



Научно-технические проблемы и решения интеллектуальных робототехнических систем

Мещеряков Р.В.

д.т.н., профессор, профессор РАН

Директор центра интеллектуальных
робототехнических систем ИПУ РАН

15 мая 2025 г.

Научный задел



ИПУ РАН – ведущее научное учреждение, к основным направлениям научной деятельности которого относятся, в частности:

- теория систем и общая теория управления;
- методы управления сложными техническими и человеко-машинными системами;
- научные основы технологий управления подвижными объектами и навигации;
- теория и методы разработки программно-аппаратных и технических средств управления и сложных информационно-управляющих систем;
- научные основы интегрированных систем управления и автоматизации технологических процессов и управление производством.

ИПУ РАН обладает необходимым количеством научных кадров высшей квалификации

140

Докторов наук

250

Кандидатов наук

**В 2024 году ИПУ РАН исполнилось 85 лет
Празднования прошли в формате ВСПУ**



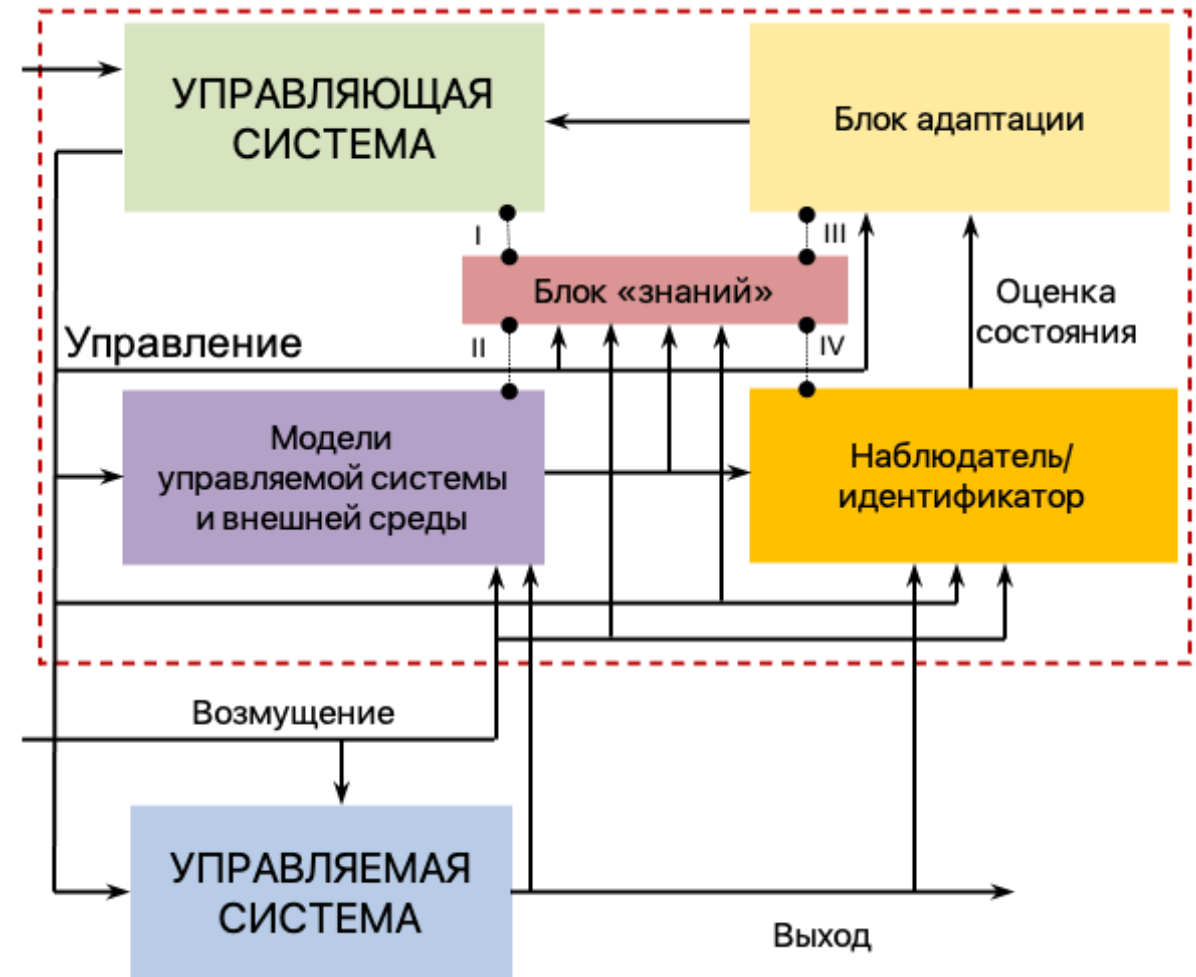
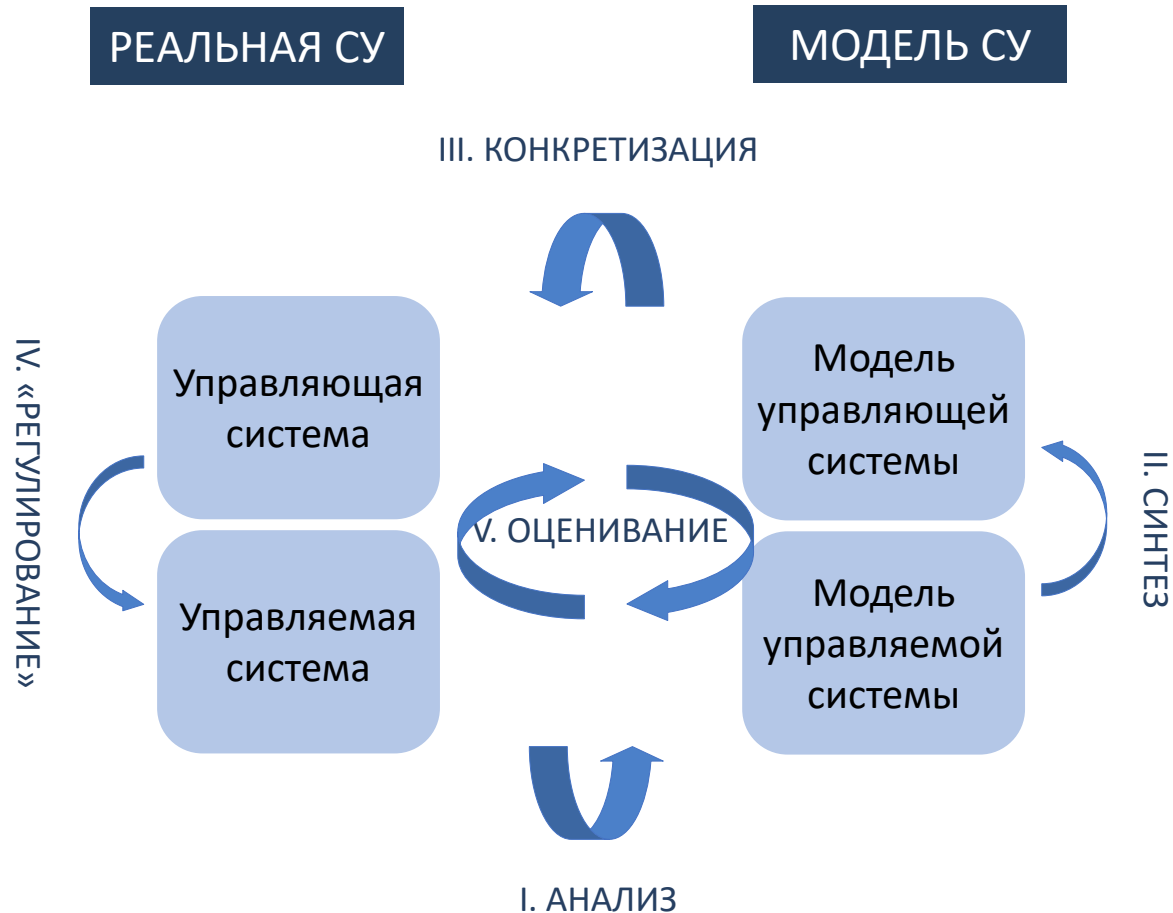
Немного о себе



- Главный научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, доктор технических наук, профессор, лауреат премии Правительства РФ в области образования, профессор РАН.
- Заведующий лабораторией киберфизических систем ИПУ РАН, директор центра интеллектуальных робототехнических систем ИПУ РАН.
- IEEE Senior Member (ITSoc, RAS).
- Член НТС по робототехнике и мехатронике РАН.
- Член Совета РАН по машиностроению.



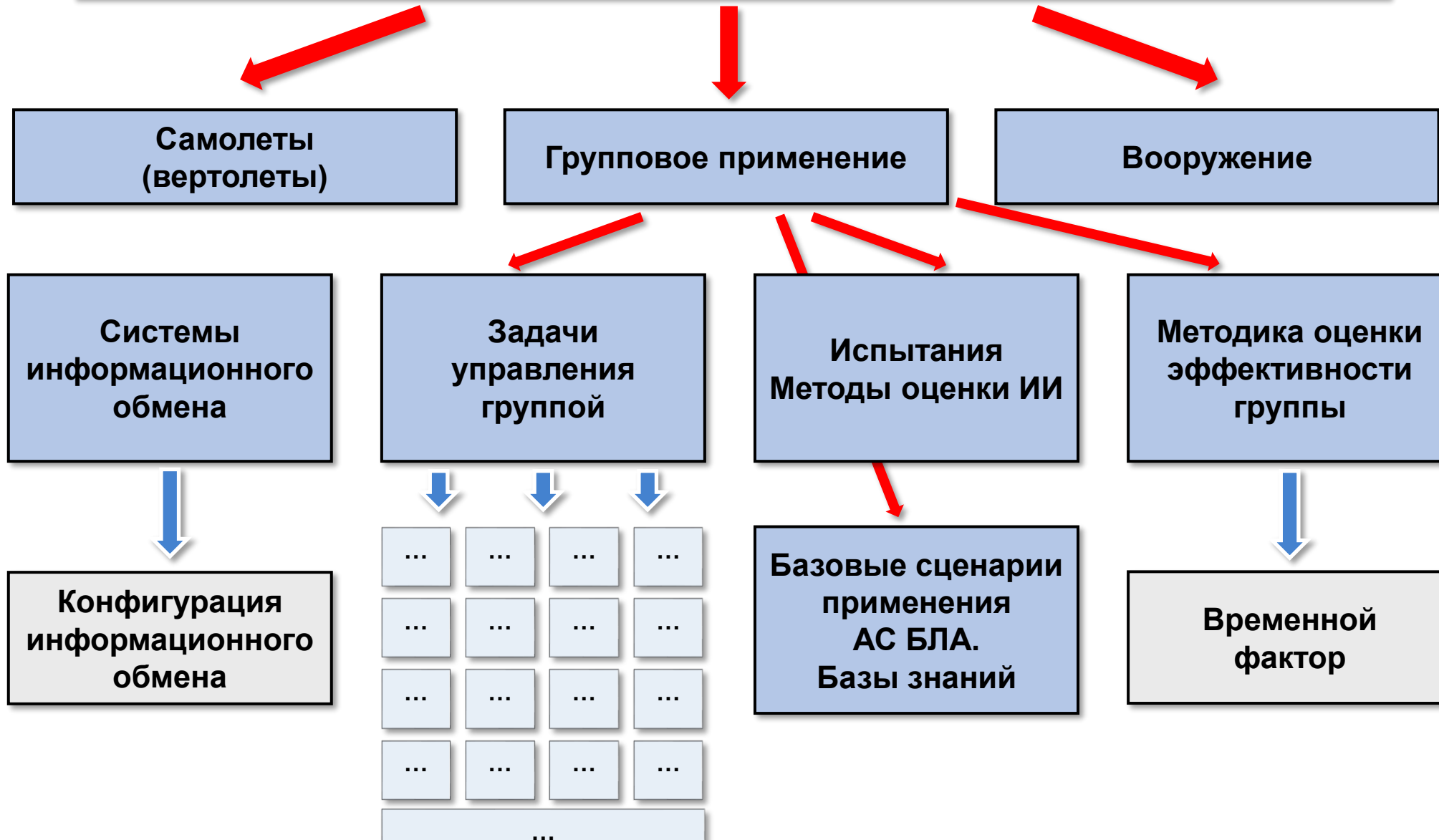
Модели и методы управления





НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Е. ЖУКОВСКОГО

Искусственный интеллект (ИИ) в авиации



Рассматриваемые уровни



Уровень	Описание
Крупномасштабный	вся система в целом, цель функционирования которой определяется стратегическими целями создания и функционирования.
Функциональный	подсистемы целой системы, которые определяют функционально законченные подсистемы, к ним относятся – уровень аэропорта комплексных миссий робототехнических групп, взаимодействие летательных и наземных аппаратов, канал управления – оператор (внешний пилот), звено пилотируемых аппаратов, группа наземных робототехнических аппаратов и пр.
Аппаратный	беспилотные воздушные суда (БВС), наземные роботы (НР), пилотируемые аппараты (ПА), наземные пункты управления (НПУ), канал связи ВПП и иные аппараты и подсистемы.
Подсистемы аппаратов	система технического зрения (СТЗ), подсистема энергообеспечения, подсистема навигации, шасси, двигательная установка, подсистема связи и прочие.

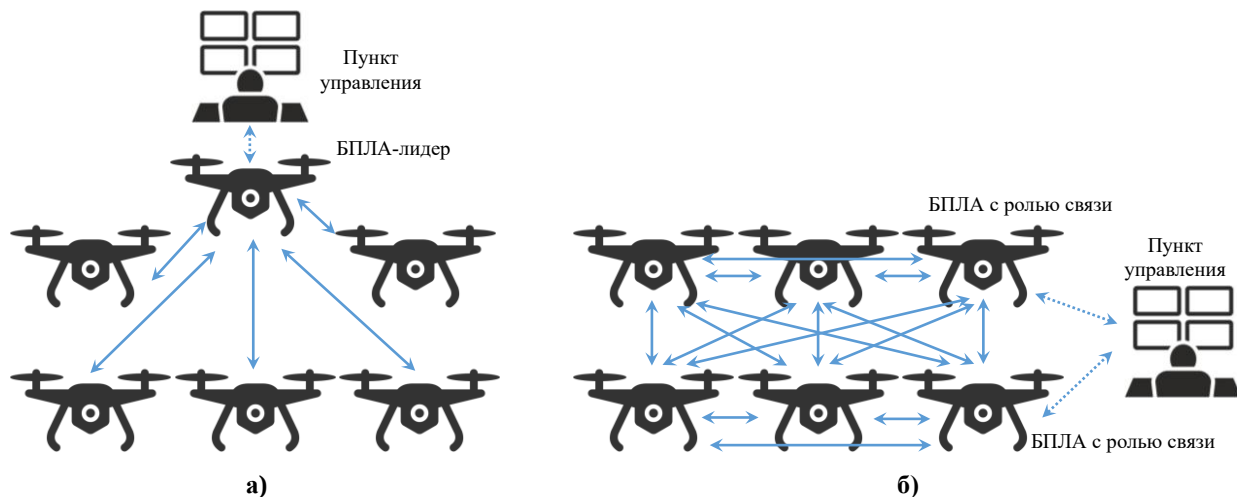
Задачи для группы



Основные задачи для группового применения БЛА, решаемые с помощью ИИ

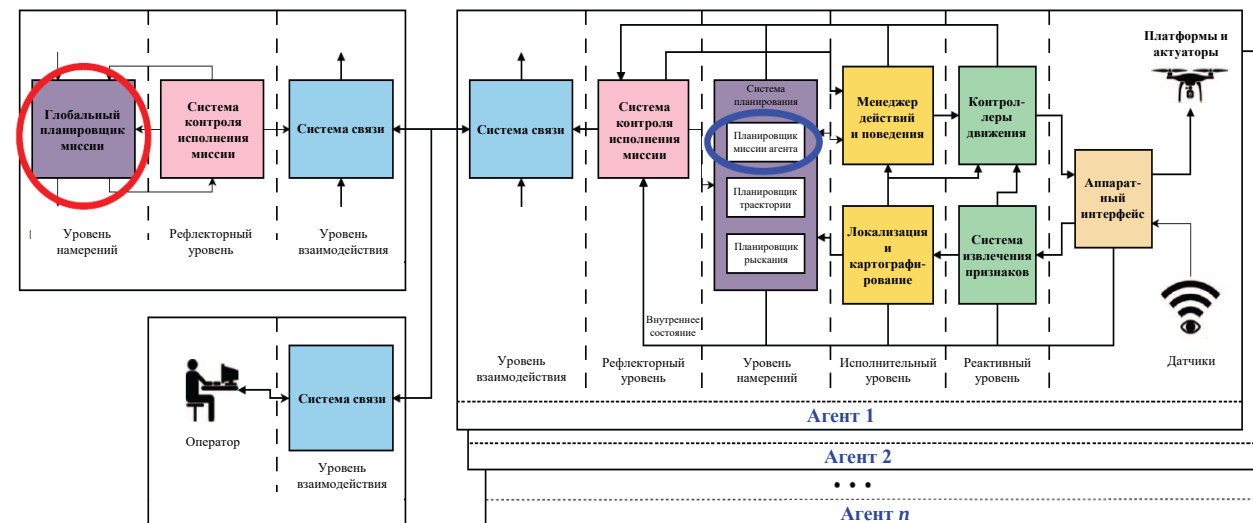
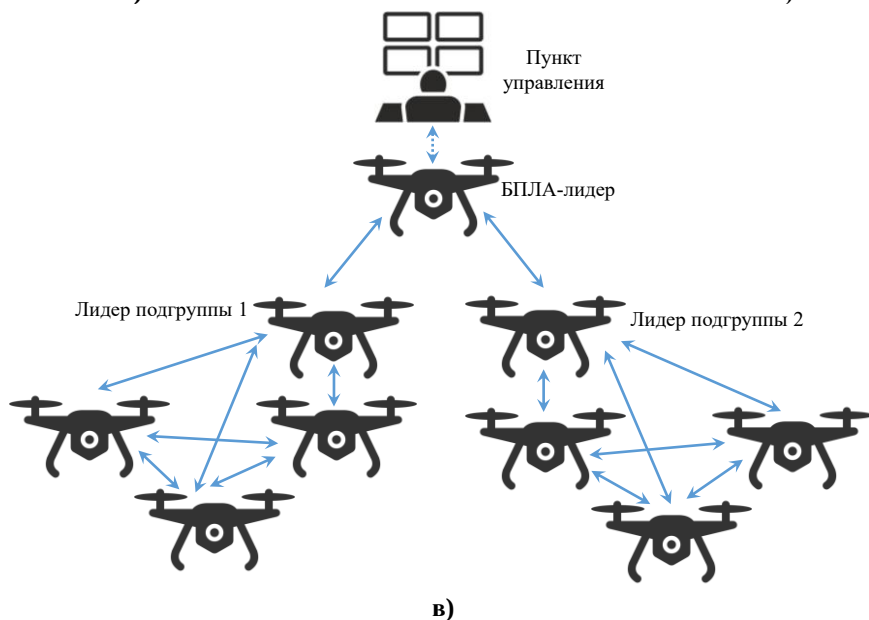


Группа БПЛА

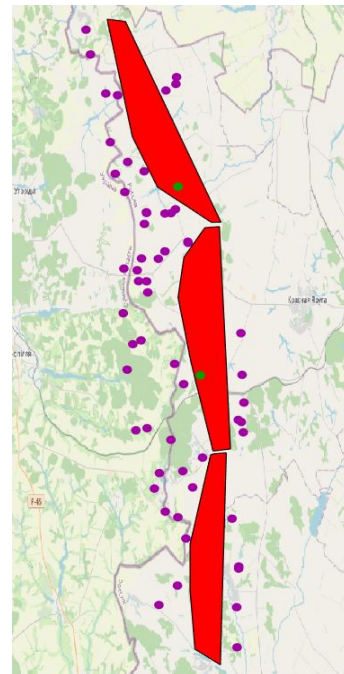
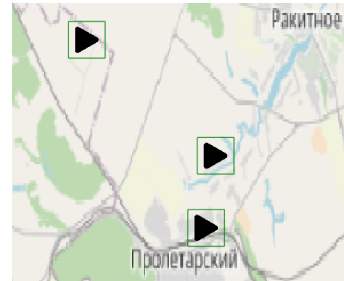


Принципы планирования маршрутов для парка летательных аппаратов:

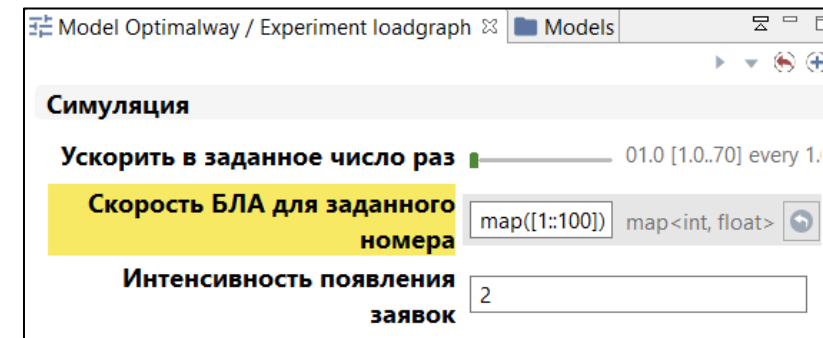
- минимизации затрат,
- максимизации охвата и прибыли,
- бесконфликтности в воздушном пространстве,
- контроля, быстродействия, робастности и безопасности работы алгоритмов составления расписания,
- точности доставки,
- резервирования средств доставки.



Моделирование БАТС



- Низкоуровневое проектирование, включая проектирование механизмов интеграции программных модулей
- Проектирование и разработка прототипа пилотного программного модуля оптимизации загрузки разнородных БЛА



```
public Population Selection(int selectionSize)
{
    Population parentPool = new Population(selectionSize);

    Random rnd = new Random(DateTime.Now.Millisecond);

    for (int i = 0; i < parentPool.Size; i++) // каждая итерация цикла - "турнир"
    {
        // случайно выбираем двух особей
        int ind1 = rnd.Next(parentPool.Size);
        int ind2 = rnd.Next(parentPool.Size);
        // добавляем в родительский пул более приспособленную
        if (individuals[ind1].Fitness > individuals[ind2].Fitness)
            parentPool.Add(individuals[ind1]);
        else
            parentPool.Add(individuals[ind2]);
    }
    return parentPool;
}
```

Летный эксперимент



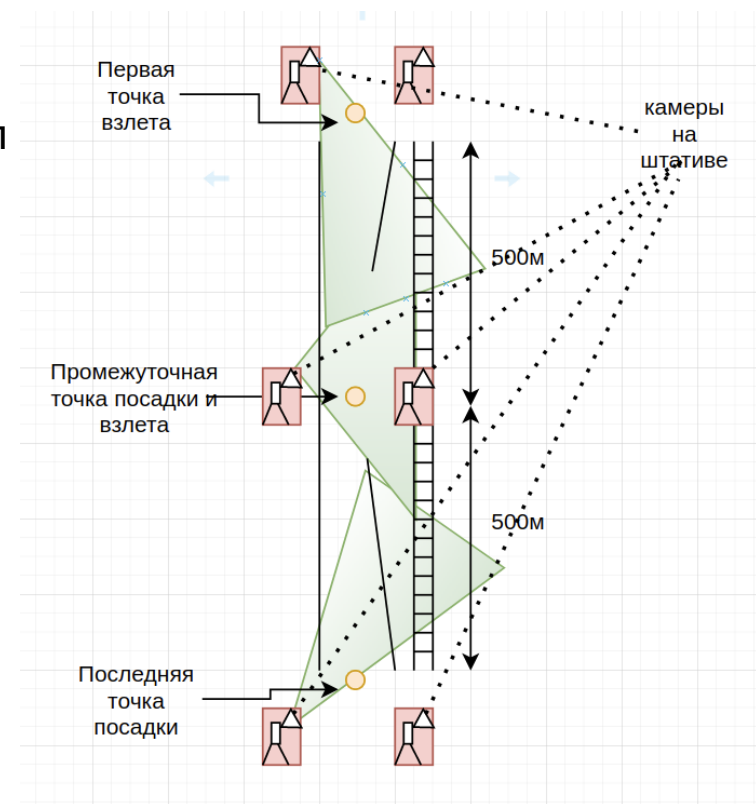
Место проведения: площадка стенда № 12311 ФКП «ГкНИПАС имени Л.К. Сафронова».

Лётный эксперимент **выполнялся** на дальность не более 1 км от точки взлета и на высотах до 25 метров.

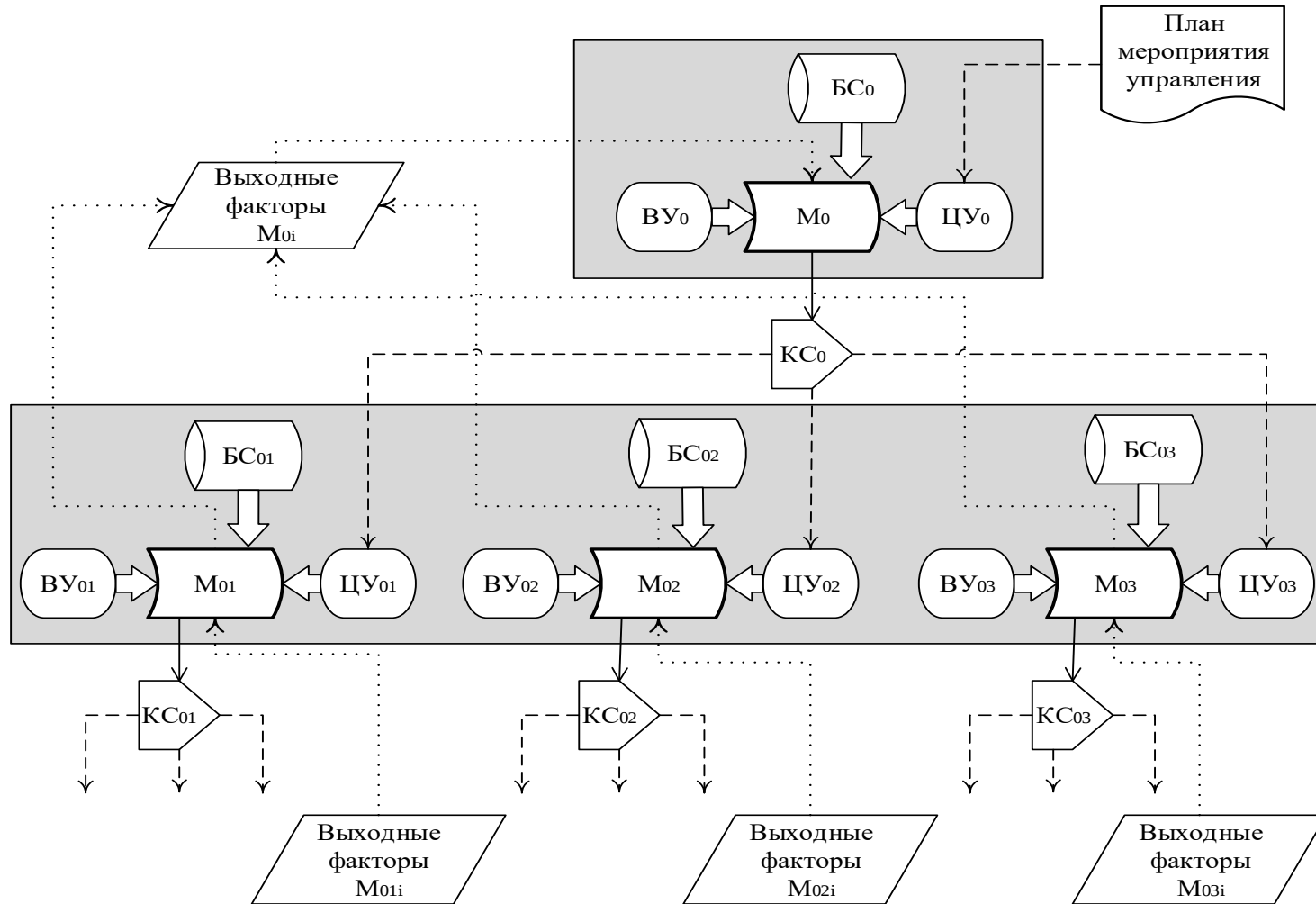
На отсчетных точках (1, 2 и 3) были развернуты 3 (три) мобильных диспетчерских командных пункта (МДКП), обеспечивающих визуальное и инструментальное наблюдение за полетами БВС участников. МДКП были оборудованы комплексом автоматического зависимого наблюдения радиовещательного типа. На точке 1 был дополнительно развернут главный командный пункт (ГКП).

В ходе совершения полетов использовалось три типа полезной нагрузки:

- штампованная металлическая коробка (упаковка) для перевозки 7,62-мм патронов («цинк»);
- ящик укупорочный (деревянный) для перевозки 7,62-мм патронов (индекс 57-Я-001, тип 7,62 ЛПС гж) («ящик»);
- комплект из 2 (двух) индивидуальных рационов питания военнослужащих Вооруженных сил Российской Федерации («питание»).



Сценарное управление БПЛА

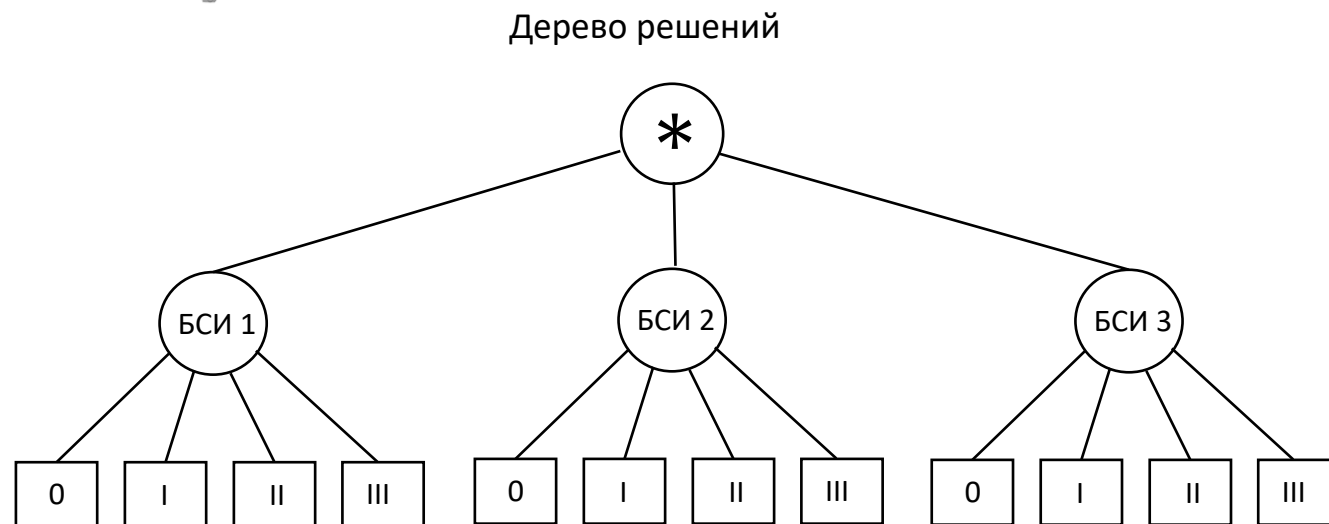
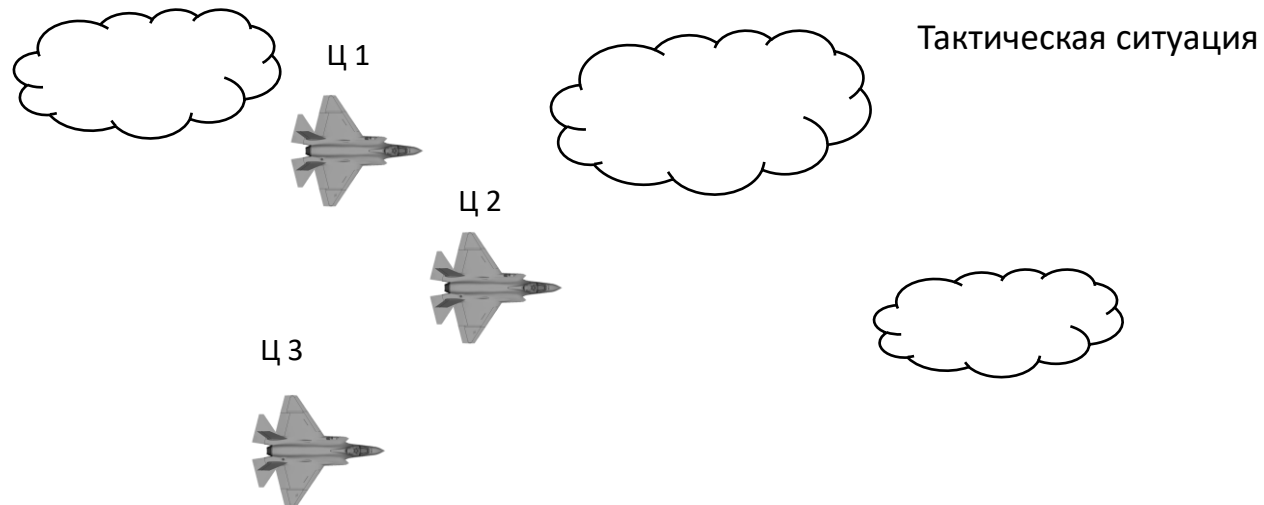


Процедура формирования
моделей децентрализованного
группового управления

- BC_{02} - базовая структура объекта управления
- BY_{01} - вызовы и угрозы
- CY_{01} - цель управления
- M_{01} - модель ситуации
- KC_{01} - координирующий сценарий

- $\rightarrow$ - прямая цепочка управления
- $\Rightarrow$ - формирование модели ситуации
- $- \rightarrow$ - формирование иерархии целей
- $\dots \rightarrow$ - включение факторов в модель верхнего уровня

Комбинаторика управленческих решений ЛПР



Варианты целераспределения

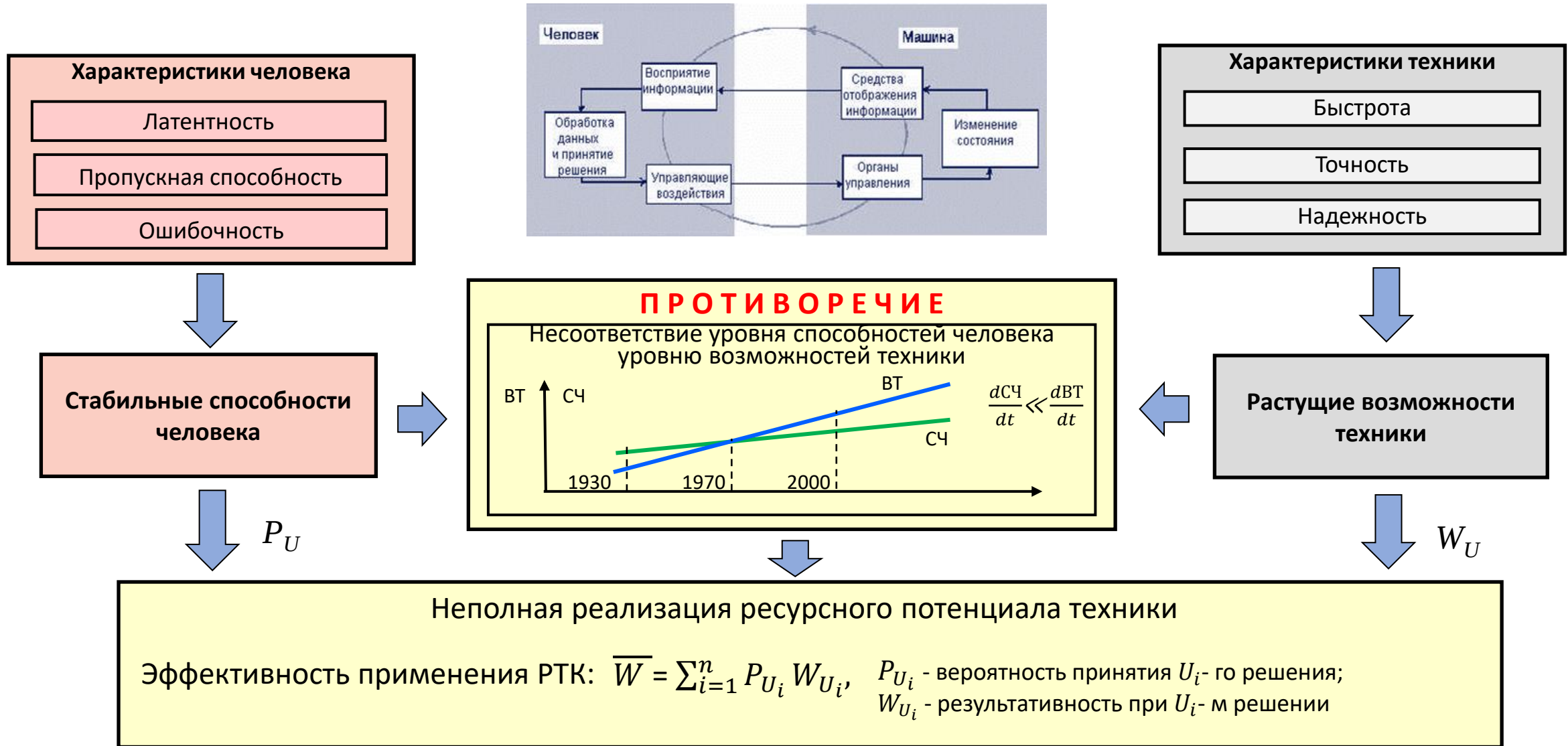
«БСИ 1 назначить на атаку:
< ни одной цели >,
< одной цели >,
< двух целей >,
< трех целей >»

«БСИ 2 назначить на атаку:
< ни одной цели >,
< одной цели >,
< двух целей >,
< трех целей >»

«БСИ 3 назначить на атаку:
< ни одной цели >,
< одной цели >,
< двух целей >,
< трех целей >»

Общее число возможных вариантов целераспределения $N_{цр} = 4^3 = 64$

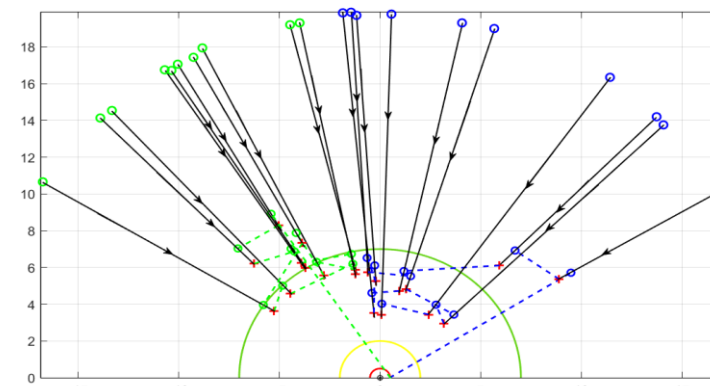
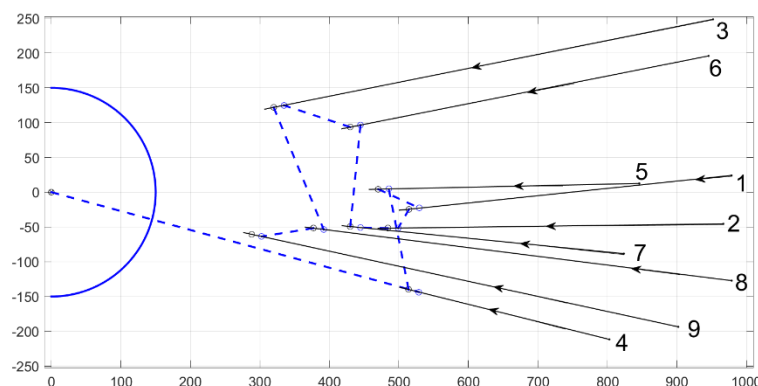
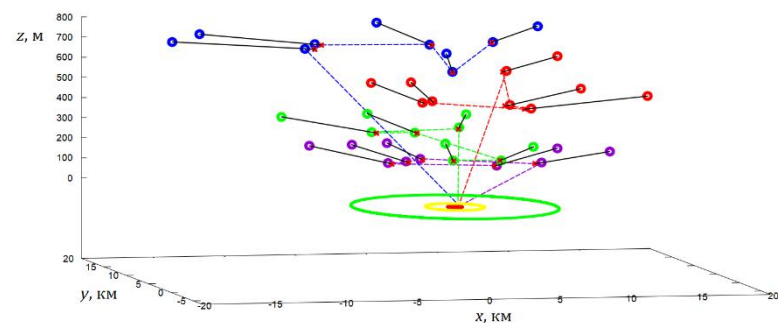
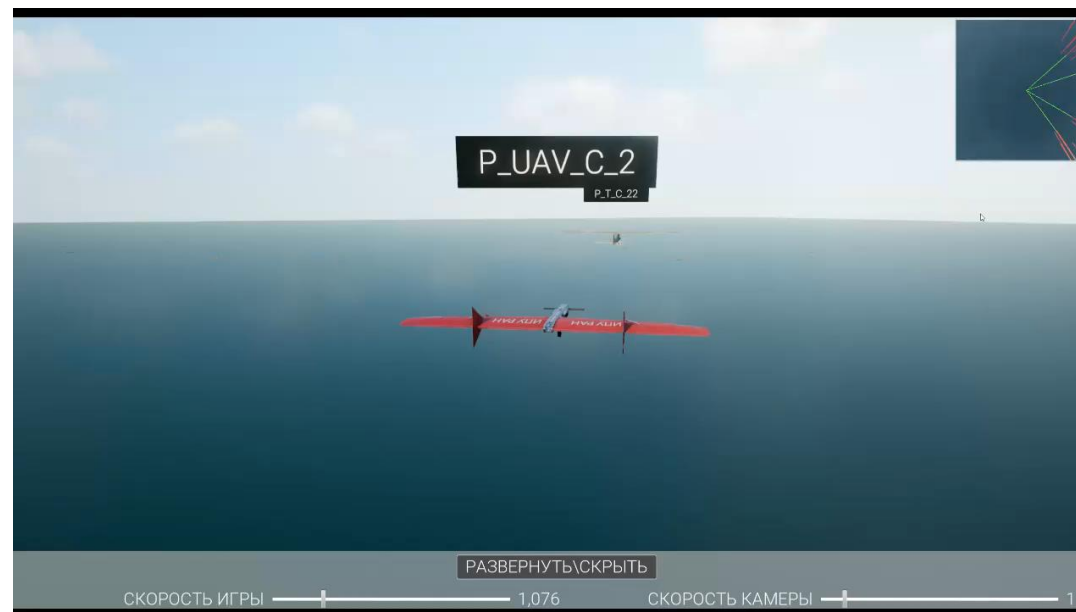
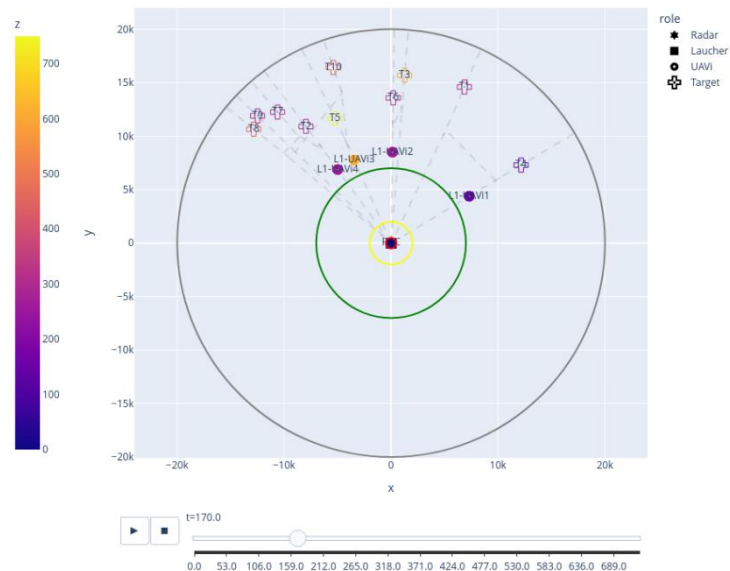
Система поддержки принятия решений



Отслеживание и перехват целей



Programm: R530v5, Scenario: red_zone_attack_4x10_90



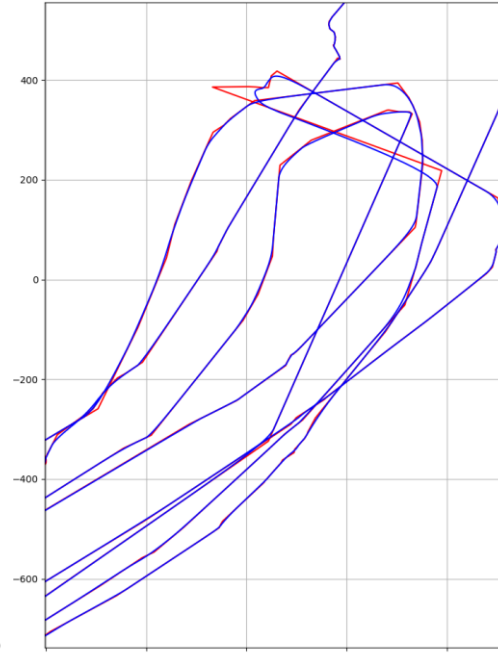
Локализация РТК/БПЛА



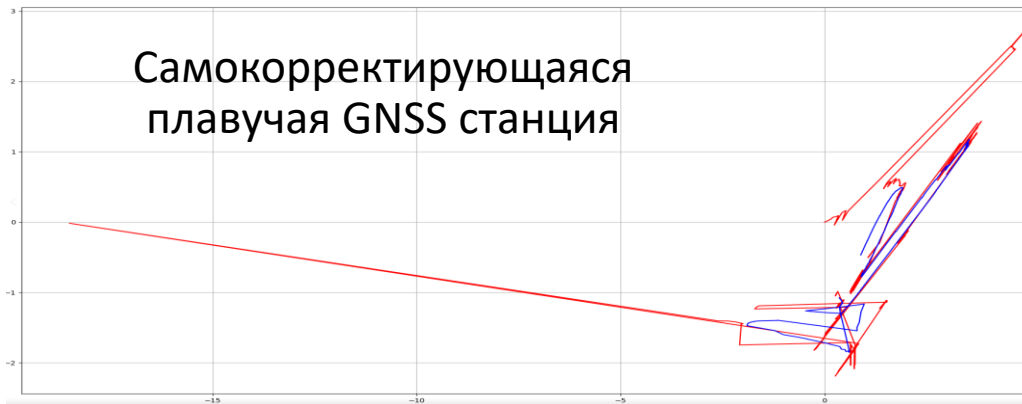
Колесно-Гусеничное ТС



Электроцикл



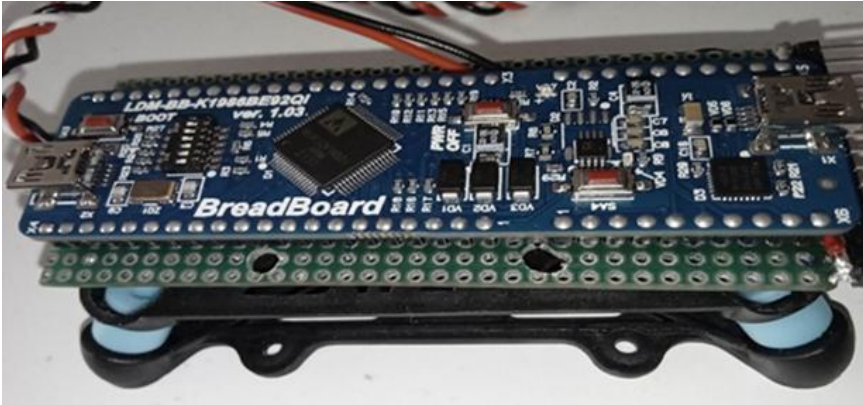
Самокорректирующаяся
плавучая GNSS станция



Высотная привязная платформа



Полетный контроллер (состав)



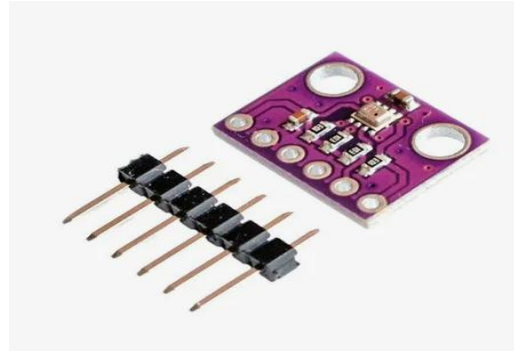
На борту полетного контроллера располагаются:

- акселерометр и гироскоп (MPU-6050, возможна замена на MPU-6500),
- барометр (BMP280, возможна замена на MS5611),
- магнитометр (HMC5883L).

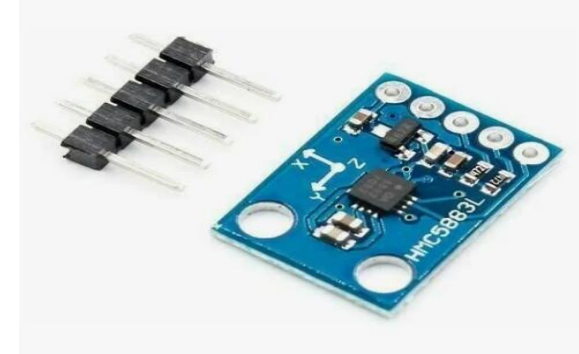
экспериментальный образец полетного контроллера на базе отечественной микросхемы MDR32F9Q2I (K1986BE92 RUS)



гироскоп MPU-6050



барометр BMP280



магнитометр HMC5883L

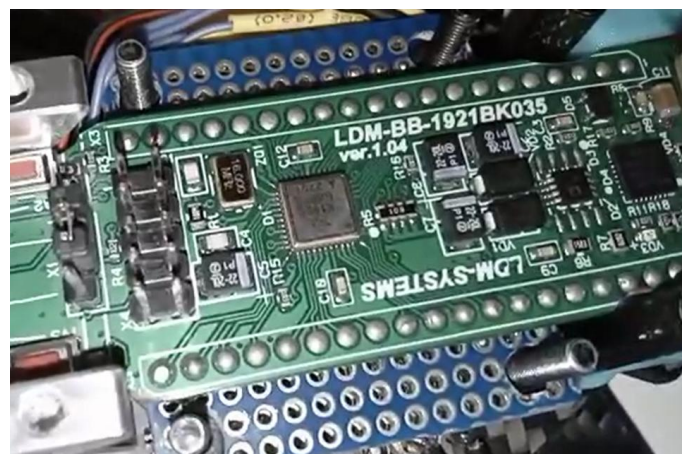
Полетный контроллер (аналоги)



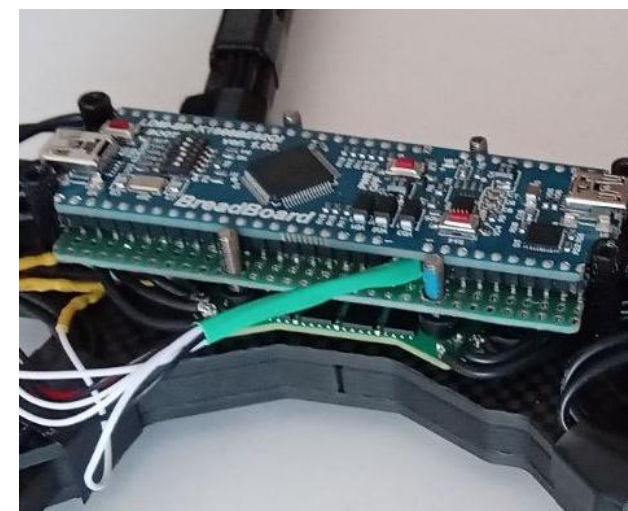
Чип	Ядро	Частота (МГц)	Flash-память (кБайт)	RAM (кБайт)	UART	CAN	I2C	Таймер.
STM32F103C8B (замещаемое)	ARM Cortex-M3	72	128	32	3	1	1	4
1986BE92	ARM Cortex-M3	80	128	32	2	1	1	3
1921BK035	ARM Cortex-M4F	100	64	16	2	1	1	4



NAZE 32

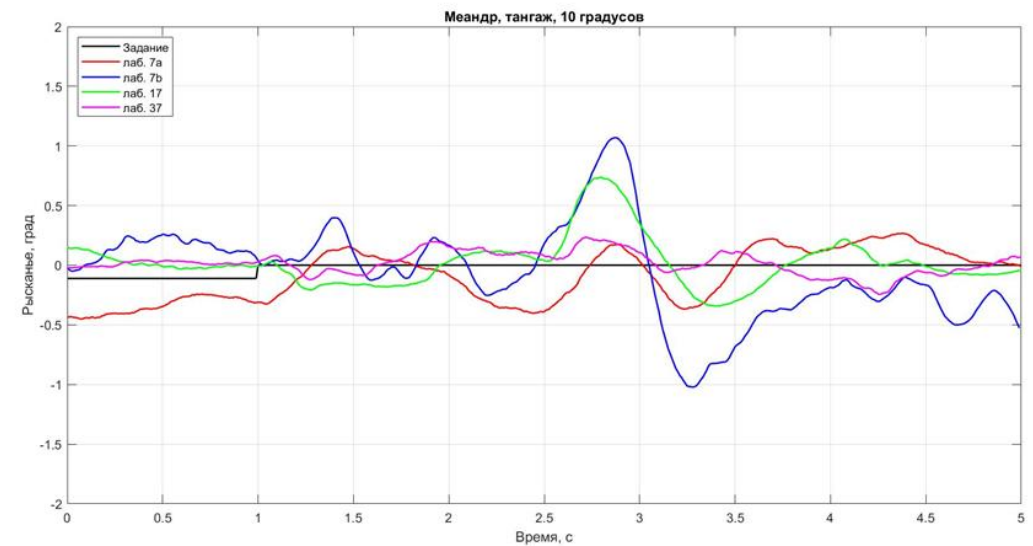
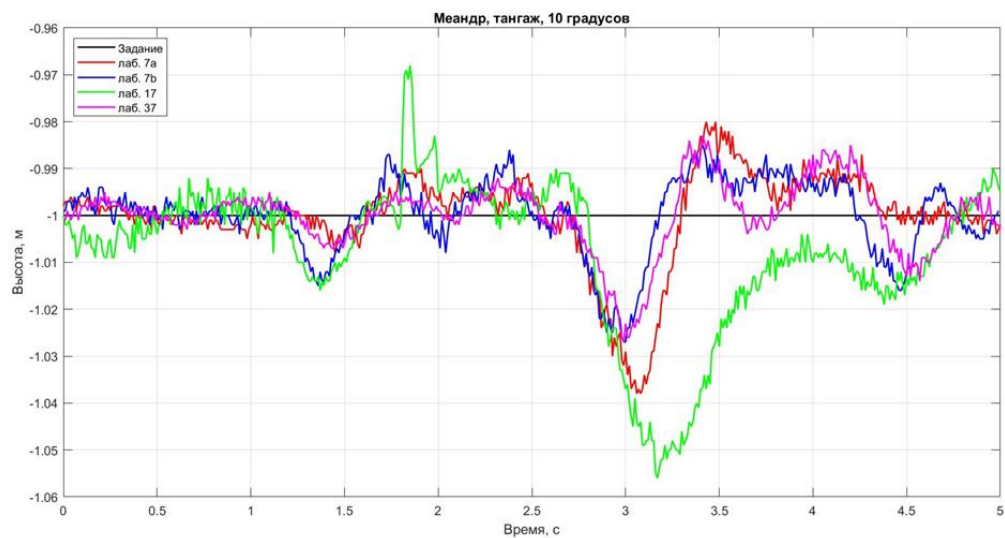
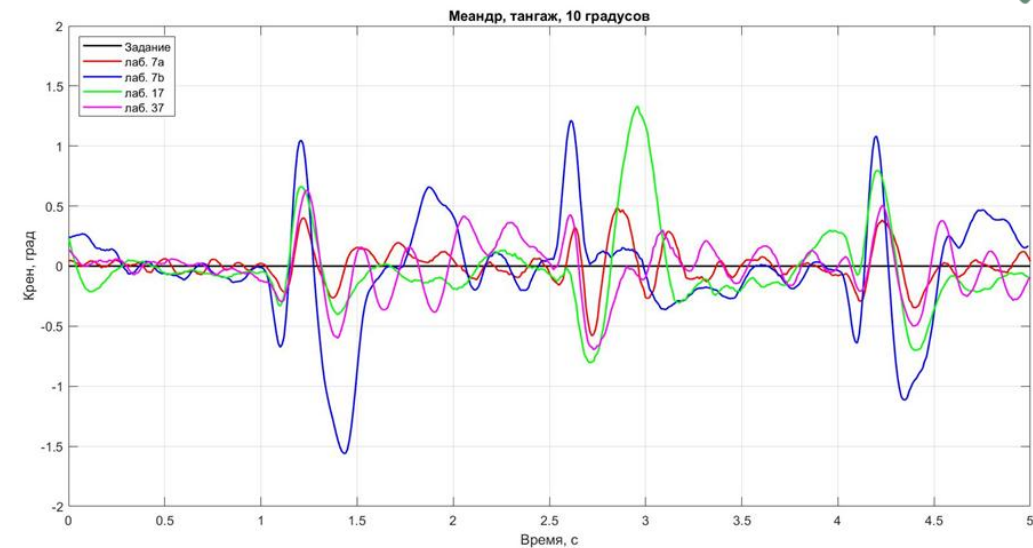
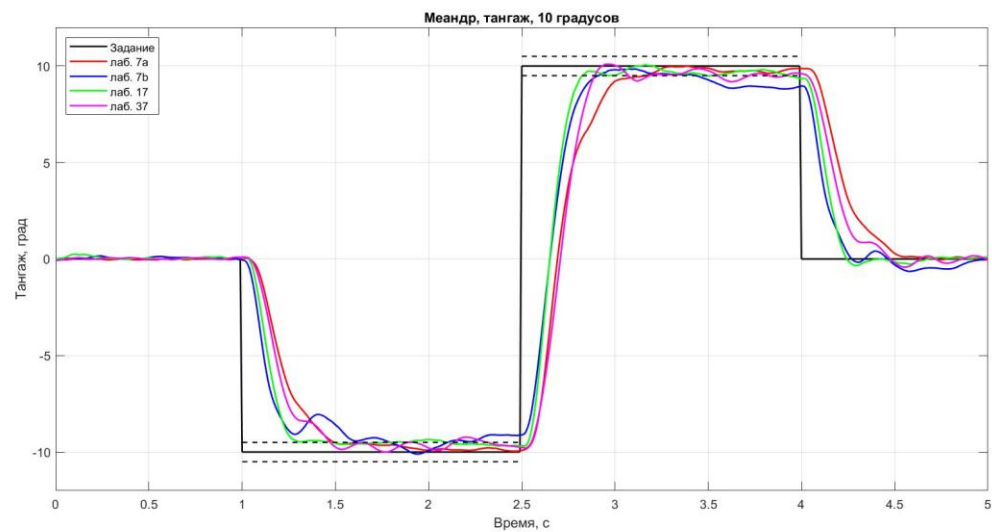


ПК K1921BK035



ПК K1986BE92

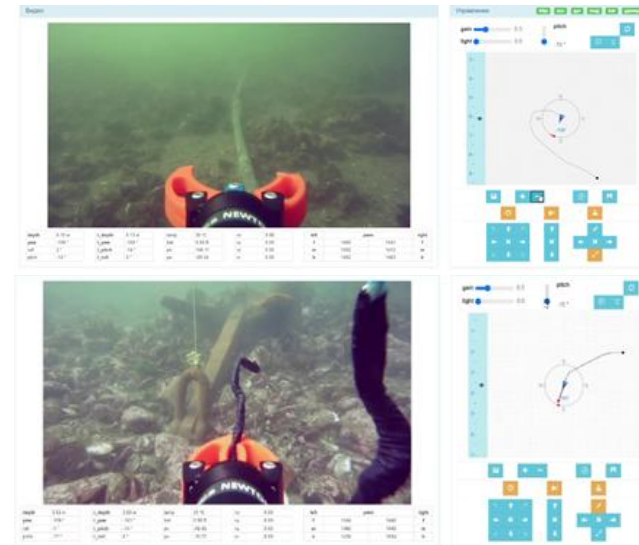
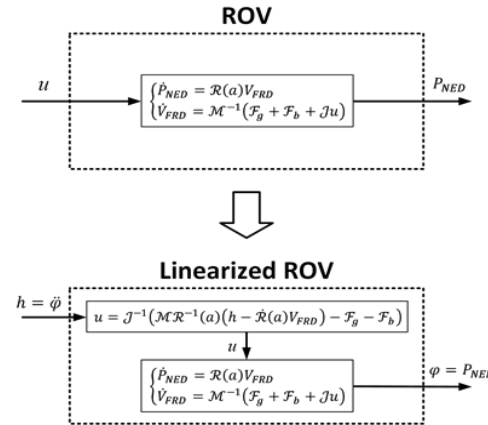
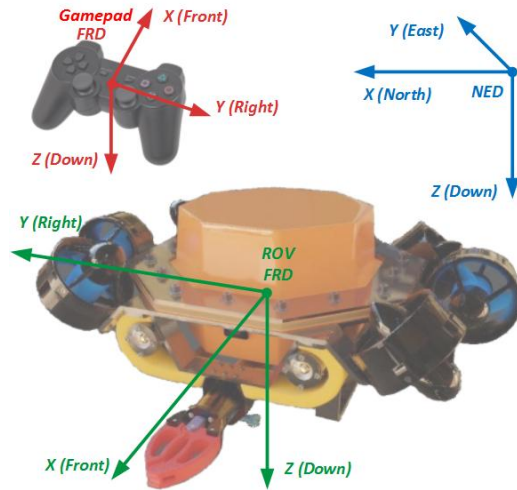
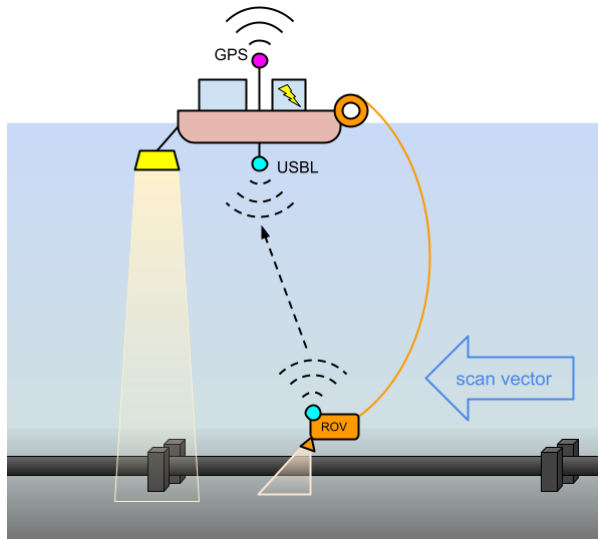
ПК Pitch 10 / Тангаж 10



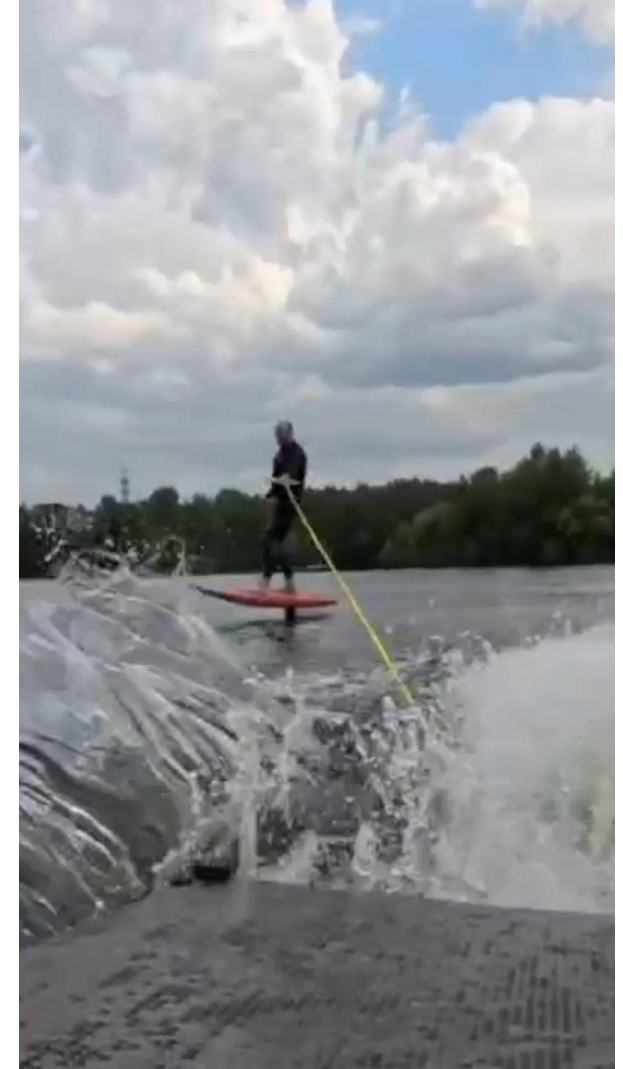
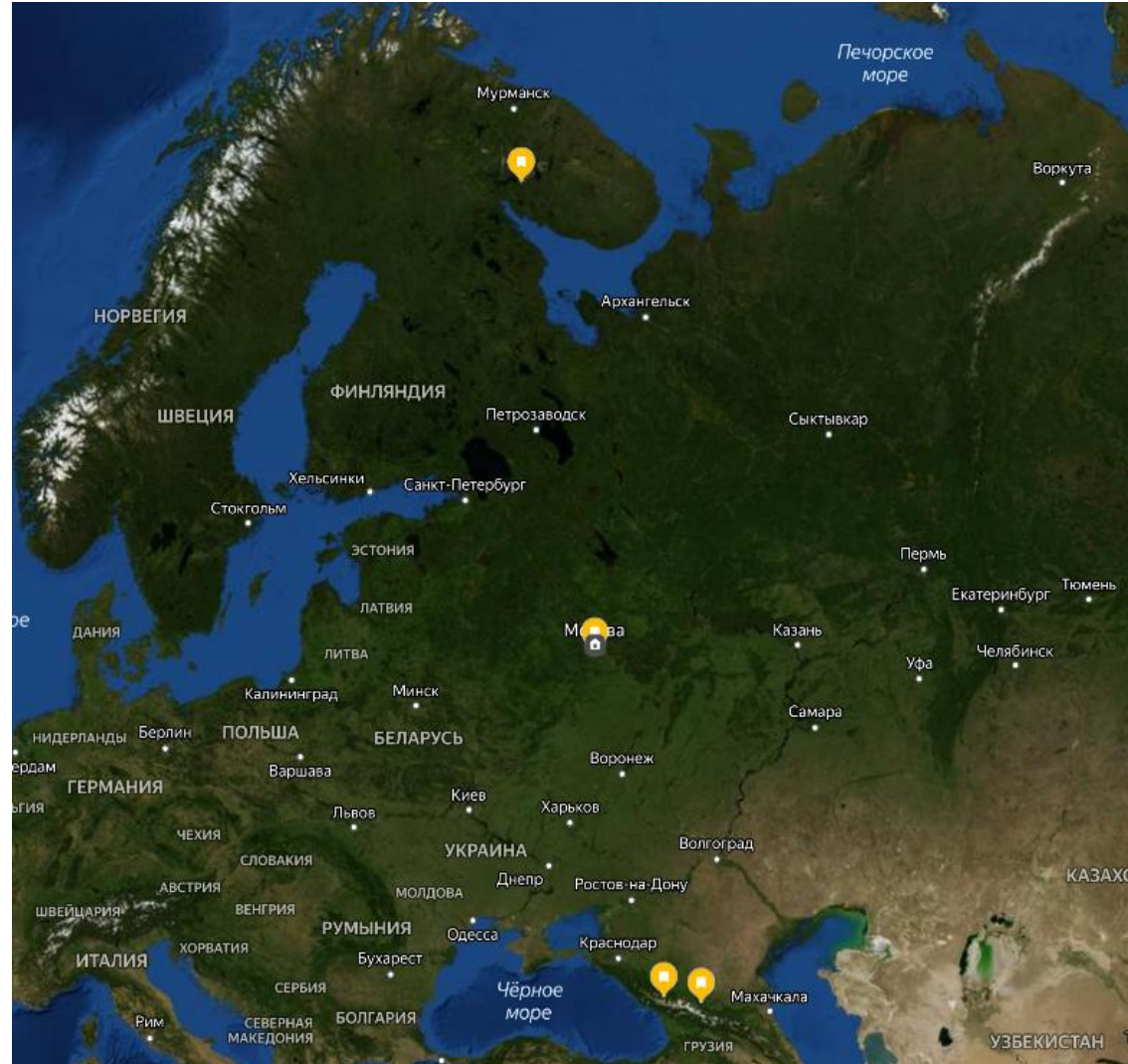
Подводный аппарат

Разработка всенаправленного мобильного подводного аппарата с возможностью удержания любой ориентации.

Система инерциального подруливания для повышения качества выполнения оператором подводных работ манипулятором и фото-видео инспекции объектов.



Полигоны и электротранспорт



Интерфейсы управления

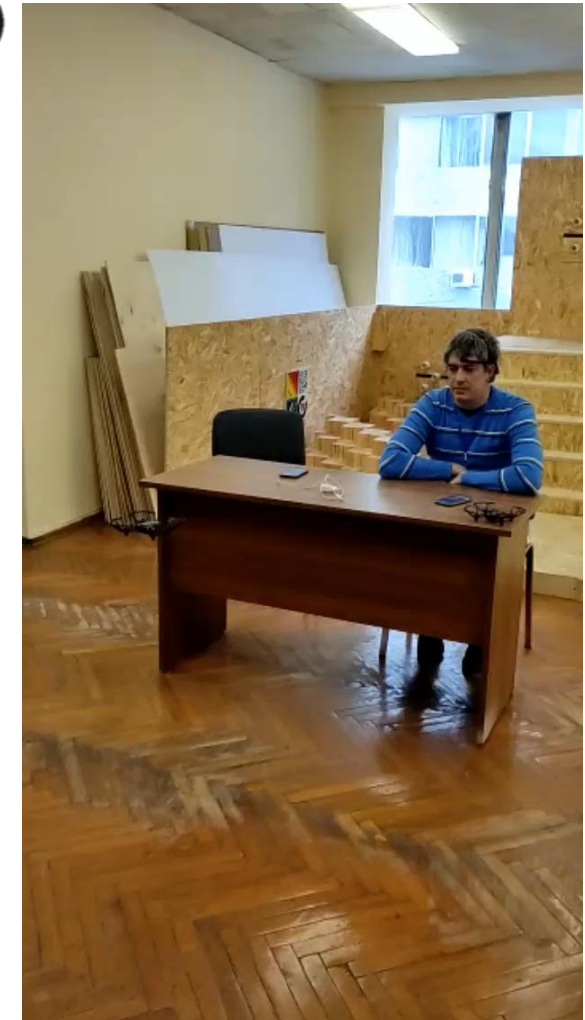
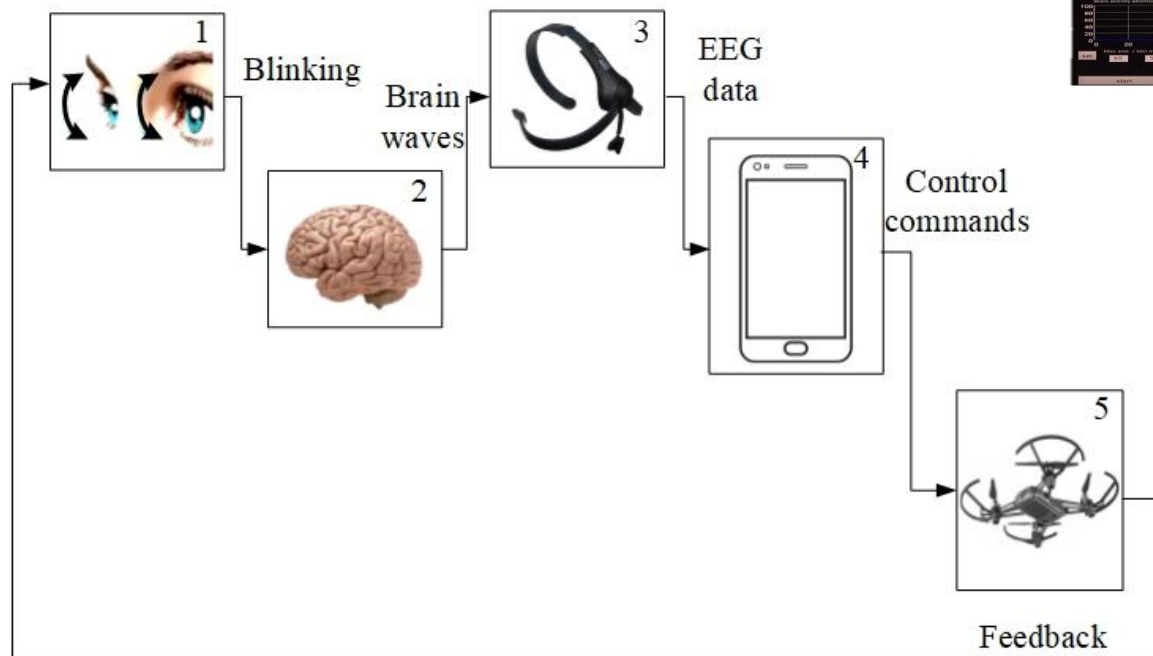


Для управления техническими средствами (роботами) с использованием биологических интерфейсов используются две базовых концепции:

- а) замещающее управление – замещение утраченных функций,
- б) дополнительное управление – получение новых каналов управления в дополнение к полному комплексу существующих.

Управление дроном
с помощью мышечной
активности:

Нейроуправление



Управление голосом/жестами

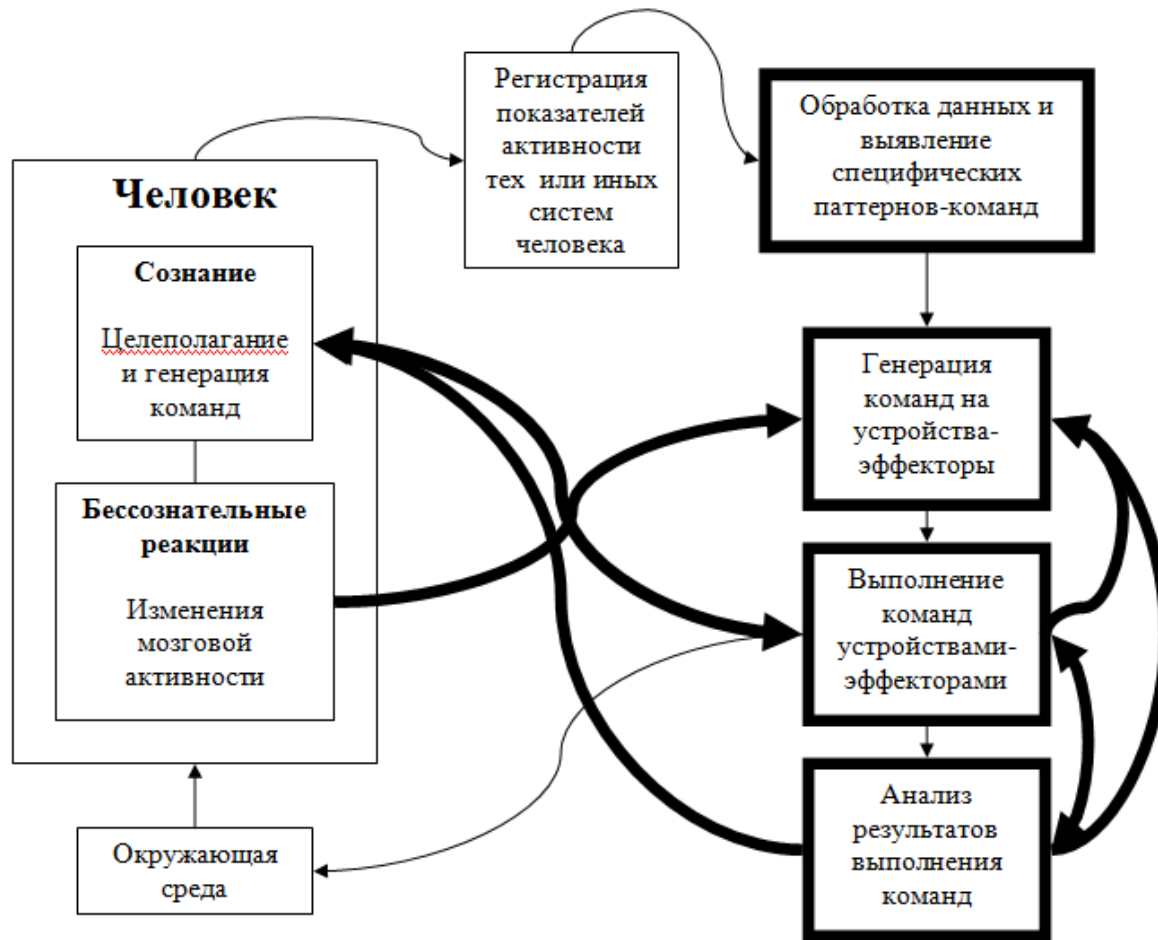


Лаборатория № 80



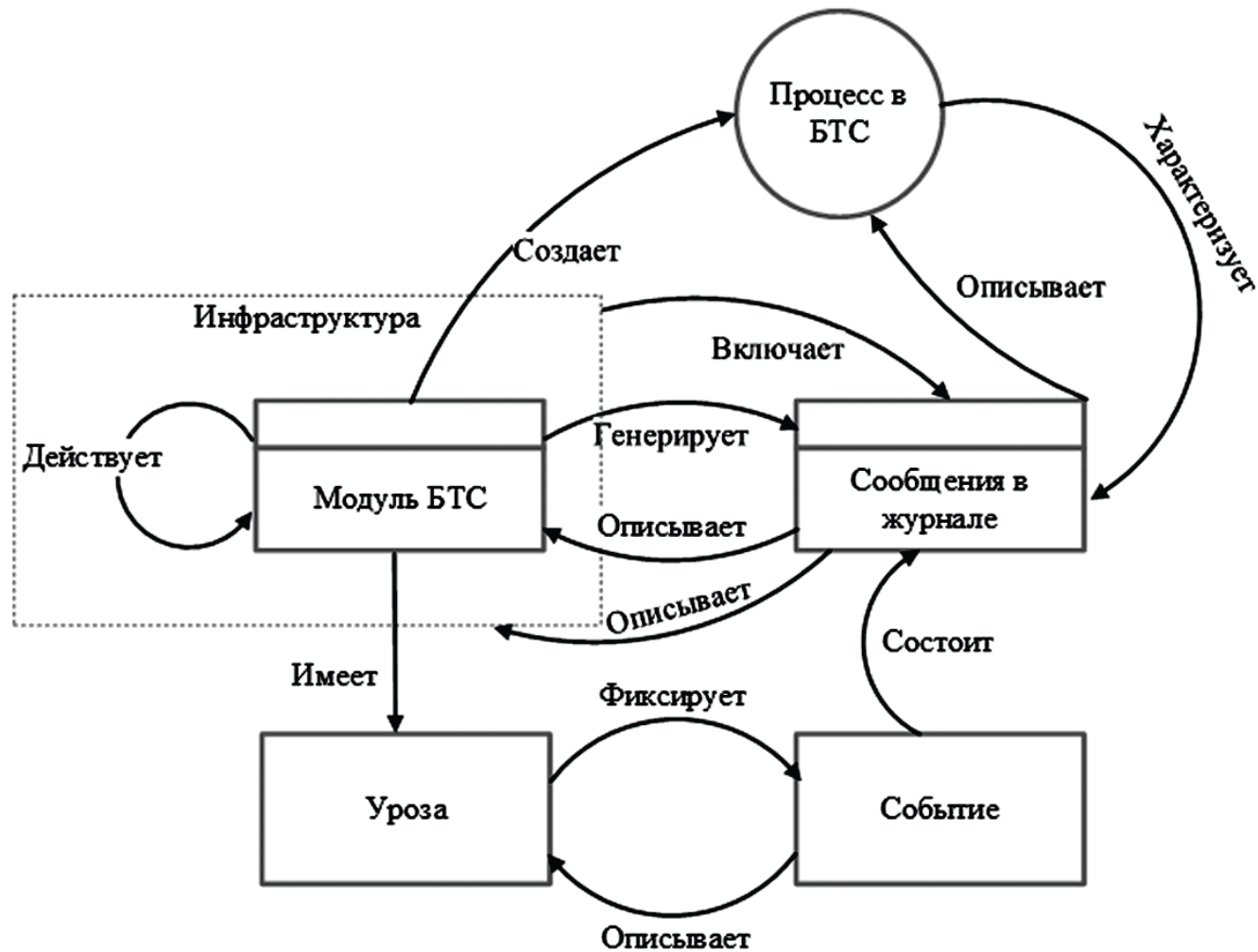
ЛАБОРАТОРИЯ МЕДИЦИНСКОЙ
КИБЕРНЕТИКИ

Искусственный и гибридный интеллект



- Моделирование и прогноз поведения оператора.
- Алгоритмы цифровой обработки биомедицинских сигналов.
- Алгоритмы классификации особенностей биомедицинских сигналов.
- Алгоритмы управления устройствами эффекторами, воспроизводящие особенности управления пользователя.

Доверенность ИИ в РТС

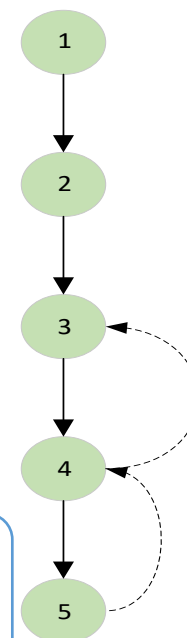
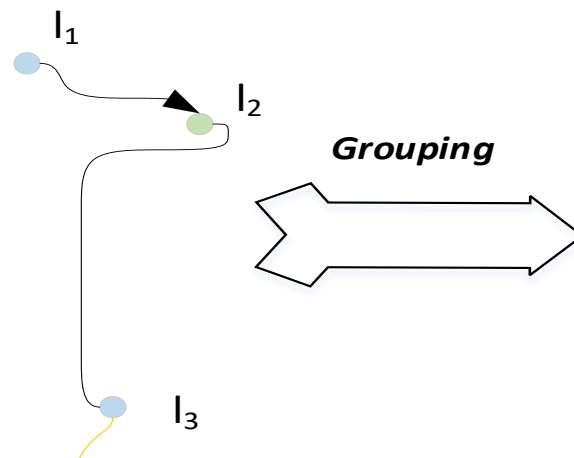
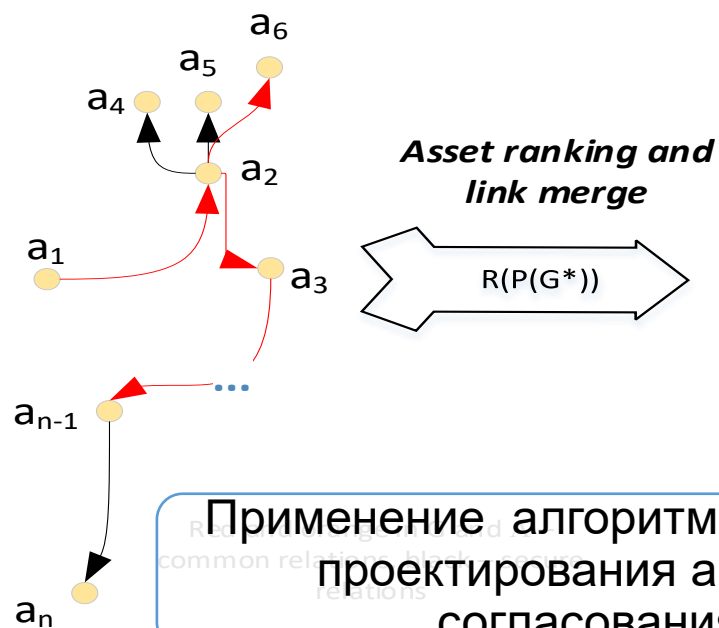


Доступность сервисов в РТС

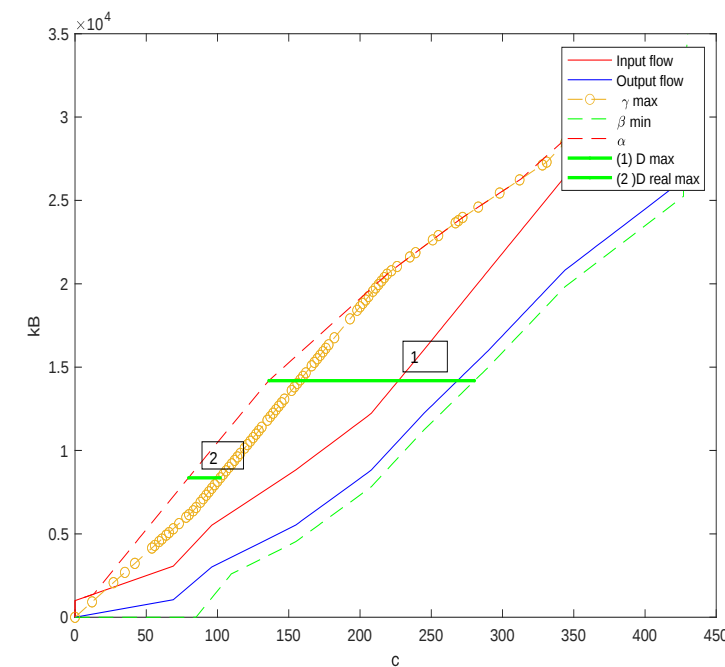


Информационная модель объекта $G^*(X, E)$

Модель безопасности $\Lambda(L, H)$



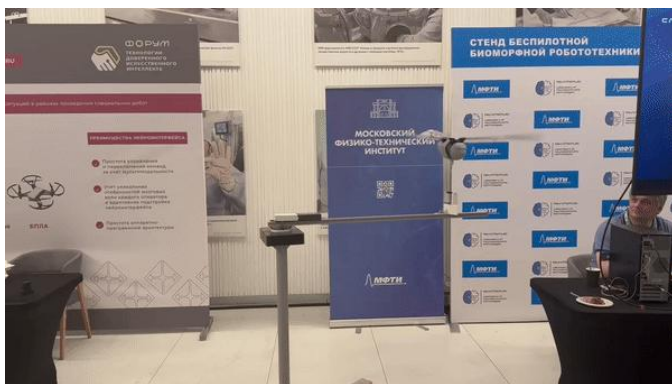
Применение алгоритмов ИИ для решения задачи проектирования архитектуры системы и согласования требований ИБ



Перспективные работы



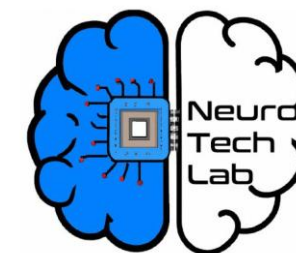
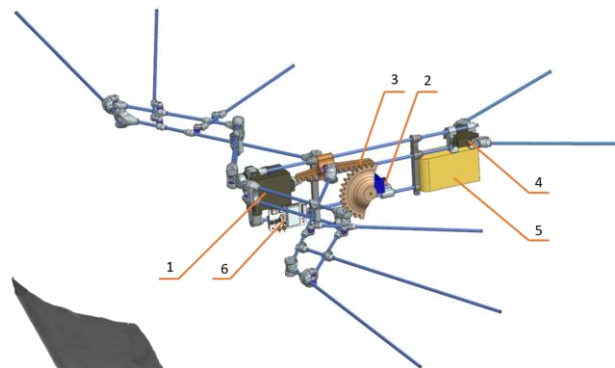
Макет робота-птицы на испытательном стенде



Измерение тяги тензометрическими датчиками проводится одновременно по двум осям – вертикальной и горизонтальной.

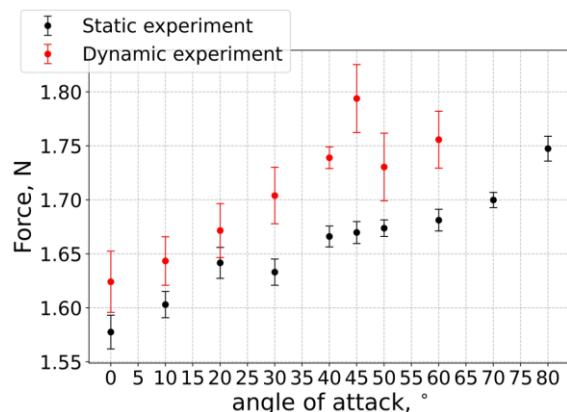


Макет робота-птицы с независимыми приводами на каждое крыло и изменяемой формой крыла

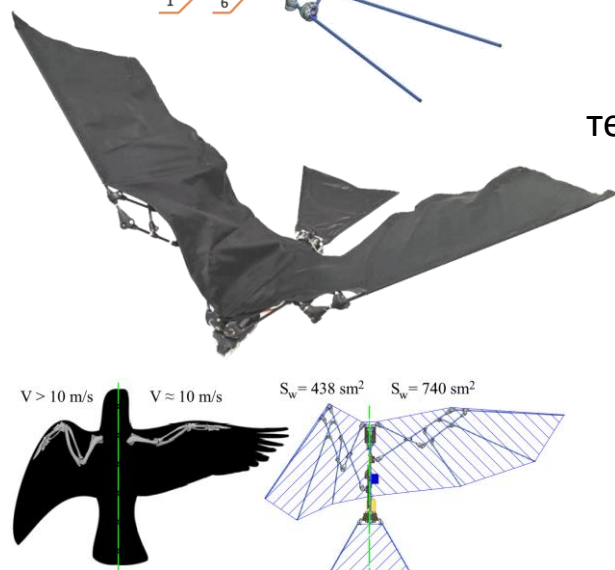


Лаборатория нейробиоморфных технологий МФТИ, г. Долгопрудный

Измерение подъемной силы крыла



Подъемная сила крыла имеет максимум при расположении корпуса птицы 45° к набегающим потокам воздуха



Разработан и изготовлен макет робота-птицы со складываемым крылом: площадь сокращается в 1.7 раза.

Текущие параметры:

- длина: 36,5 см,
- размах крыльев: 95,2 см,
- масса: 270 г
- АКБ: 900 мАч (Li-Po)

Заключение



- ▶ Научные проблемы:
 - вычислительные – методы и алгоритмы перемещения, навигации и локализации, распределение задач, функций и пр.;
 - механические – конструкция, материалы (прочность и пр.);
 - электронные – необходимость создания ЭКБ для доверенной реализации алгоритмов управления и полезной нагрузки на борту;
 - телекоммуникационные – связь, каналы, протоколы и пр.
- ▶ Технические решения:
 - использование эффективных вычислительных алгоритмов, в том числе технологий искусственного интеллекта как инструмент;
 - опережающее моделирование технологий и средств;
 - совершенствование конструкций и учет свойств различных сред;
 - применение существующей и перспективной ЭКБ.



Научно-технические проблемы и решения интеллектуальных робототехнических систем

Мещеряков Р.В.

д.т.н., профессор, профессор РАН

Директор центра интеллектуальных
робототехнических систем ИПУ РАН

15 мая 2025 г.