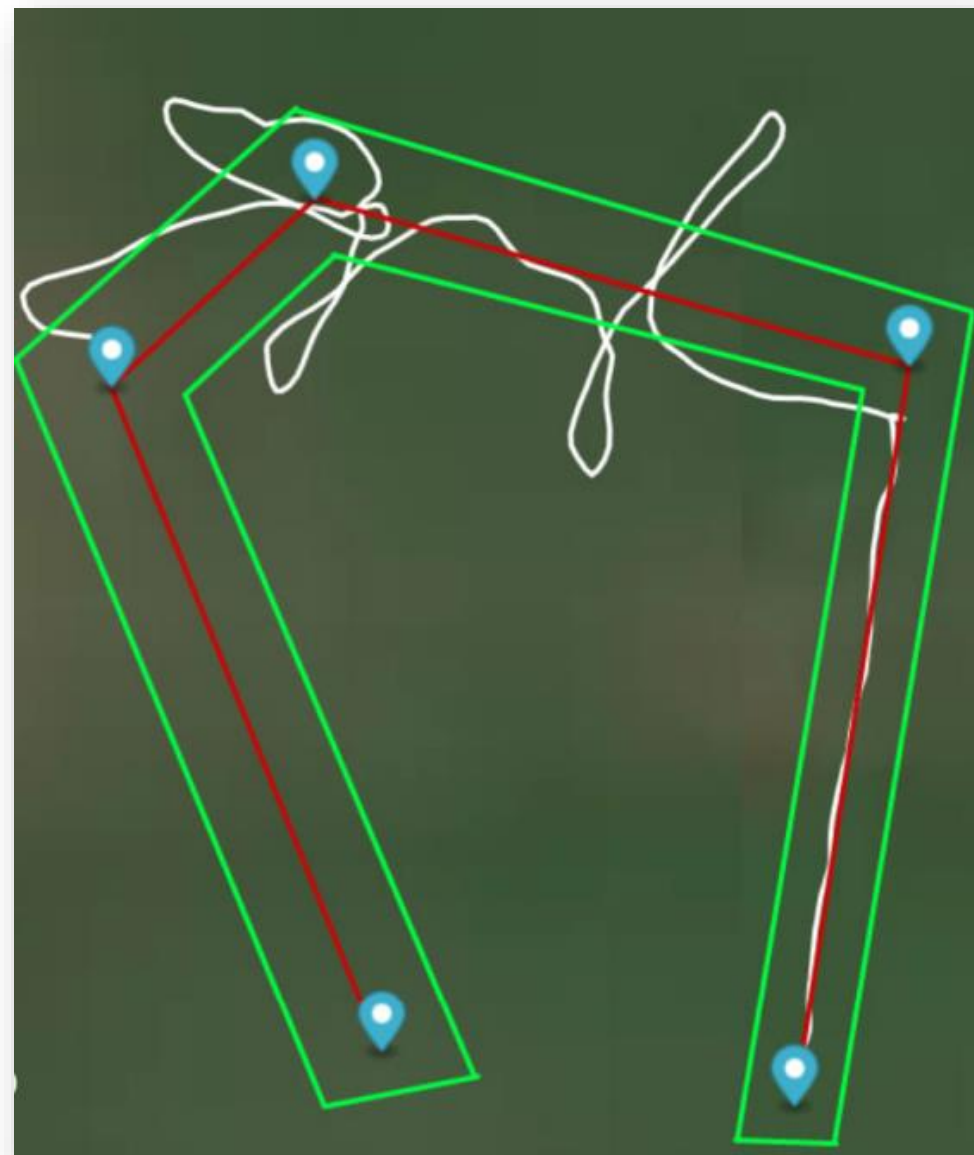


# Машина состояний

Модуль оператора реализует определения стабильности при выполнении заданий с возможностью сохранения подробной информации о расчетах в базу данных. В качестве анализируемых параметров используются:

- долгота и широта,
- высота,
- скорость,
- количество доступных спутников навигации,
- заряд батареи
- режимы полетного контроллера

Данный модуль позволяет определять ситуации, когда БПЛА ведет себя нестабильно в связи с различными причинами, например, при сильном ветре.

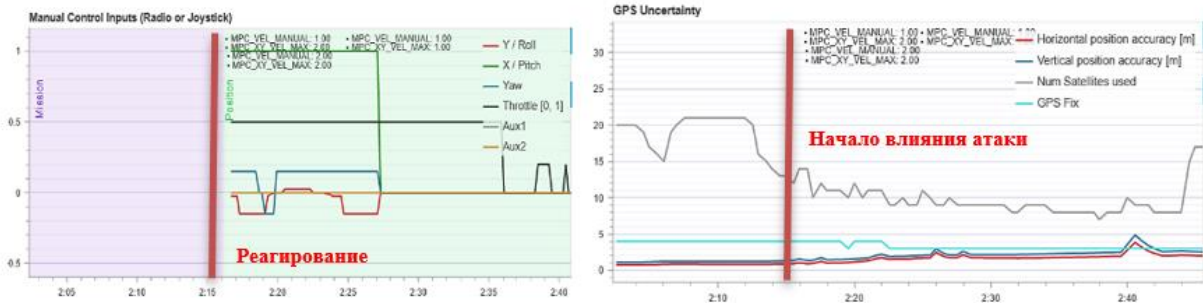


# Тестовые испытания Машины состояний

Испытания в условии атаки подделки GPS координат.

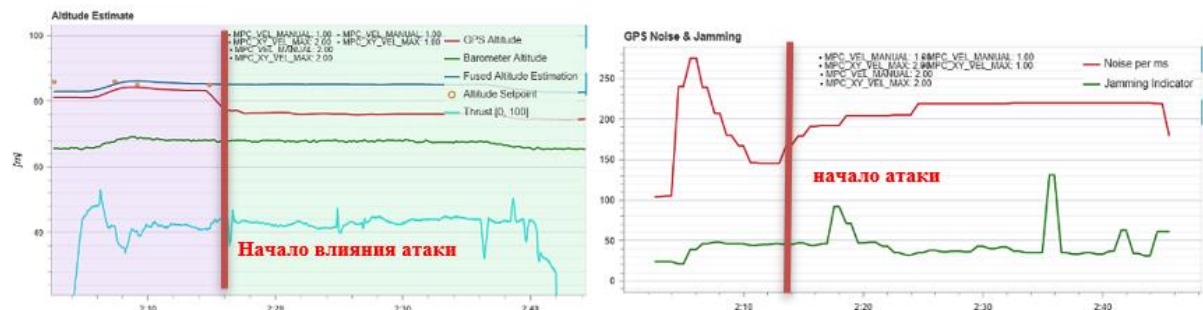
По результатам испытаний в условиях атаки Достижение цели повысилось на 86%.

Обнаружение нестабильного состояния в 100% случаев.



(a)

(b)



(c)

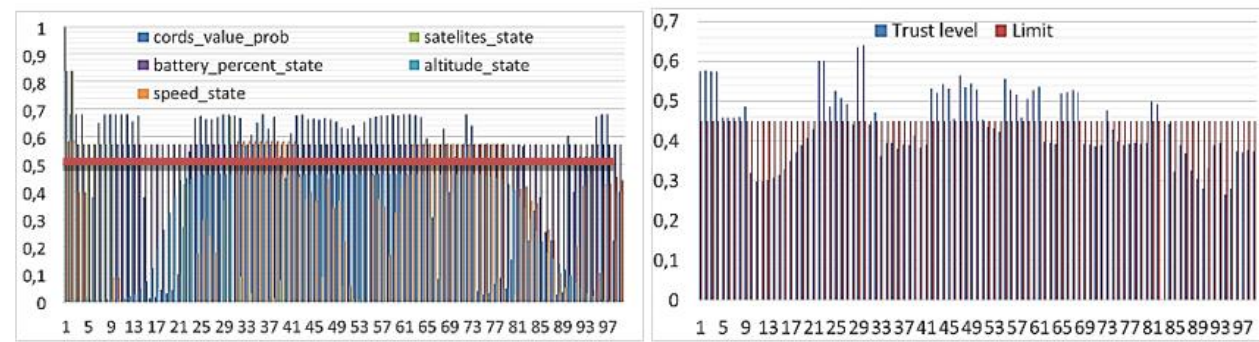
(d)

Сырые данные полета (а) Результат управления инерциальной системой (б) Число спутников.

Diagram showing a drone's flight path with key events:

- Машину состояний обнаруживает отклонение. Переход на ИНС (Machine state detects deviation. Switch to INS)
- Начало маршрута (Start of route)
- Атака начинает действовать на БПЛА. БПЛА начинает изменять направление полета (Attack starts acting on the drone. Drone starts changing flight direction)
- БПЛА достиг точку, погрешность 1 метр (Drone reaches point, error 1 meter)

Сообщения	
Загрузка полетного задания...	
Полетное задание загружено	
Начат полет к путевой точке 1	
Доверительный интервал по координатам для отрезка 1 построен	
1 Состояние стабильное	
Полученные параметры	
Fly_mode correct lng=38.8899976°	
lat=47.306484°	
coords_m1=0.6002332293424794	
coords_changing_direction=1	
coords_value_prob=1	
coords_state=0.6002332293424794	
satellites=20	



(a)

(б)

Итоговая оценка (а) каждого параметра оценки (б) итоговая метрика доверия.

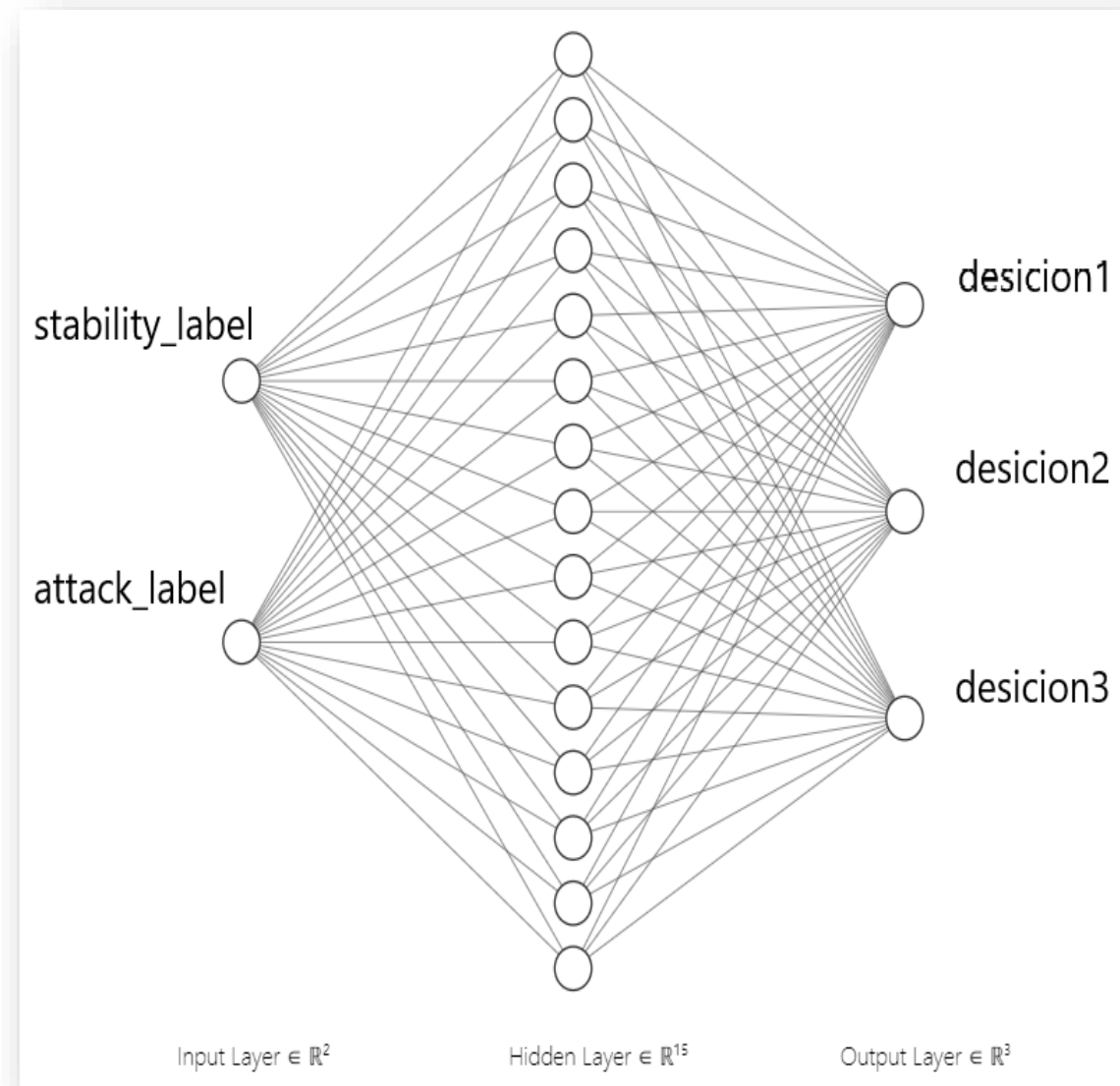
### Меры по восстановлению штатного режима функционирования автоматизированной системы управления в случае реализации угроз безопасности информации.

Модуль принятия решений необходим для успешного выполнения заданий БПЛА независимо от внешних факторов.

Внешними факторами могут быть:

- Деструктивное техногенное воздействие (атаки и пр.)
- Природное воздействие (ветер и пр.)

На данный момент определение оптимального решения работает на основе нейросети, анализирующей метку вероятной атаки и метки стабильности полета.

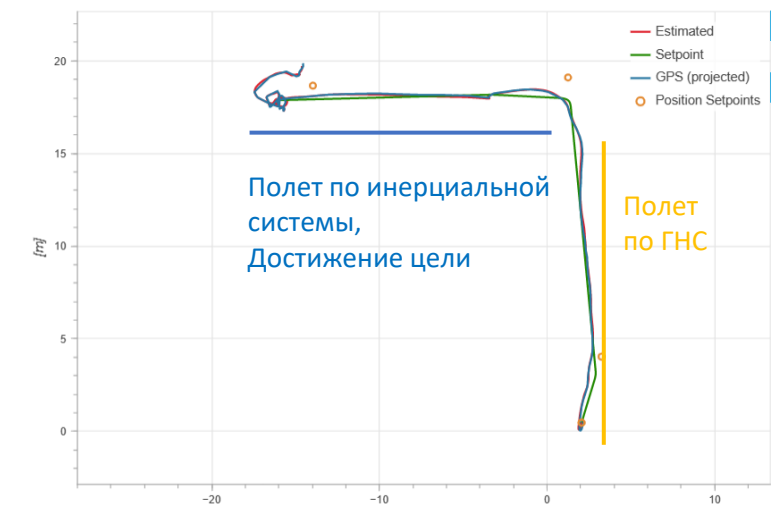


Меры по восстановлению штатного режима функционирования автоматизированной системы управления в случае реализации угроз безопасности информации.

## ТЕСТОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Сценарий 2 .  
Спуфинг системы навигации БПЛА.

Обнаружение и реагирование.



# ТЕСТИРОВАНИЕ

- Расчет границ доверительных интервалов согласно полетному заданию в автономном режиме



## Сообщения

Состояние стабильное

Полученные параметры

lng=38.8888797° lat=47.3130659°

speed=0.8299999833106995м/с

altitude=3.002000093460083м satellites=14

angle=-1.8822329343682034°

Состояние стабильное

Полученные параметры

lng=38.8888805° lat=47.3130677°

speed=0.8299999833106995м/с

altitude=3.010000228881836м satellites=14

angle=-6.578704980787818°

Состояние стабильное

Полученные параметры

lng=38.8888812° lat=47.3130694°

speed=0.8299999833106995м/с

altitude=3.0250000953674316м satellites=14

angle=-11.10115917761861°

Состояние стабильное

Полученные параметры

lng=38.8888819° lat=47.313071°

speed=0.9300000071525574м/с

altitude=3.033000230789185м satellites=14

angle=-9.518805155910599°

# Модуль управления полетным контроллером PX4



Рабочее место оператора представляет из себя ноутбук с ОС Linux и предустановленной программой управления БПЛА для оператора.



Программа управления БПЛА обеспечивает следующий функционал программного комплекса:



Разработка полетных заданий с нуля, а также их редактирование;



Загрузка полетного задания на БПЛА;



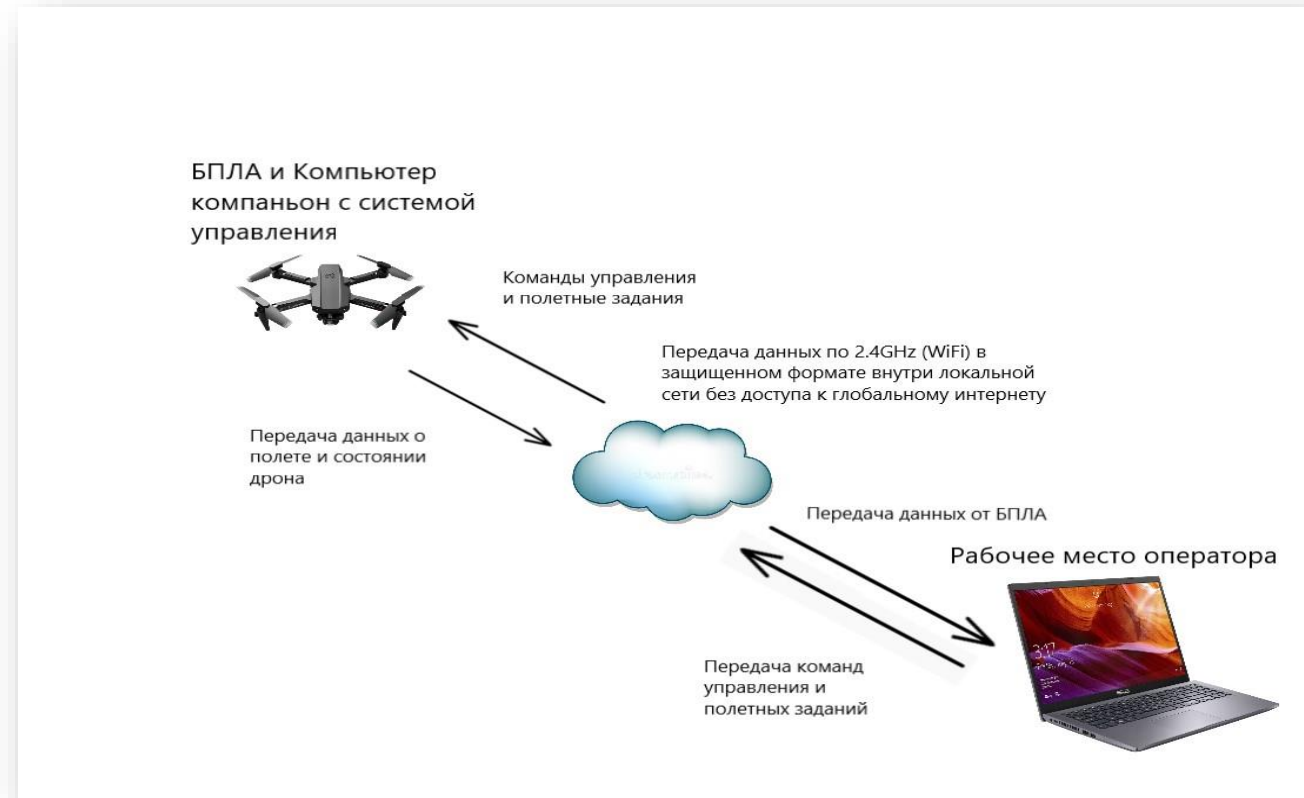
Передача управляющих команд для БПЛА;



Отображение данных о состоянии полета и выполнения миссии БПЛА;



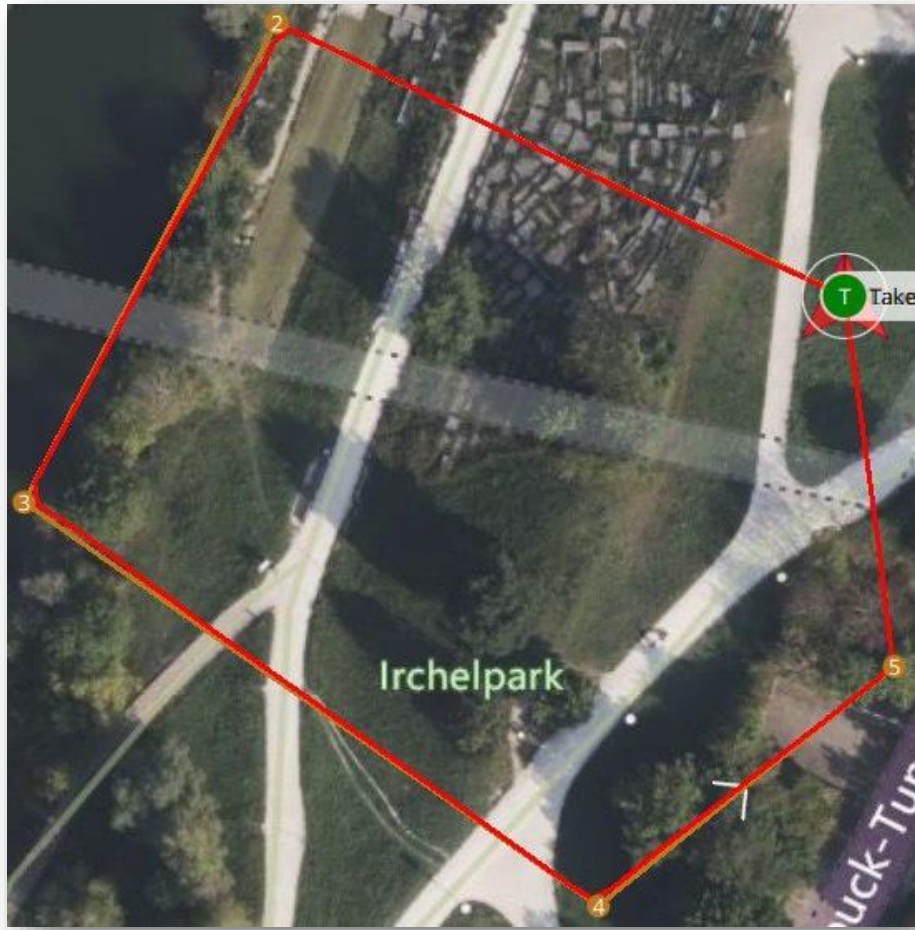
Передача данных осуществляется посредством WiFi сети 2.4GHz в зашифрованном виде.



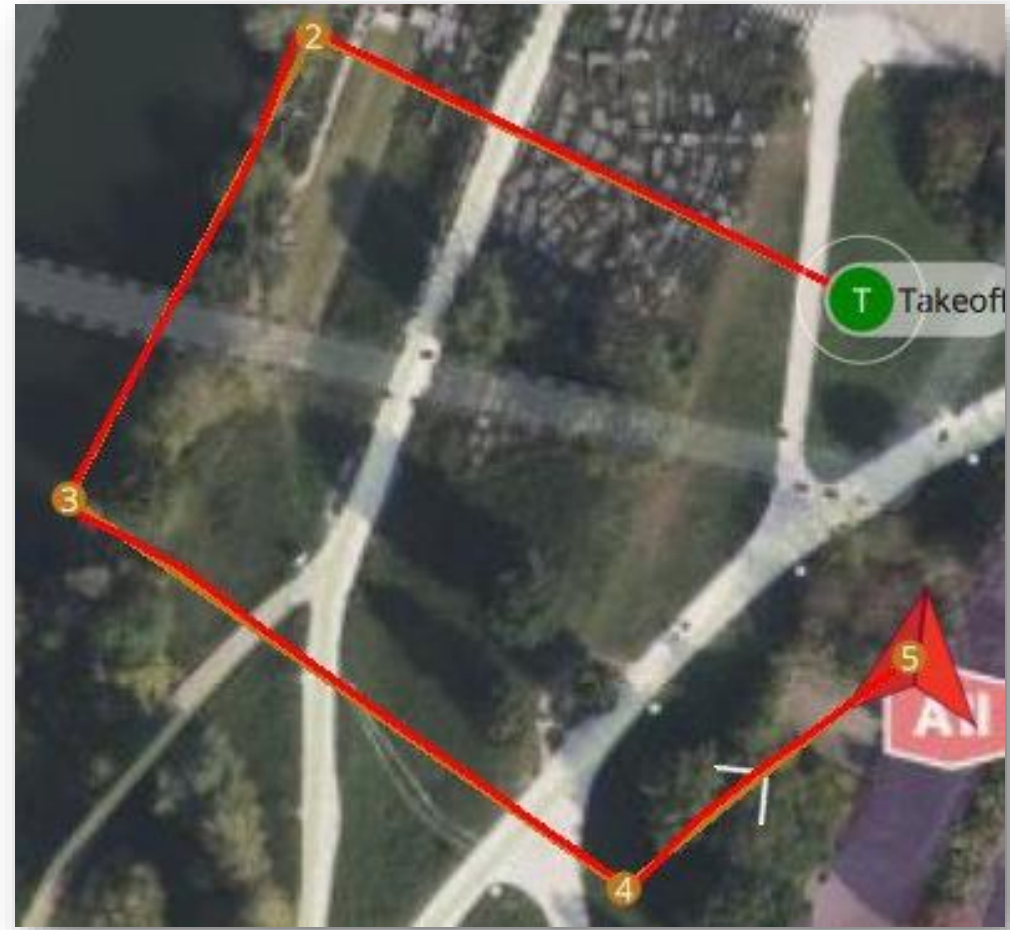
Общая схема применения модуля управления полетным контроллером

# МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТНЫМ КОНТРОЛЛЕРОМ PX4

✈ Алгоритм управления БПЛА по инерциальной системе имеет весьма высокую точность в сравнении с полетом по GPS. Результаты симуляций представлены на изображениях



Симуляция выполнения полетного задания по GPS



Симуляция выполнения полетного задания по инерциальной системе навигации

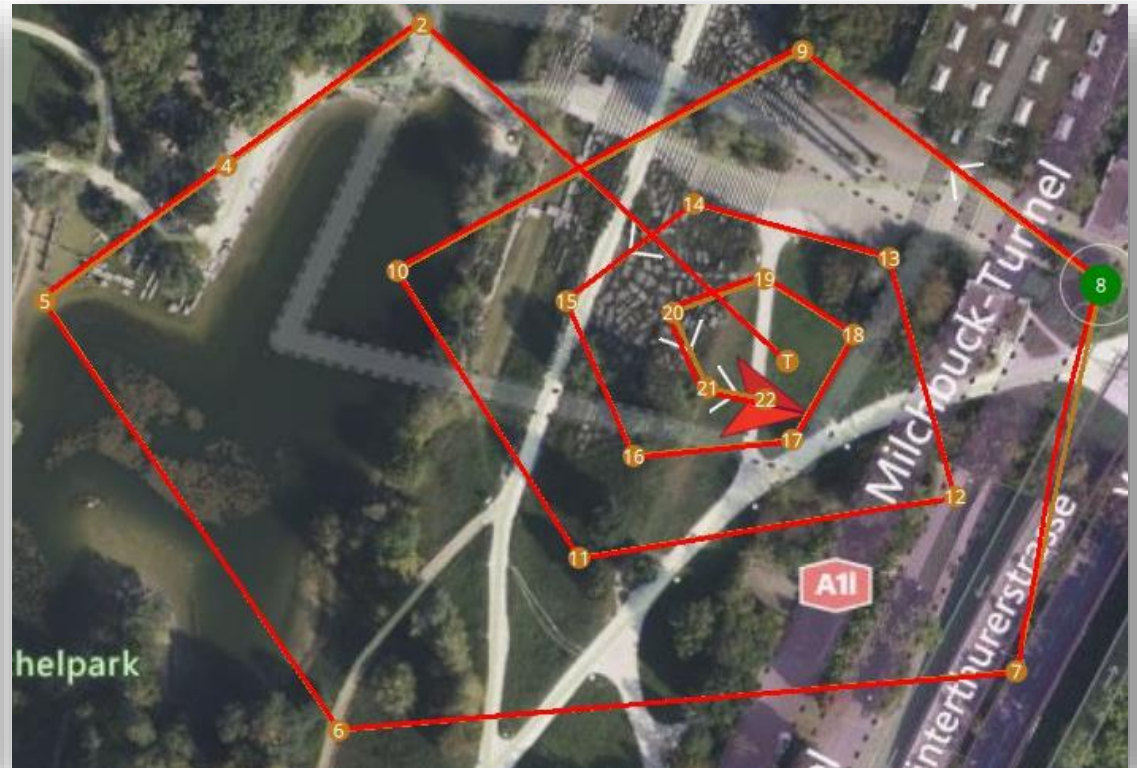
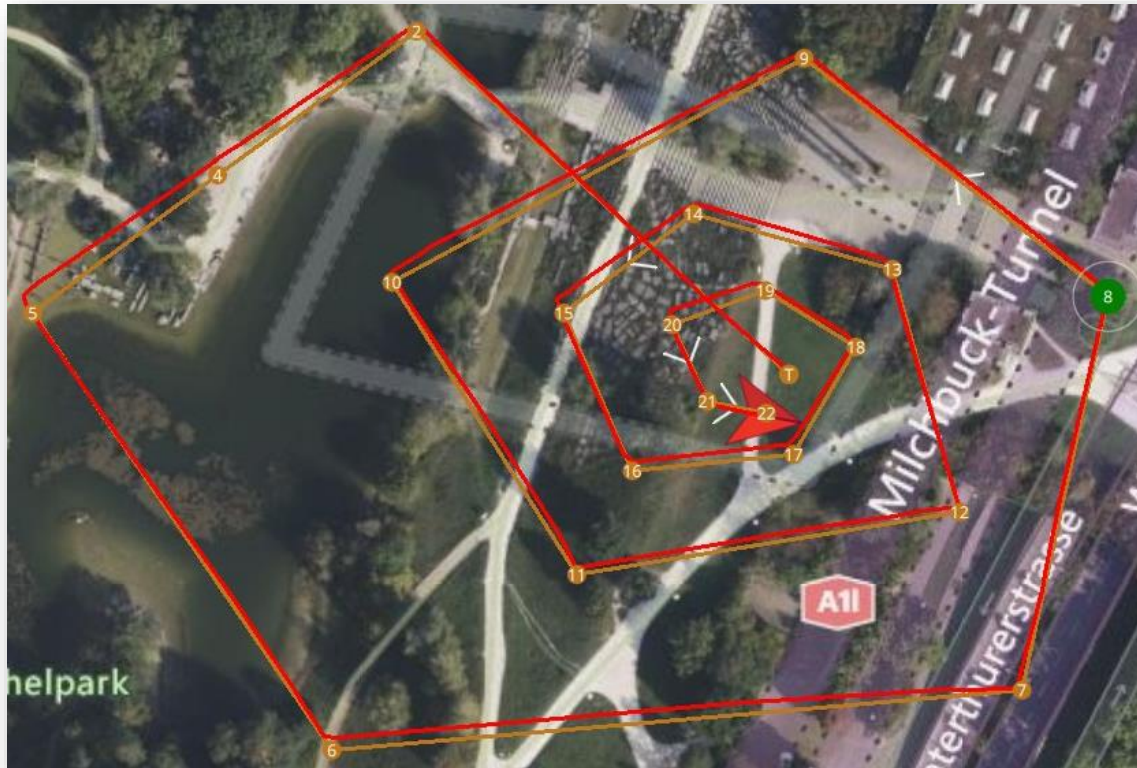
# МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТНЫМ КОНТРОЛЛЕРОМ PX4

- ✈ Алгоритм управления по инерциальной системе навигации позволяет выполнять малые полетные задания. На данном слайде представлена симуляция выполнения полетного задания протяженностью 40 метров. Прямоугольник 10 на 5 метров. Скорость дрона при этом была ограничена 10 м\с. Погрешность выполнения полетного задания составила от 30 см. до 1 метра.



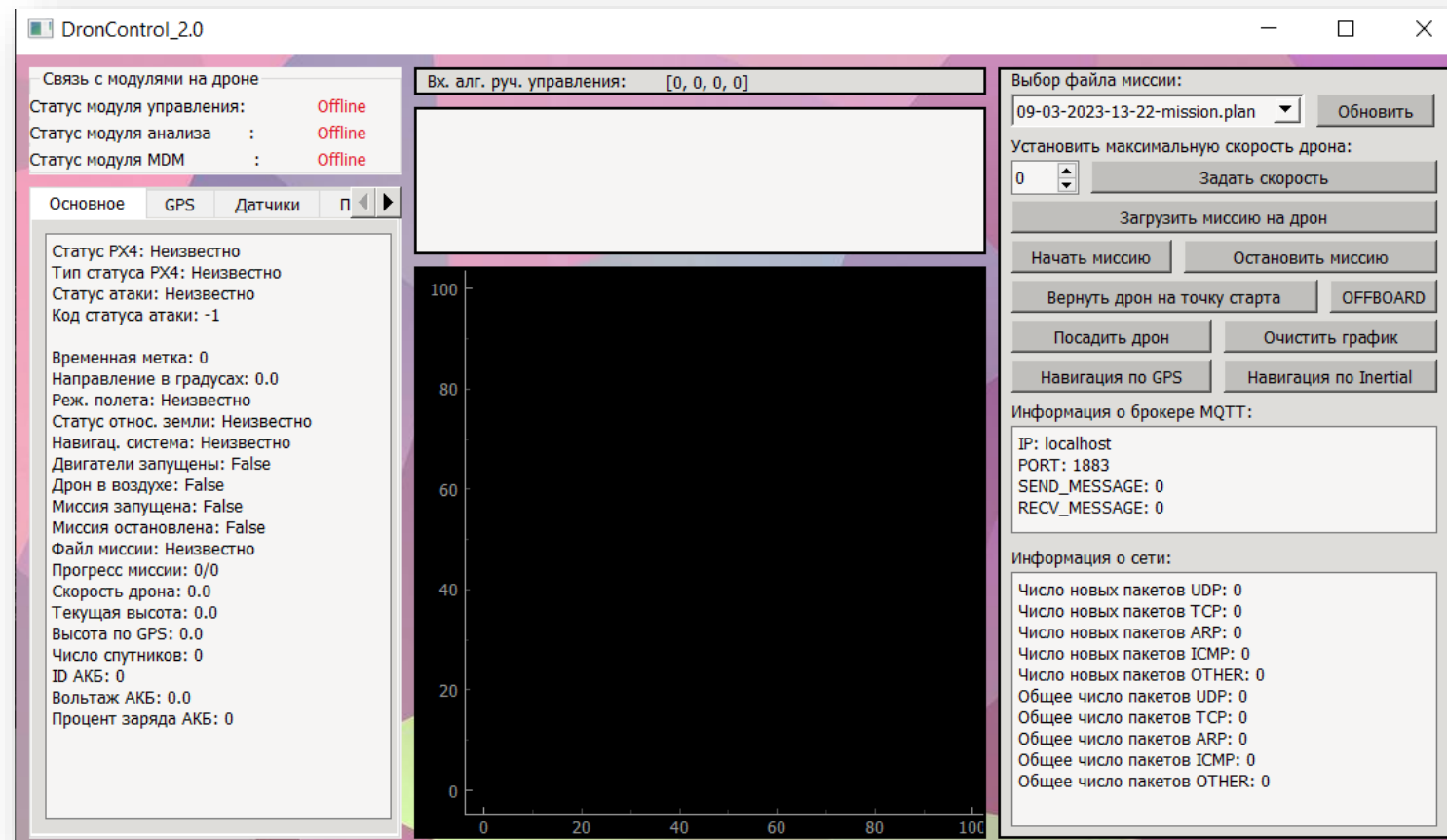
# МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТНЫМ КОНТРОЛЛЕРОМ РХ4

✈ Также выполнялись симуляции полета по сложному полетному заданию с помощью алгоритма управления по инерциальной системе с воздействием ветра и без. На первом изображении присутствовал северный ветер 10 м\с, на втором изображении ветер отсутствовал.



# ТЕСТОВАЯ ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ОПЕРАТОРА

✈ Программа для оператора позволяет осуществлять передачу команд управления и полетных заданий программе управления полетным контроллером PX4. Внешний вид интерфейса оператора программы представлен на рисунке.



# ТЕСТОВАЯ ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ОПЕРАТОРА

Интерфейс оператора разделен на три раздела

- ✈ Раздел визуального отображения траектории полета и информации о сети. (выделен красным)
- ✈ Раздел данных о полете и статусе соединений с модулями системы. (выделен зеленым)
- ✈ Раздел управления БПЛА. (выделен синим)

The screenshot displays the operator interface for a drone, divided into three main sections:

- Green-bordered section (Flight Data/Status):** Contains connection status for drone modules (all Offline) and a detailed status list for the PX4 system, including flight mode, altitude, and battery levels.
- Red-bordered section (Flight Trajectory):** A 2D graph showing the flight path. The axes range from 0 to 100. The current manual control input is shown as [0, 0, 0, 0].
- Blue-bordered section (Mission Control/Network Info):** Includes mission file selection (09-03-2023-13-22-mission.plan), speed control (0), and various mission control buttons (Start, Stop, Return, Land, Clear Graph). It also displays MQTT broker and network statistics.

# ТЕСТОВАЯ ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА ДЛЯ ОПЕРАТОРА

✈ Данные полета представлены в различных разделах. Для отображения основных данных полета достаточно раздела «Основное». При необходимости можно посмотреть данные из других разделов: «GPS», «Датчики», «Позиция», «Одометрия».

✈ Связь с модулями на дроне иллюстрирует для оператора успешно ли соединение с моделями системы.

Offline – связи нет (красный текст).

✈ Online – связь есть (зеленый текст).

Связь с модулями на дроне

Статус модуля управления: Offline  
Статус модуля анализа : Offline  
Статус модуля MDM : Offline

Основное GPS Датчики П

Статус PX4: Неизвестно  
Тип статуса PX4: Неизвестно  
Статус атаки: Неизвестно  
Код статуса атаки: -1

Временная метка: 0  
Направление в градусах: 0.0  
Реж. полета: Неизвестно  
Статус относ. земли: Неизвестно  
Навигац. система: Неизвестно  
Двигатели запущены: False  
Дрон в воздухе: False  
Миссия запущена: False  
Миссия остановлена: False  
Файл миссии: Неизвестно  
Прогресс миссии: 0/0  
Скорость дрона: 0.0  
Текущая высота: 0.0  
Высота по GPS: 0.0  
Число спутников: 0  
ID АКБ: 0  
Вольтаж АКБ: 0.0  
Процент заряда АКБ: 0

Основное GPS Датчики П

Позиционирование: Неизвестно  
Число спутников: 0  
VDOP: 0  
HDOP: 0  
Широта(RAW): 0.0  
Долгота(RAW): 0.0  
Абсолют. высота(RAW): 0.0  
Скорость(RAW): 0.0

Основное GPS Датчики Позиция

Широта: 0.0  
Долгота: 0.0  
Абсолют. высота: 0.0  
Реальная высота: 0.0  
Направление: 0.0  
Заданная скорость: 0.0  
Заданный газ: 0.0  
Заданный угол: 0.0  
Ускорение вперед: 0.0  
Ускорение вправо: 0.0  
Ускорение вниз: 0.0  
Скорость на север(м/с): 0.0  
Скорость на юг(м/с): 0.0  
Скорость вниз(м/с): 0.0

Основное GPS Датчики П

Двигатели запущены: False  
Дрон в воздухе: False  
Гироскоп: False  
Акселерометр: False  
Магнитометр: False  
Локальная позиция: False  
Глобальная позиция: False  
Домашняя позиция: False

Основное GPS Датчики Позиция Одометрия

Локальные координаты:  
X: 0.0  
Y: 0.0  
Z: 0.0  
Скорость по X: 0.0  
Скорость по Y: 0.0  
Скорость по Z: 0.0  
Крен: 0.0  
Тангаж: 0.0  
Рысканье: 0.0

# Модуль оператора БПЛА

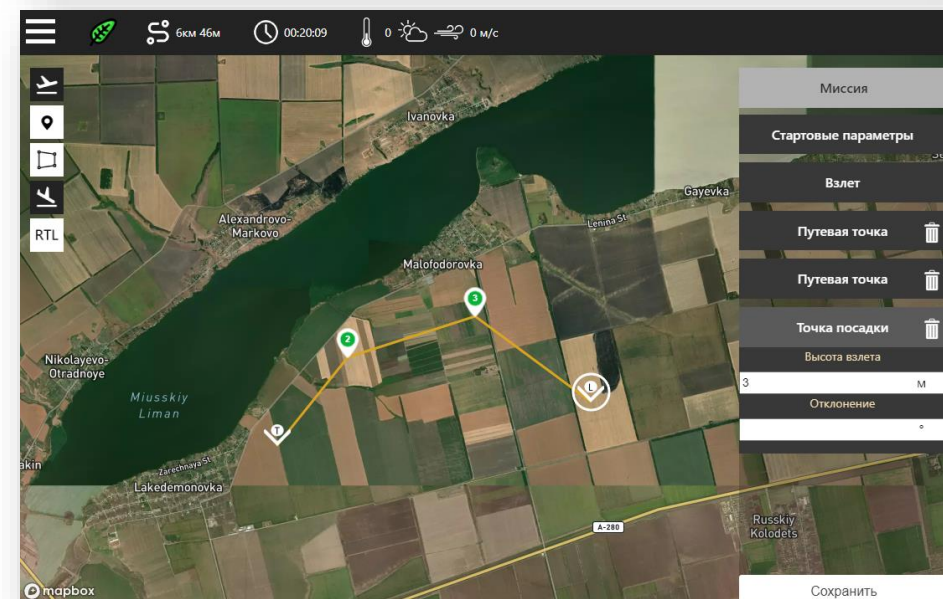
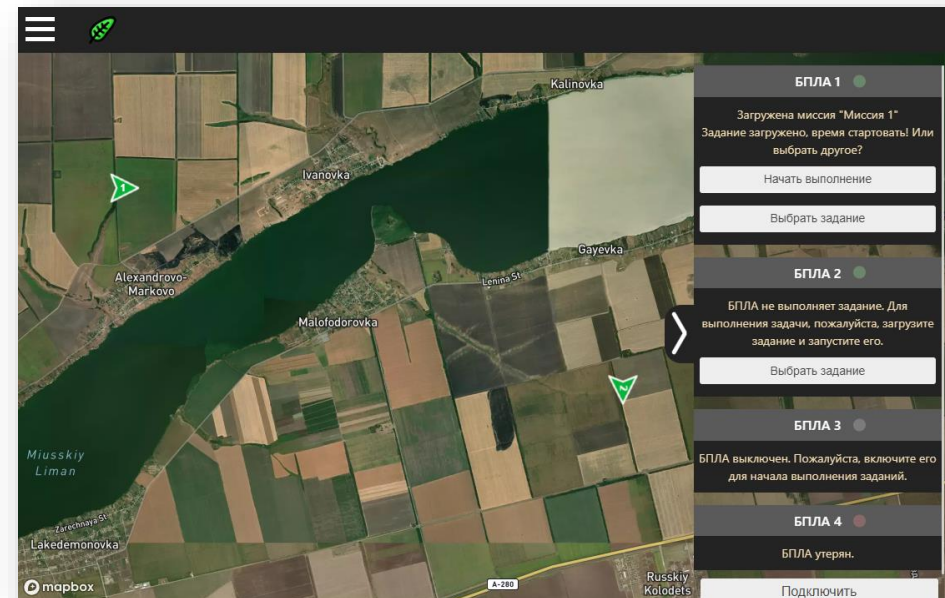
- Планирование полетного задания с учётом рельефа местности, 3 уровень TRL,
- Интеллектуальная система рекомендаций при планировании полетного задания, 3 уровень TRL



## Модуль оператора

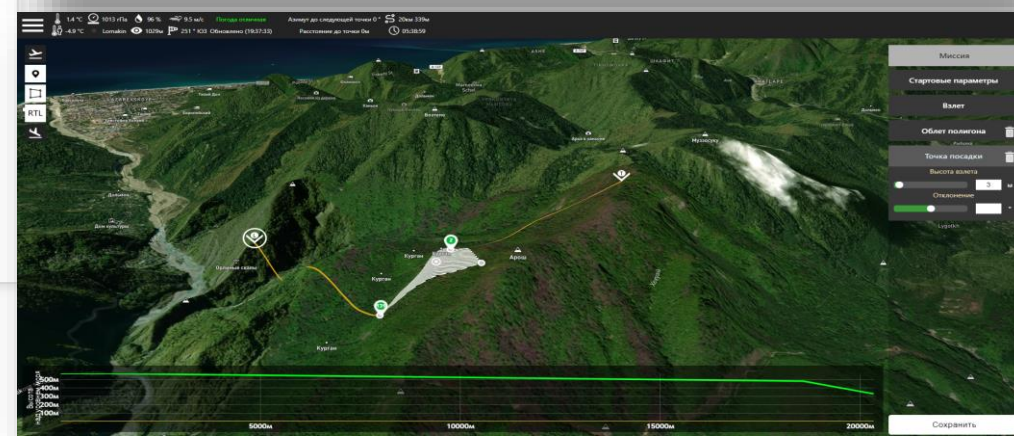
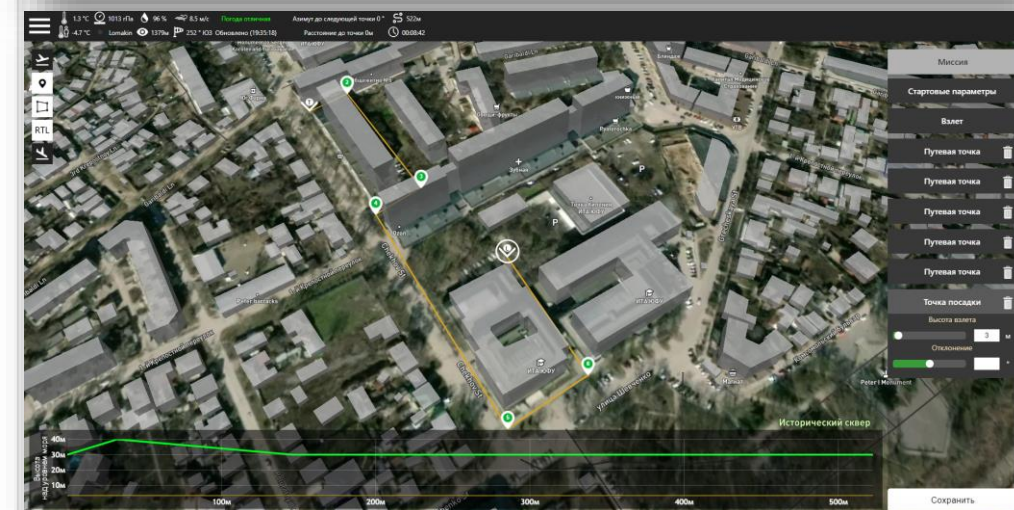
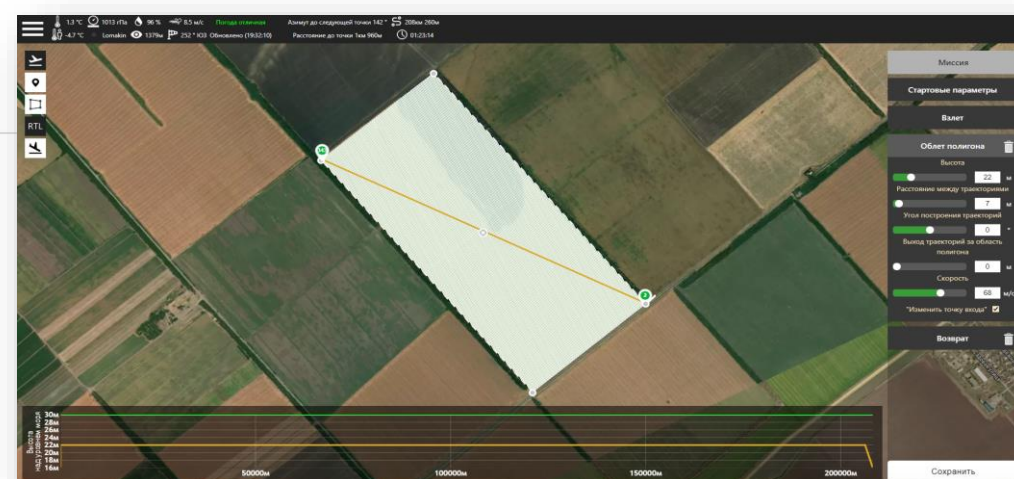
Модуль оператора представляет собой веб-приложение, основанное на клиент-серверной архитектуре, которое реализует следующие функции:

- ✈ Конструирование полетных заданий (создание, редактирование) с предварительной разметкой ИИ регионов потенциальных препятствий
- ✈ Отдачу команд БПЛА на выполнение миссии с ее предварительной загрузкой и на завершение, а также получения результатов ее выполнения
- ✈ Мониторинг выполнения заданий БПЛА в режиме реального времени
- ✈ Мониторинг принятых решений на борту БПЛА с возможностью их отмены или редактирования
- ✈ Хранение полетных заданий, сбор информации об их выполнении



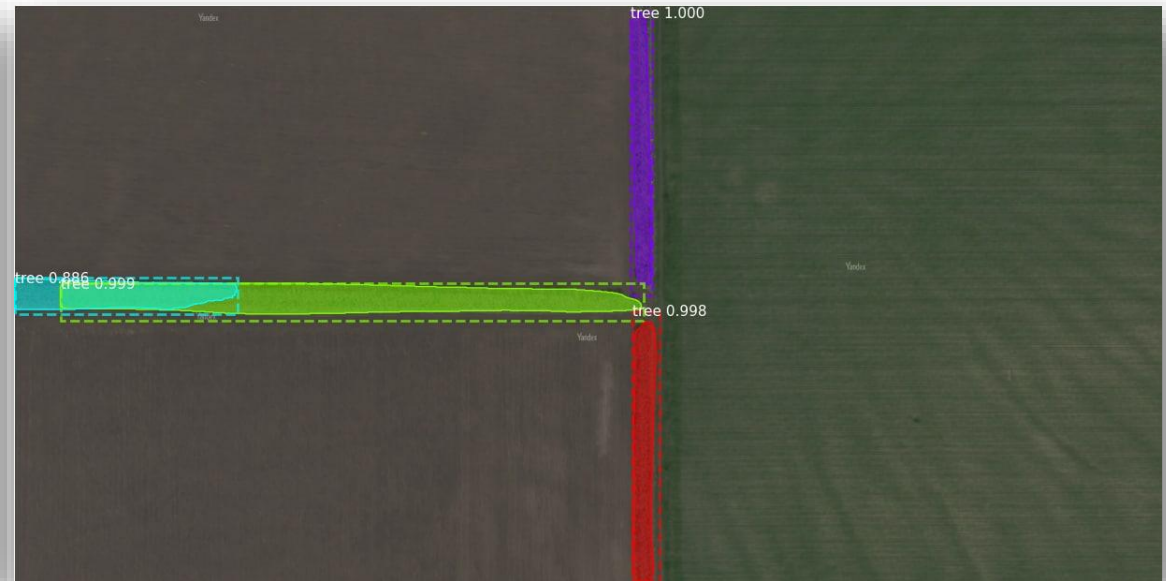
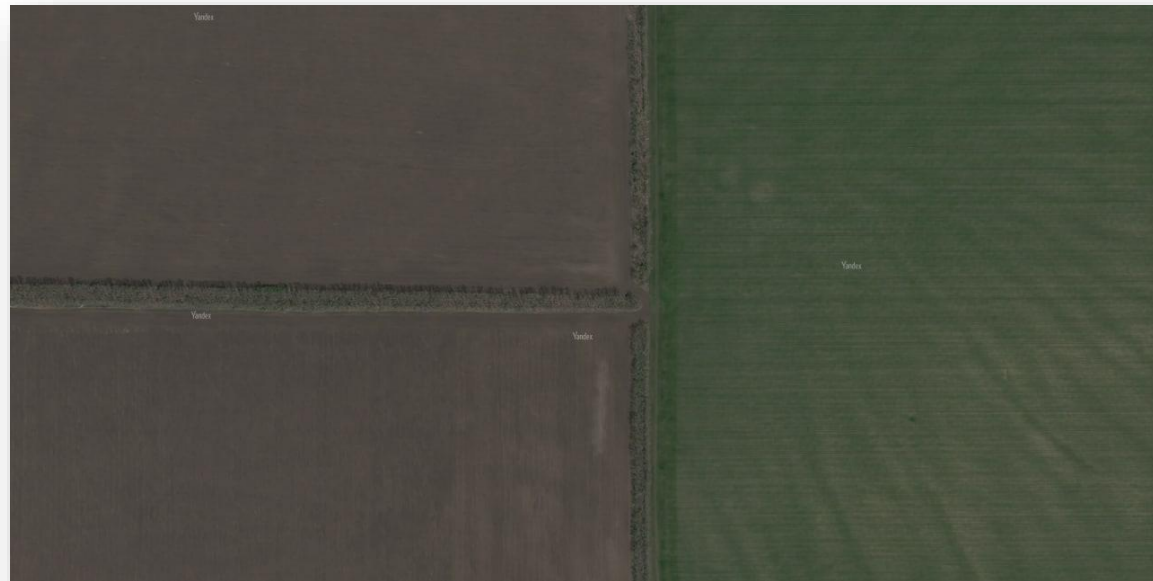
# Дополнительные возможности

- ✈ Модуль помимо базового функционала имеет следующие возможности:
- ✈ Кэширование картографических данных для их возможного использования в районах без доступа к сети
- ✈ Отображение 3D-модели местности с учетом рельефа, а также зданий и построек в случае населенных пунктов
- ✈ Периодическое получение и анализ данных о текущих метеорологических условиях, влияющих на стабильность полета

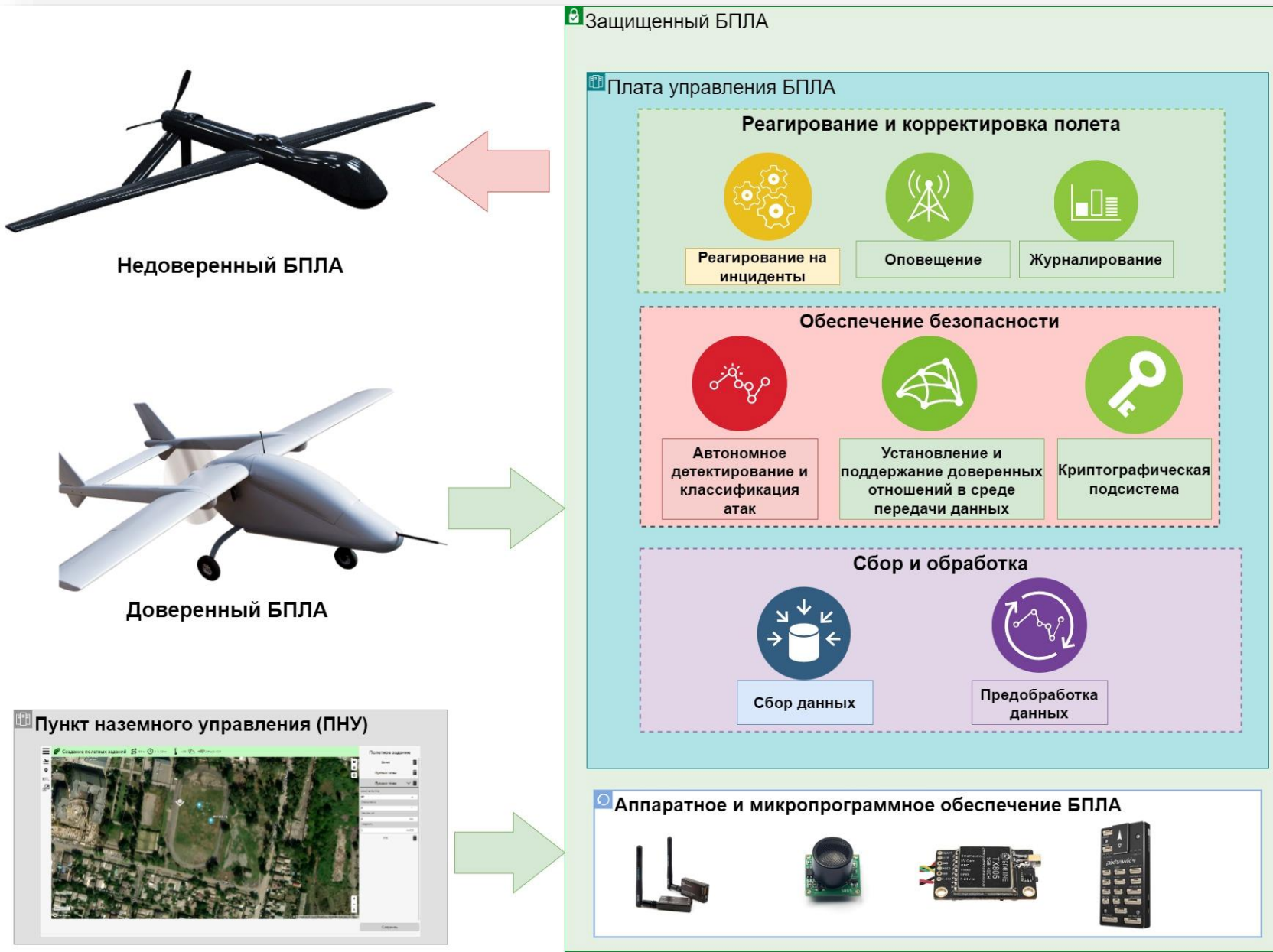


# Рекомендательная система построения полетного задания

- ✈️ Нейросеть M-RCNN обучена на изображениях лесных массивов и ЛЭП, она используется для обнаружения лесных массивов на снимках в программе для построения полетного плана беспилотника, обеспечивая безопасность полета беспилотника.
- ✈️ С помощью этой нейросети можно определить безопасный путь полета беспилотника и предотвратить столкновение с ЛЭП и деревьями.



# Итоговое решение



Планируемые результаты :

- ✈ Автоматизированный модуль тестирования безопасности БПЛА.
- ✈ Технология обнаружения и классификации атак на БПЛА.
- ✈ Система реагирования на инциденты информационной безопасности БПЛА.

 Басан Елена Сергеевна, к.т.н., доцент.

 +79515205488

 ebasan@sfedu.ru