

ПРОТОТИПЫ РАДИОМАЯКА И ВНЕШНЕГО НАВИГАЦИОННОГО МОДУЛЯ ПОЛЁТНОГО КОНТРОЛЛЕРА БПЛА МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО ДРОНОПОРТА

СКТБ «Радиотехника»
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет»

Белозерских В.В., Давыдов М.А., Кулиев Д.А.

Идея и краткое описание ИТ-проекта

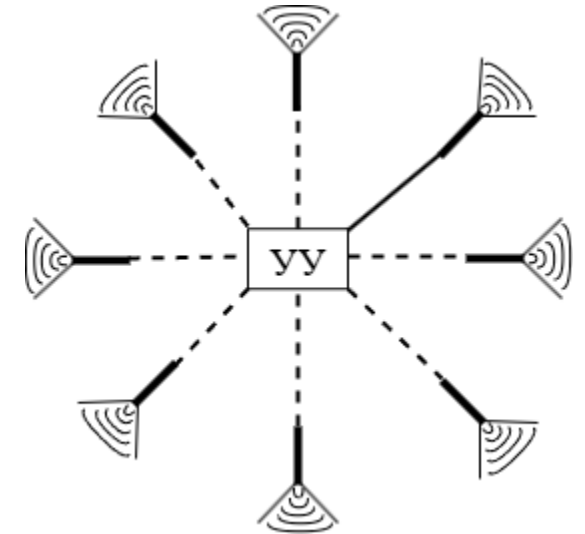
При обеспечении автономной навигации БПЛА возникает ряд трудностей, связанных с частичным подавлением сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) или их отсутствия в некоторых регионах при определённых условиях, например, при работе систем РЭБ и в зонах со сложным рельефом. В этом случае возникает необходимость создания дронопортов, способных функционировать без ГНСС, и осуществлять навигацию БПЛА в пределах области своего действия. Такие инфраструктурные единицы позволят без существенных проблем осуществить эксплуатацию беспилотных авиационных систем исходя из необходимых видов деятельности. Ключевыми элементами дронопорта, обеспечивающими навигацию в пределах его области действия, является радиомаяк и внешний навигационный модуль полётного контроллера.

Идея и краткое описание ИТ-проекта

Проектируемый дронопорт ориентирован на применение в полевых условиях на равнинной местности и при развертывании расширенной инфраструктуры в предгорной и горной зонах. При этом его эксплуатация находится в рамках законодательства Российской Федерации.

Дронопорт представляет собой систему взаимодействия радиомаяка и внешнего навигационного модуля, управляющего полётным контроллером БПЛА, интегрированного на борт беспилотного летательного аппарата, посредством радиосвязи. Частоты, на которых она реализована, относятся к ISM-диапазону.

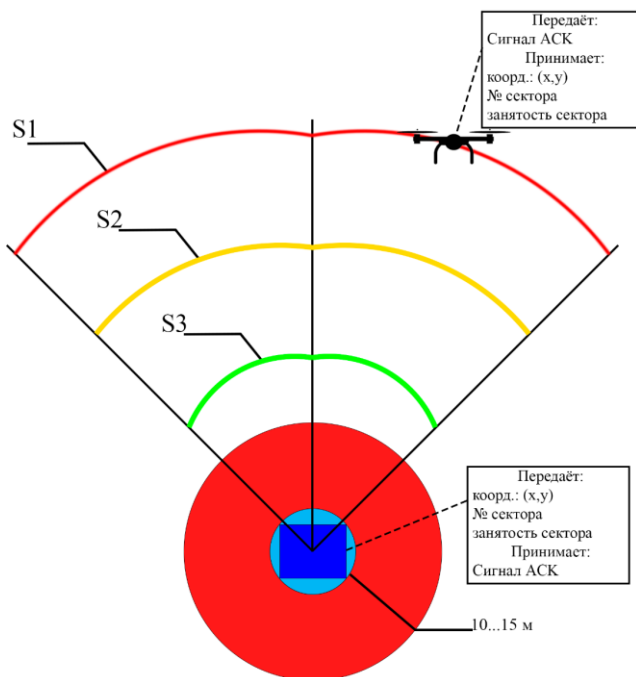
Принцип работы радиомаяка основан на секторальном разбиении по 45° с использованием узконаправленных антенн. Антенны работают попеременно в режиме приёма-передачи. Привязка координат маяка осуществляется посредством ГНСС или топологической привязки.



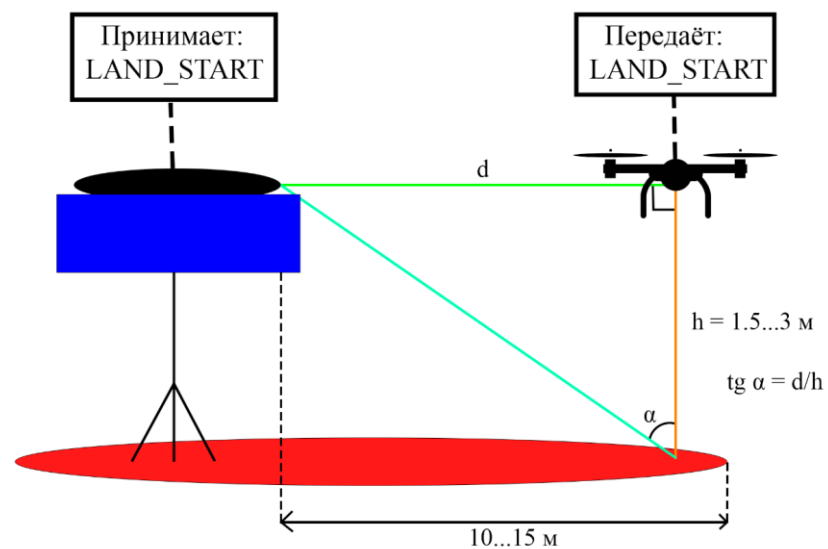
Секторальное разбиение

Функциональные возможности

- Автономное управление и навигация БПЛА в зоне действия радиомаяка.



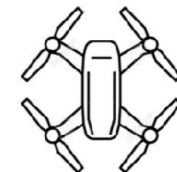
- Заход БПЛА на посадку в заданную область.



- Передача управляющих пакетов по радиоканалу.



Старт байт	Байты с 1 по 22 (данные каналов)	Служебный байт	Стоп байт
------------	----------------------------------	----------------	-----------



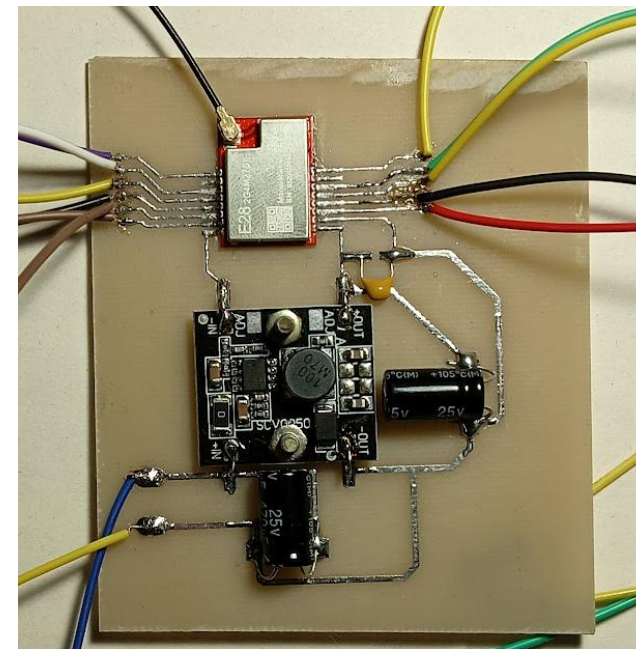
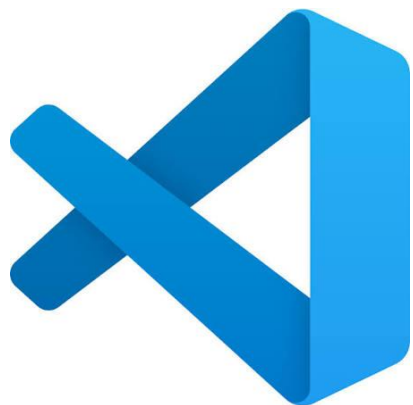
Платформы и средства разработки

Используемые платформы, средства разработки:

- программируемая платформа Arduino;
- радиомодуль LoRa с расширением спектра для повышения помехоустойчивости;
- Arduino IDE;
- Microsoft Visual Studio Code (Python).

Планируемая дата внедрения: **09.2027 г.**

Стоимость разработки системы: **2 000 000 руб.**



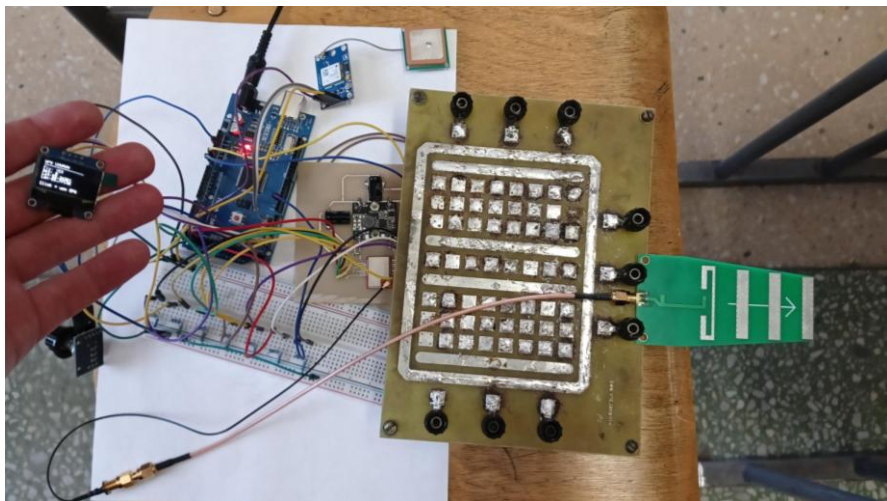
Радиомодуль LoRa

Завершённость и испытания

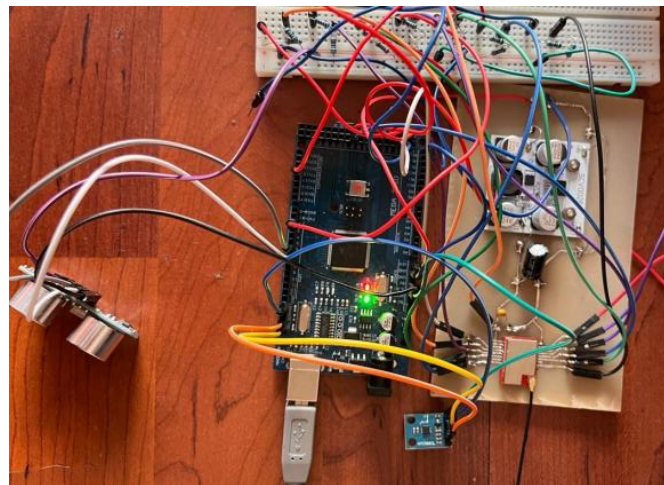
На данном этапе реализован прототип системы, состоящий из прототипа радиомаяка и прототипа внешнего навигационного модуля для управления полётным контроллером БПЛА. Проведены успешные испытания системы в целом и её отдельных компонентов в частности. Результаты работы подготовлены к проведению ОКР и в дальнейшем к промышленному производству.

Реализованные элементы:

- прототип радиомаяка;
- прототип внешнего навигационного модуля;
- способ обмена пакетами данных по радиоканалу;
- алгоритмы навигации и мягкой посадки.



Прототип радиомаяка

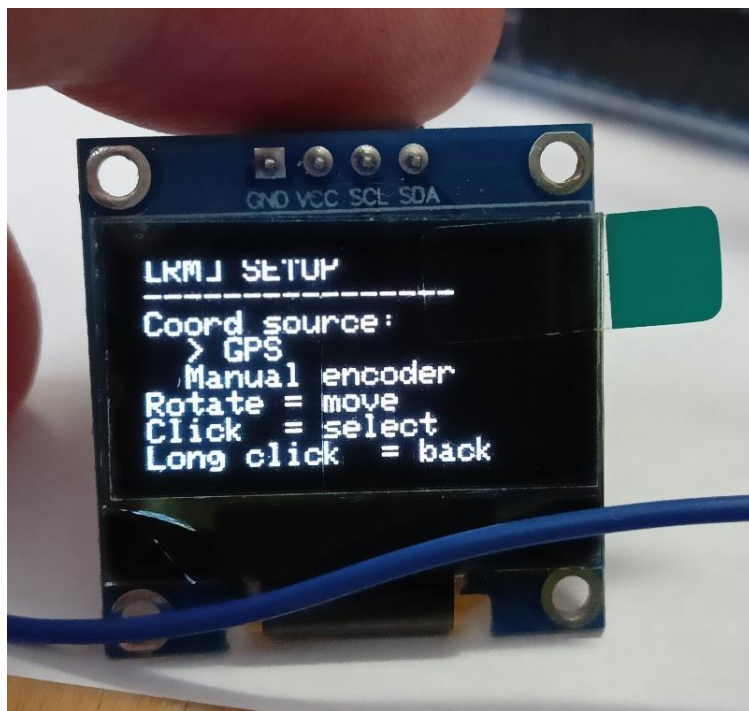


*Прототип внешнего
навигационного модуля*



Общий вид радиомаяка

Этап испытаний: получение координат радиомаяка

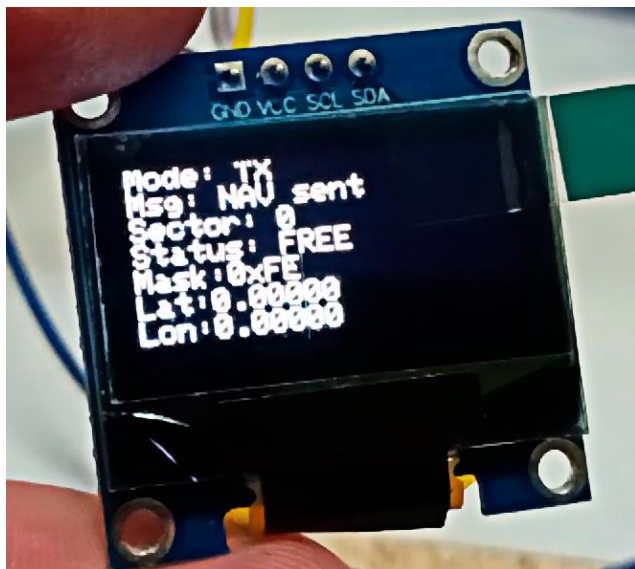


Меню выбора способа получения координат на радиомаяке



Полученные усреднённые координаты ГНСС и готовность к запуску радиомаяка

Этап испытаний: приём и передача пакетов данных



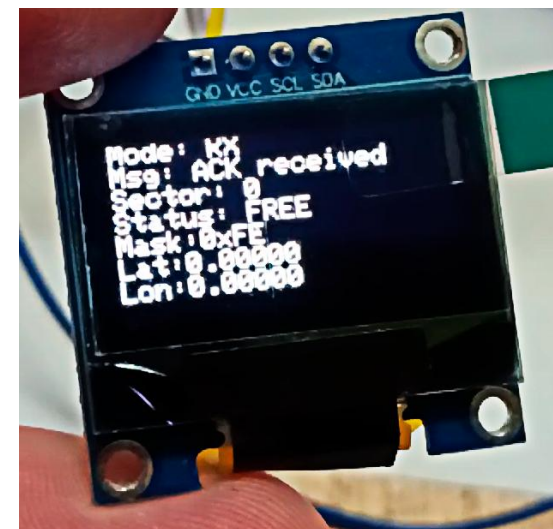
Отправка пакета информации со стороны радиомаяка



Ожидание пакета информации на БПЛА



Получение пакета информации на БПЛА

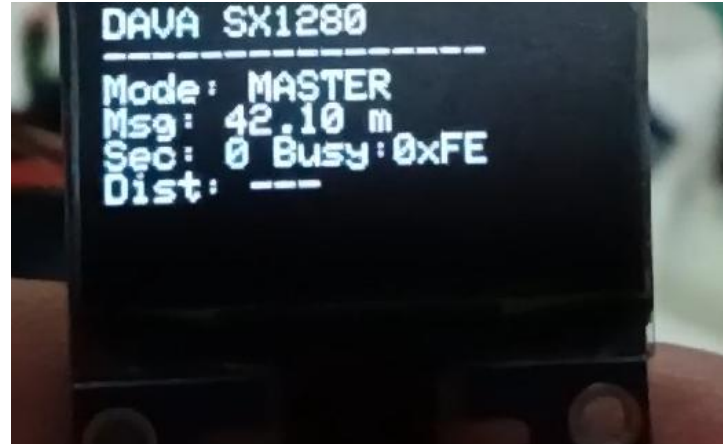


Получение пакета подтверждения (ACK) на радиомаяке

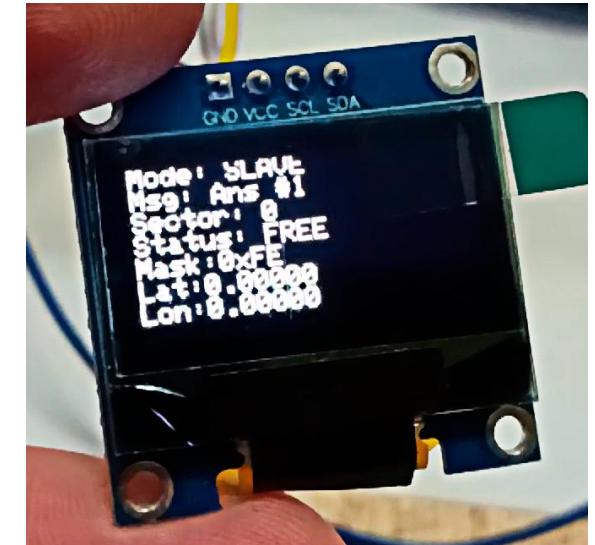
Этап испытаний: измерение расстояния



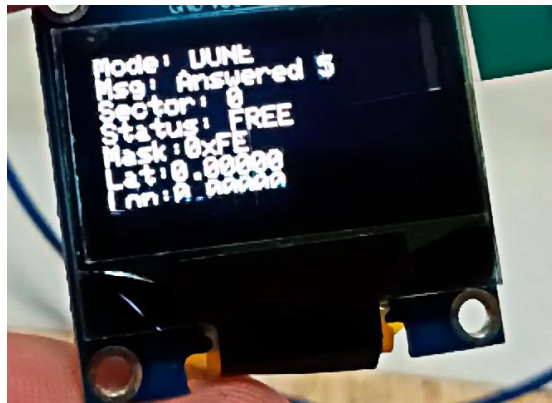
Ожидание радиомаяком
ведущего



Измерение расстояния со
стороны БПЛА (ведущего)



Измерение расстояния со
стороны радиомаяка (ведомого)

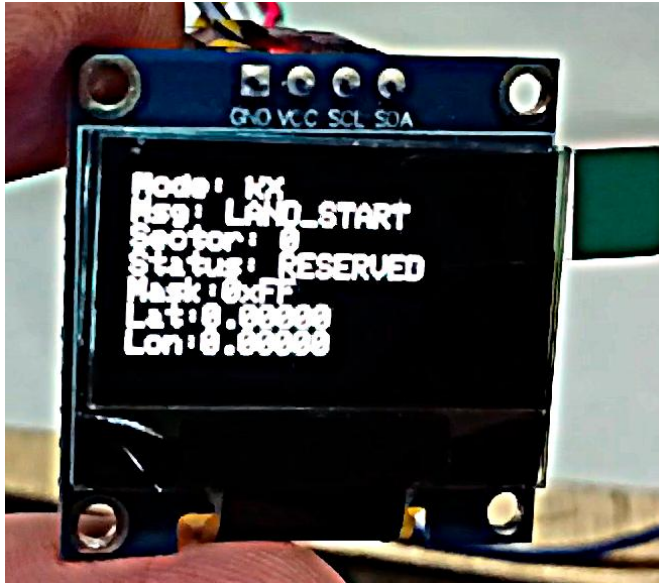


Конец измерения расстояния со
стороны радиомаяка (ведомого)

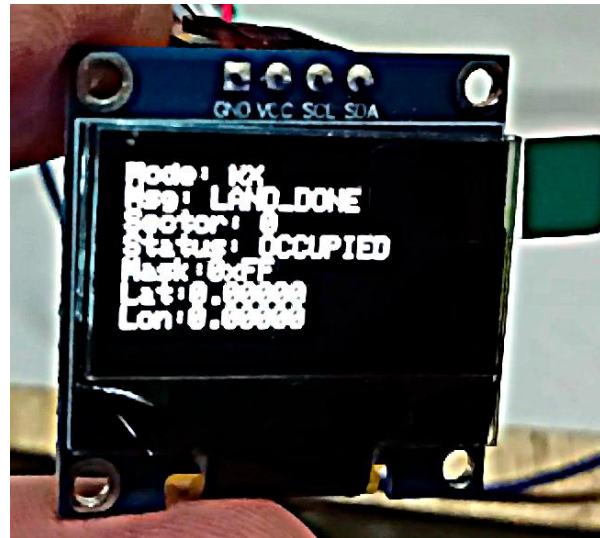


Результат измерения расстояния со
стороны БПЛА (ведущего)

Этап испытаний: посадка БПЛА



Получение пакета о начале посадки (LAND_START) на стороне радиомаяка



Получение пакета о завершении посадки (LAND_DONE) на стороне радиомаяка



Информация о занятом секторе для вновь влетевшего БПЛА

Этап испытаний: работа системы при полёте БПЛА в противоположном направлении



Таймауты в измерении расстояния
радиомаяком в случае разворота
БПЛА



Разворот БПЛА

Тестирование работы навигационного модуля: выход на курс сектора

■ Выход на курс сектора

```
CAL: X=-207.0 Y=-233.0
HEADING = 228.4 deg
TARGET sector=0 target=180.0 deg FRESH_ERROR=-48.4 deg
CURRENT SBUS mode = ALIGN modeTime=59698 ms
ALIGN phase = YAW_ONLY, ошибка курса еще большая
RADIO state = WAIT_NAV
NAV age = 2319 ms last sector=0 busyMask=0xFE sectorBusy=NO
NAV timeout limit = 8000 ms
Distance: 38.12 m
Ultrasonic height HY-SRF05: valid=NO age=175 ms height=NO ECHO / OUT OF RANGE
Low altitude protect: active=NO hits=0/2 threshold=0.00 m
Auto landing bench disable = YES, посадка временно отключена для проверки PITCH/ALIGN
Landing threshold = 10.0 m
SBUS CH: ROLL=992 PITCH=992 THR=992 YAW=800 MODE=992
Compass OK = YES
```


Тестирование работы навигационного модуля: движение вперёд

- Ошибка в пределах нормы, движение вперёд

```
CAL: X=-309.0  Y=-15.0
HEADING = 182.8 deg
TARGET sector=0 target=180.0 deg  FRESH_ERROR=-2.8 deg
CURRENT SBUS mode = ALIGN  modeTime=90188 ms
ALIGN phase = GO_FORWARD, pitch держится через гистерезис
RADIO state = WAIT_NAV
NAV age = 3116 ms  last sector=0  busyMask=0xFE  sectorBusy=NO
NAV timeout limit = 8000 ms
Distance: 58.22 m
Ultrasonic height HY-SRF05: valid=NO age=18 ms height=NO ECHO / OUT OF RANGE
Low altitude protect: active=NO hits=0/2 threshold=0.00 m
Auto landing bench disable = YES, посадка временно отключена для проверки PITCH/ALIGN
Landing threshold = 10.0 m
SBUS CH: ROLL=992 PITCH=1212 THR=1012 YAW=992 MODE=992
Compass OK = YES
-----
```



Тестирование работы навигационного модуля: начало посадки

- Начало посадки, отправка подтверждения о посадке

```
Average distance = 9.15 m, valid  
SBUS mode = HOLD sector=0  
TX LAND_START sec=0  
TX LAND_START sec=0  
TX LAND_START sec=0  
SBUS mode = LAND sector=0
```



Тестирование работы навигационного модуля: успешная посадка

- Работа ультразвукового датчика и отправка сообщения о успешной посадке

```
Landing ultrasonic altitude = 0.86  
Landing ultrasonic altitude = 0.35  
Landing ultrasonic altitude = 0.35
```

```
TX LAND_DONE sec=0  
TX LAND_DONE sec=0  
TX LAND_DONE sec=0  
TX LAND_DONE sec=0  
TX LAND_DONE sec=0  
TX LAND_DONE sec=0  
TX LAND_DONE sec=0
```



Тестирование работы навигационного модуля: занятость сектора

- Повторный запуск модуля, но сектор уже занят

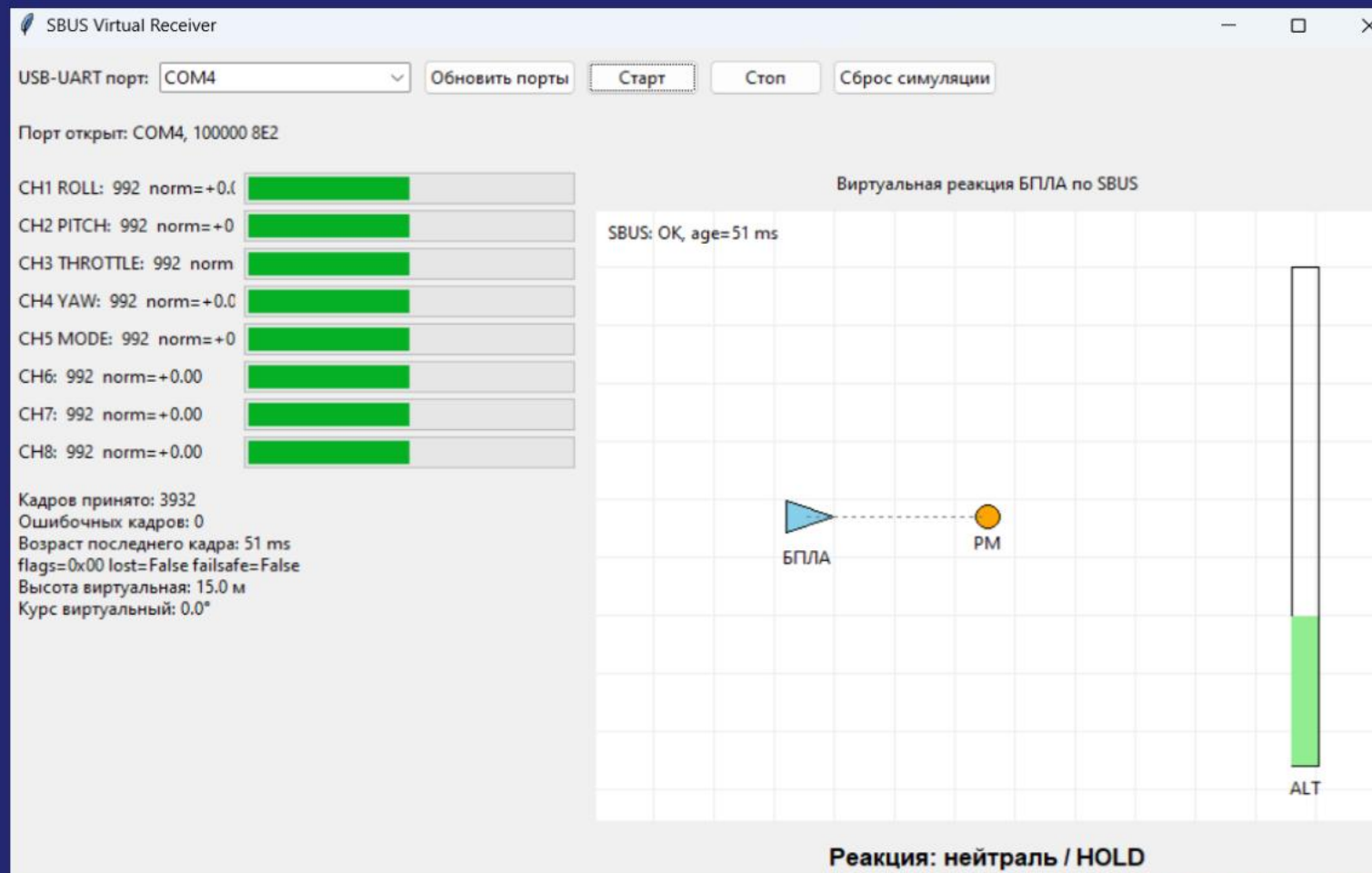
```
NAV received id=0 busy=0xFF
```

```
Master sample 3  
Distance 3: 11.00 m  
Master sample 4  
Distance 4: 9.24 m  
Master sample 5  
Distance 5: 10.14 m  
Average distance = 9.98 m, valid samples = 5/5  
SBUS mode = ORBIT_CW sector=0
```



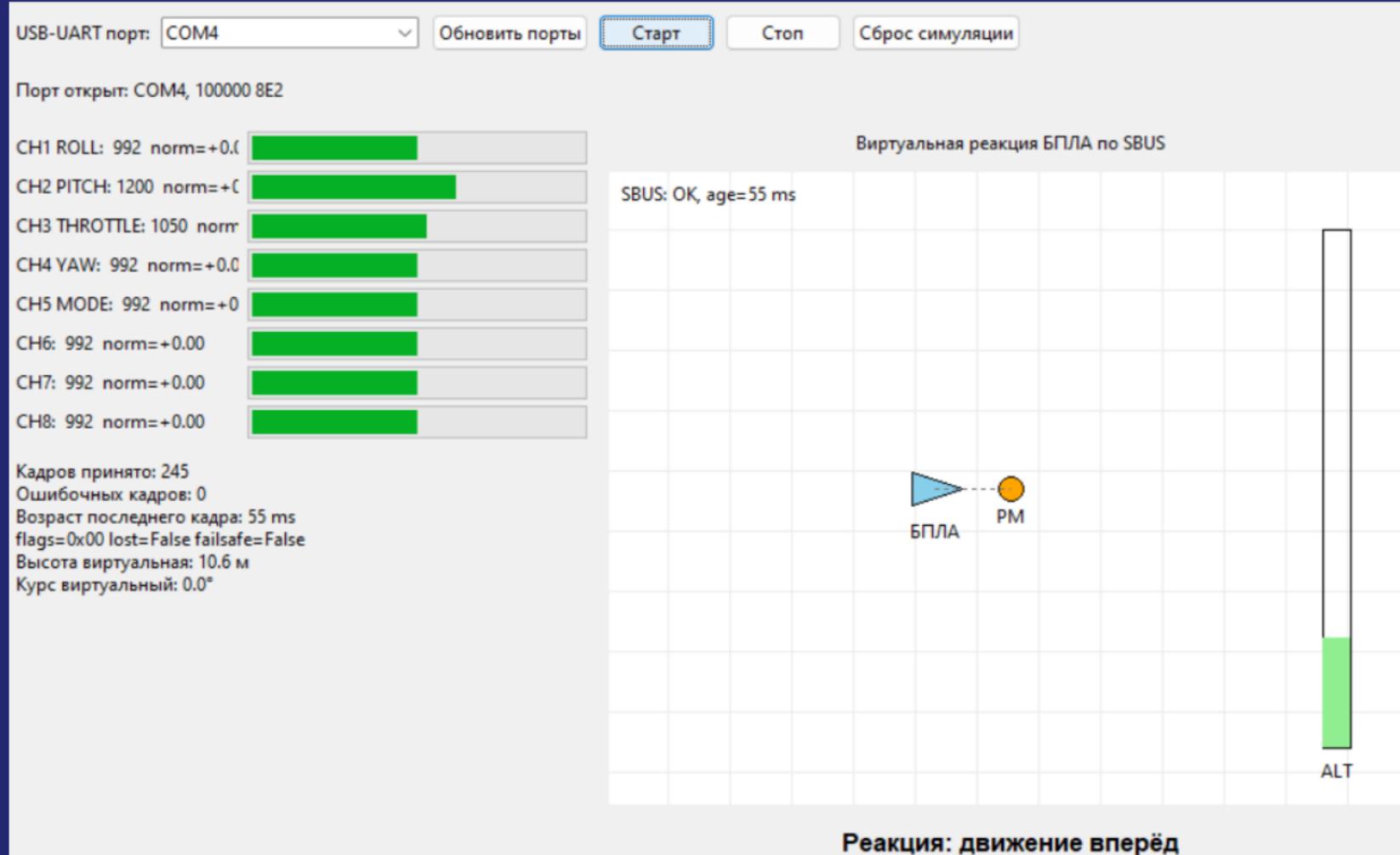
Подача команд БПЛА: нейтральные каналы

- Отправка SBUS пакетов с нейтральным значением всех каналов



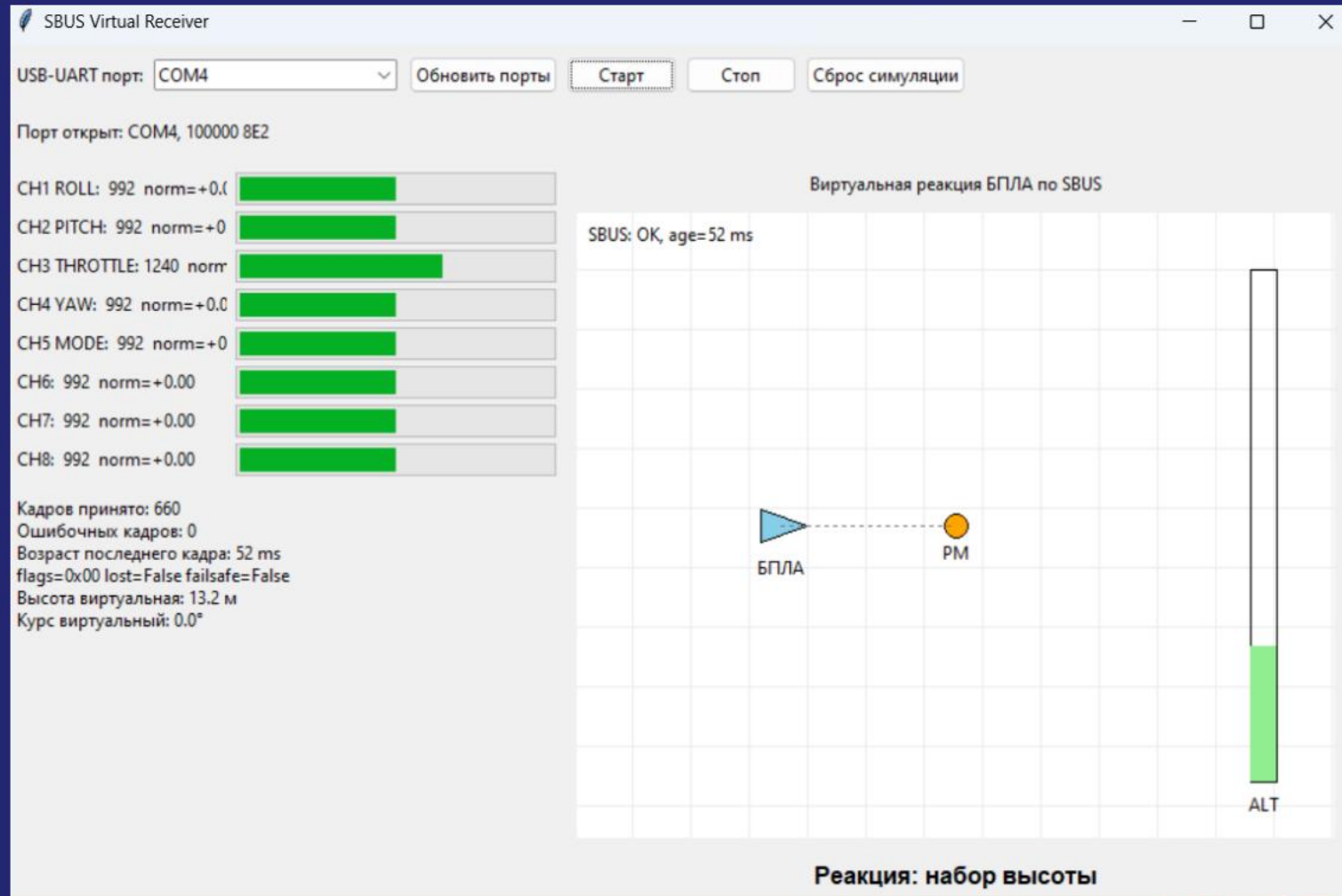
Подача команд БПЛА: движение по курсу

- Отправка SBUS пакетов с командой движение по курсу



Подача команд БПЛА: контроль высоты

- Проверка функции отслеживание критической высоты вне посадки



Оригинальность и новизна

Отличительные особенности проекта:

- работа при отсутствии сигналов ГНСС; ✓
- устойчивость к помехам и подмене координат; ✓
- внешний модуль управления полётным контроллером БПЛА; ✓
- собственный алгоритм навигации в зоне радиомаяка; ✓
- решение коллизий при использовании дронопорта несколькими БПЛА. ✓

Перспективы и полезность

При переходе к промышленному производству возможно развернуть сеть мобильных дронопортов для навигации БПЛА.

Области применения:

- сельское хозяйство;
- промышленность;
- служба доставки.



Проект повышает экономическую целесообразность и эффективность применения БПЛА в гражданских отраслях.

