



**Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова**

---



Кафедра А-1 «Ракетостроение»

**Тема: «Обоснование характеристик  
зенитного ракетного комплекса для  
борьбы с беспилотными  
летательными аппаратами »**

г. Санкт-Петербург  
2021 г.

**Цель** – выбор и обоснование тактико-технических характеристики зенитно-ракетного комплекса для борьбы с беспилотными летательными аппаратами.

**Задачи:**

- Анализ имеющихся методов борьбы с БПЛА;
- Разработка математической модели взаимодействия ЗРК и БПЛА;
- Определение ТТХ ЗРК с помощью разработанной модели

**Объект исследования** – зенитно-ракетный комплекс.

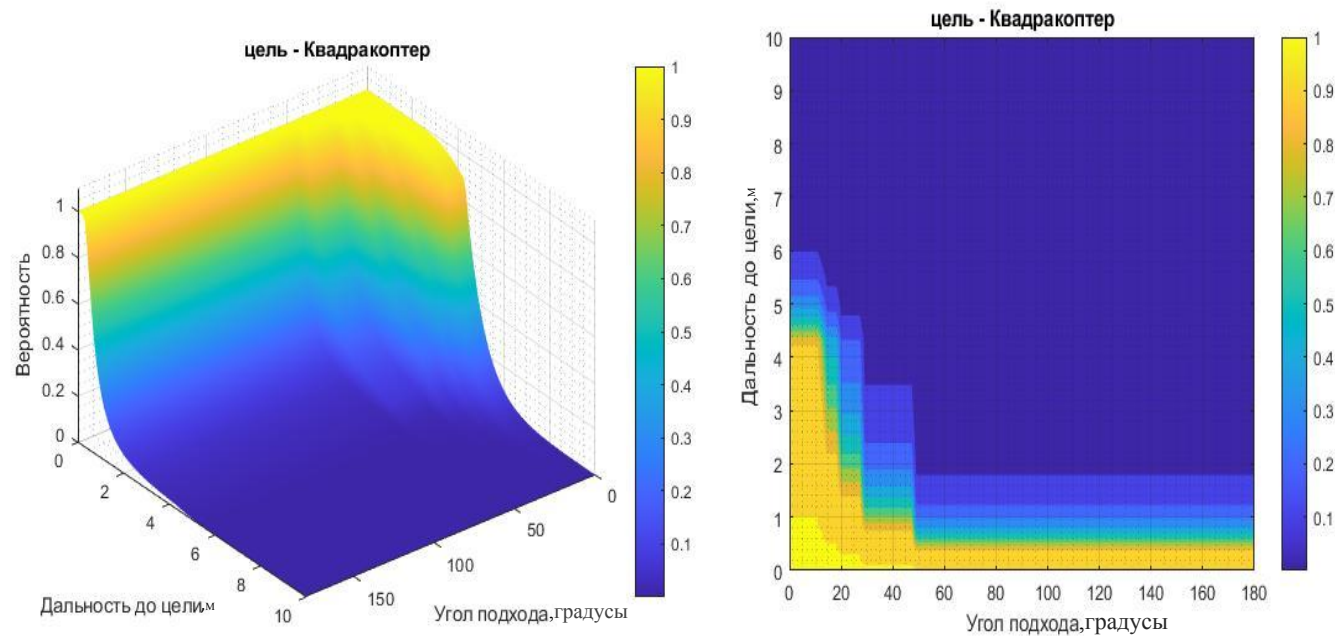
**Предмет исследования** – зенитная управляемая ракета для поражения малоразмерных и низколетящих целей.

К разрабатываемому средству предъявлены следующие *требования*:

- Дальность полёта более 5 км;
- Масса полезной нагрузки не более 0,5 кг;
- Диаметр ограничен 90 мм;
- Длина ограничена 3000 мм.

# Предварительно выбранные параметры

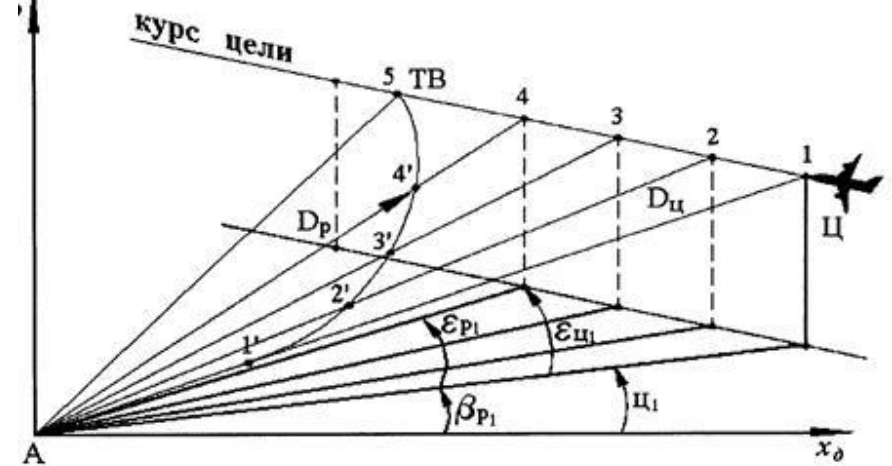
## Боевая часть - осколочная



*Зависимость вероятности поражения от расстояния до цели и углов подхода.*

*Слева – поверхность, справа – линии уровня.*

## Система управления - теленаведение



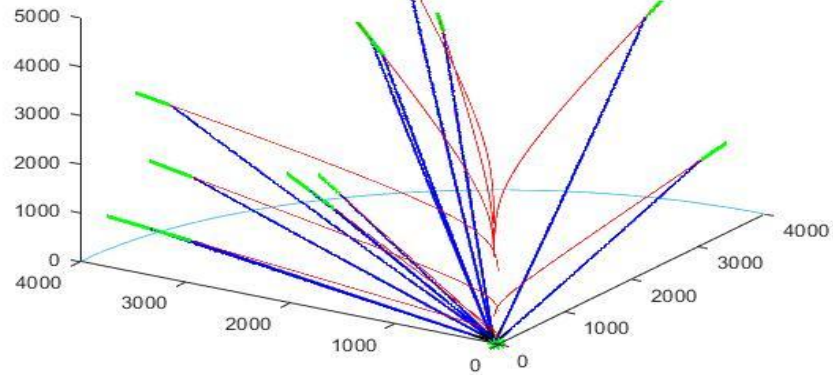
*Телеуправление – управление на расстоянии с помощью специальным образом закодированных сигналов управления.*

**Метод наведения – метод трёх точек.**

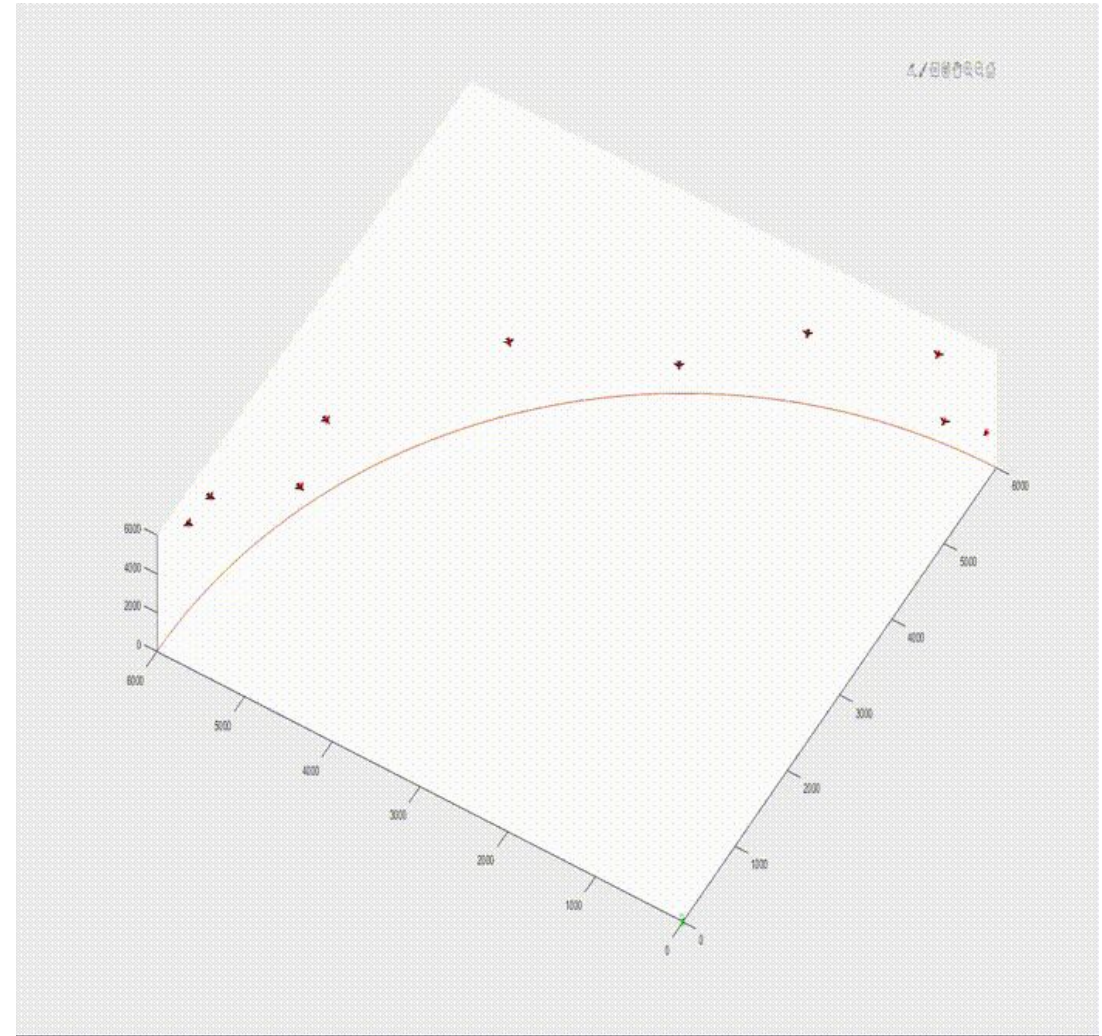
# Цель самолетного типа



Внешний вид БПЛА «Байрактар ТБ2»



Траектория полета цели самолетного типа

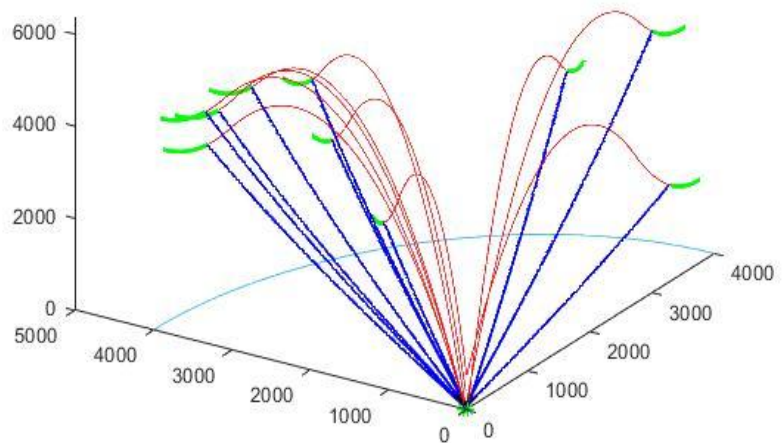


Моделирование полёта цели самолетного типа

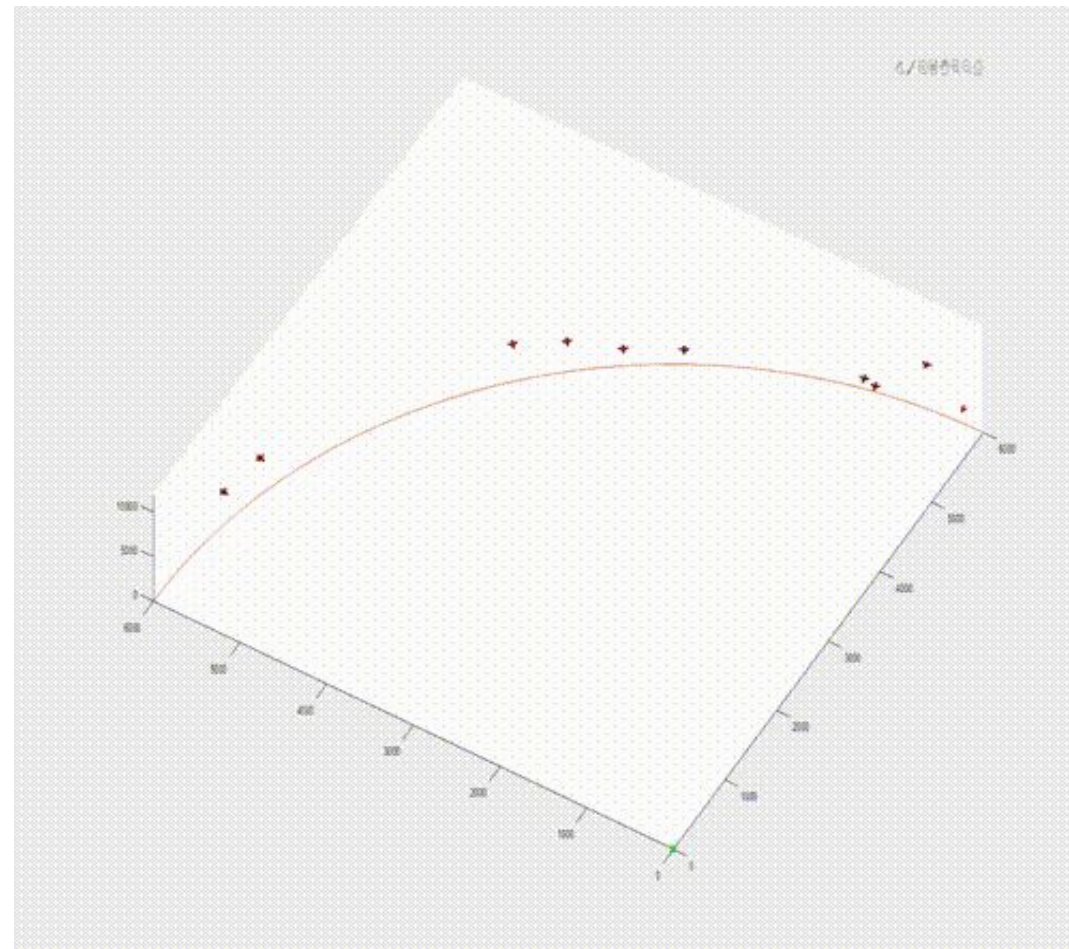
# Цель самолетного типа с бомбами



*Сброс бомб с кабрирования*



*Траектория полета цели самолетного типа с бомбами*

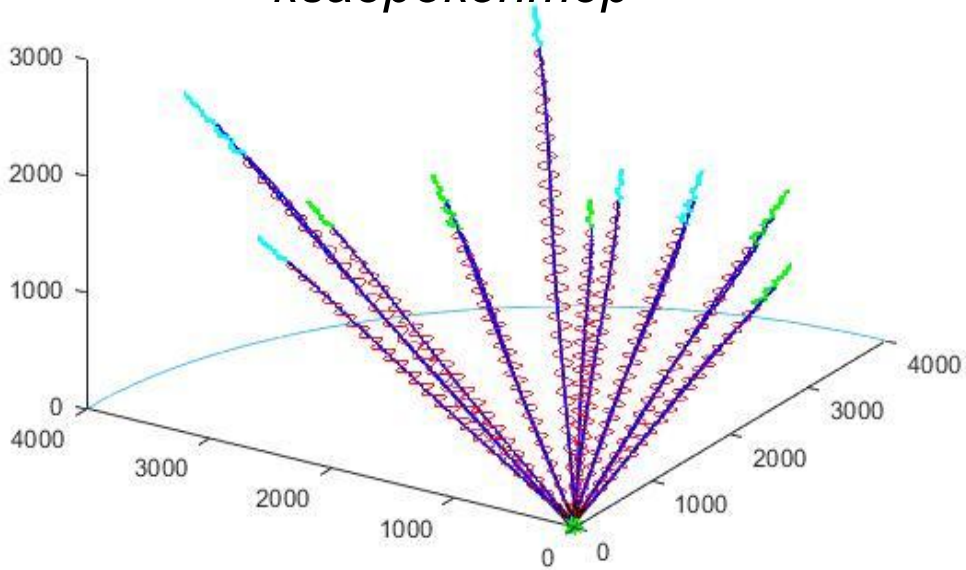


*Моделирование полёта цели самолётного типа с бомбами*

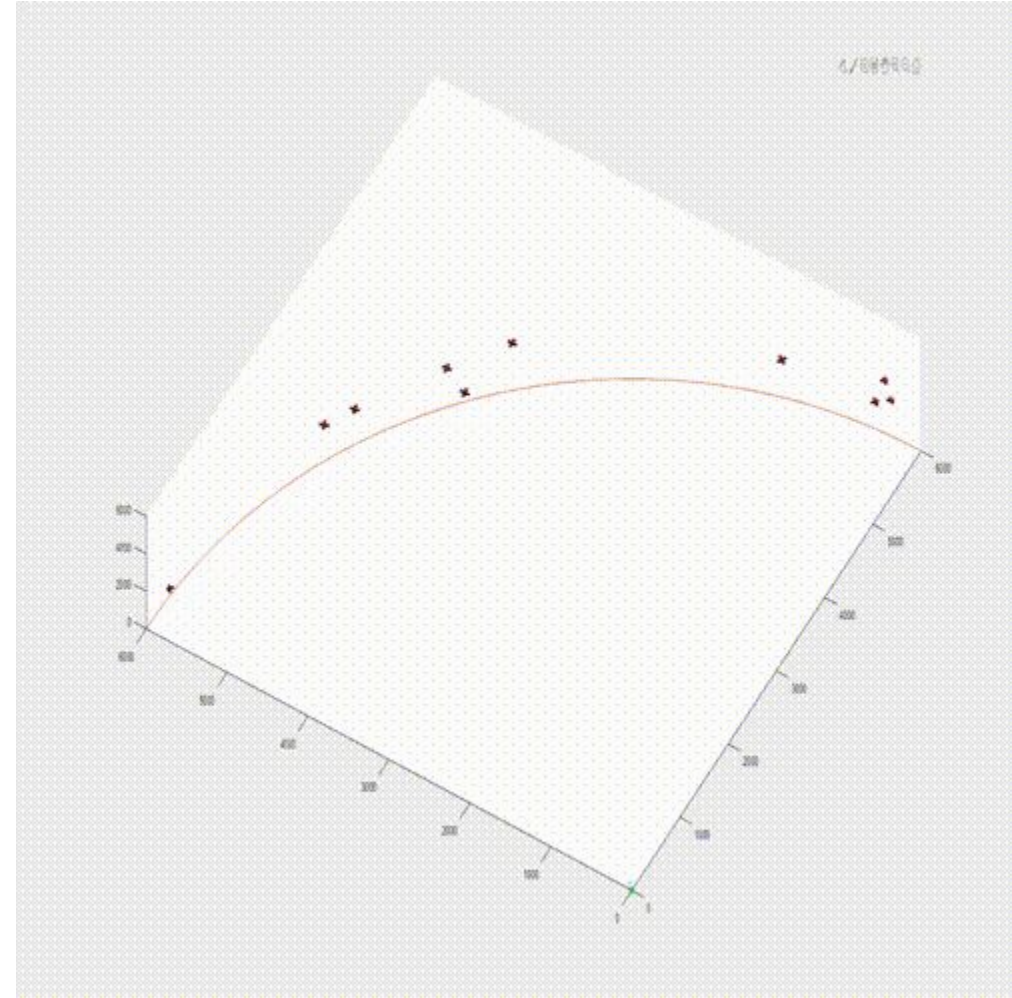
# Цель типа квадрокоптер



*Пример БПЛА типа квадрокоптер*

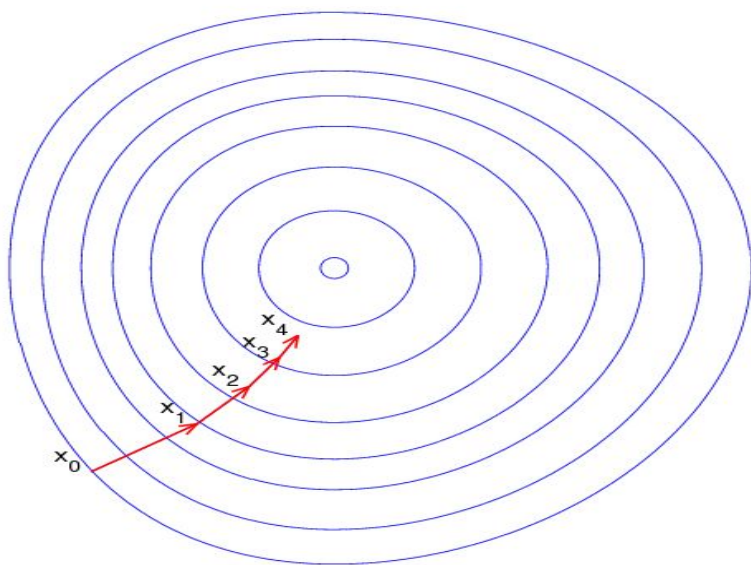


*Траектория полёта цели типа квадрокоптер*



*Моделирование полёта цели типа квадрокоптер*

# Проведение процесса исследования



Пример работы алгоритма

Метод оптимизации основан на методе градиентного спуска.

Метод делает несколько пробных шагов и движется в сторону наилучшего.

Тип БПЛА	Кол-во ПУ	Кол-во ракет в ПУ	Кол-во одновременно летящих ракет	Предельно допустимый наряд для поражения цели	Радиус обнаружения	Располагаемые перегрузки	Максимальная скорость ракеты	Время стартового участка	Время реакции
Самолётный с бомбами	3	12	10	5	6000	15,00	419,01	4,00	4,00
Самолётный	3	12	7	7	2000	21,38	300,00	4,00	4,00
Квадрокоптер	4	12	9	10	2000	16,88	300,00	8,73	6,36

Таблица полученных ТТХ

# Результаты работы

Тип цели	ТТХ, оптимизированные для поражения БПЛА		
	Самолётного типа	Самолётного типа с бомбами	Квадрокоптеров
Самолётный	0,9896	0,8700	0,9582
Самолётный с бомбами	0,5632	0,7542	0,4018
Квадрокоптер	0,8970	0,4594	0,9876
Среднее значение по всем целям	0,8166	0,6945	0,7825

*Таблица вероятностей, полученных в результате исследования*

Кол-во ПУ	Кол-во ракет в ПУ	Кол-во одновременно летящих ракет	Предельно допустимый наряд для поражения цели	Радиус обнаружения	Располагаемые перегрузки	Максимальная скорость ракеты	Время стартового участка	Время реакции
3	12	7	7	2000	21,38	300,00	4,00	4,00

*Таблица выбранных тактико-технических характеристик*



# Результаты проверки через ППП САПР ЗУР

- Ракета телеуправляемая, метод наведения трёх точек;
- Аэродинамическая схема- утка;
- Рулевой привод – электромашинный;
- Боевая часть- осколочная, масса 0,27 кг;
- Длина ракеты 2,97 м;
- Калибр 40 мм;
- Масса ракеты 18 кг;
- Наклонная дальность 6 км.

# Выводы по работе

В ходе работы были выполнены следующие задачи:

- Анализ имеющихся методов борьбы с БПЛА;
- Разработка математической модели боя ЗРК с БПЛА;
- Выбор и обоснование ТТХ ЗРК для борьбы с маломерными низколетящими БПЛА;
- Оценка стоимости исследования;
- Выработаны методы для обеспечения безопасности жизнедеятельности при проведении исследования.