

«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
Факультет управления и прикладной математики
Кафедра математического моделирования и прикладной математики

Автоматическое управление БПЛА

Подготовил: Терёхин Максим, 272 группа
Научный руководитель: к.ф.-м.н Ткачёв Степан Сергеевич

Цели и задачи

1. Построение математической модели управления БПЛА в окружающей среде. Построение алгоритмов движения и методов управления БПЛА в зависимости от получаемой им информации;
2. Исследование возможности применения методов математического моделирования для проведения испытаний алгоритмов различных режимов движения БПЛА
3. Разработка алгоритмов имитационного моделирования и проведение численных расчётов движения БПЛА, анализ полученных результатов, проверка адекватности результатов на реальных данных и путем сравнения с результатами других исследователей.

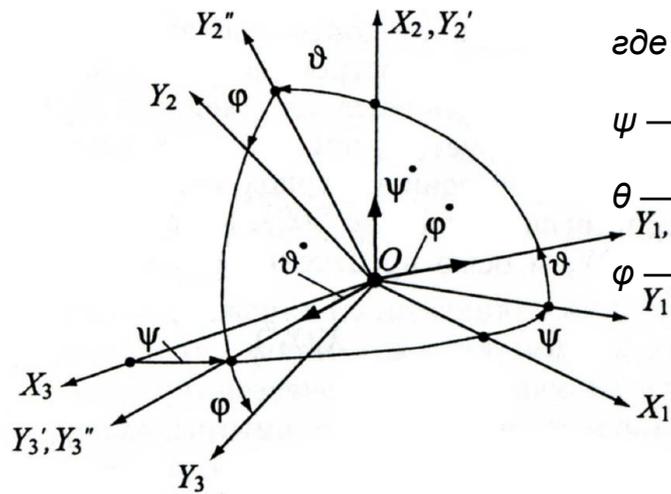
Актуальность поставленной задачи

Для решения актуальных задач (поиск и нахождение людей в аварийных ситуациях, работа в пересечённой местности, задач оборонно-разведывательного уклона и других) наиболее приемлемым типом БПЛА является квадрокоптер, который имеет устоявшиеся технические параметры не нуждающиеся в доработке. Однако, методы контроля и самоуправления БПЛА малоизучены и требуют доработки, поэтому данная тема является актуальной

Модель квадрокоптера

Принятые предположения

1. Конструкция считается абсолютно жесткой
2. Конструкция симметрична
3. Центр масс тела и центр системы связанной с телом совпадают
4. Пропеллеры являются абсолютно жесткими
5. Тяга пропеллеров пропорциональна квадрату их угловой скорости



где

ψ — угол курса,

θ — угол тангажа,

φ — угол крена.

Для каждой точки

системы отсчета:

$$r = \begin{pmatrix} r_X \\ r_Y \\ r_Z \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix},$$

где матрица A , характеризующая выбранные

нами углы Крылова, имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \gamma & -\cos \beta \sin \gamma & \sin \beta \\ \cos \alpha \sin \gamma + \cos \gamma \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \sin \beta \sin \gamma & -\cos \beta \sin \alpha \\ \sin \alpha \sin \gamma - \cos \alpha \cos \gamma \sin \beta & \cos \gamma \sin \alpha + \cos \alpha \sin \beta \sin \gamma & \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix}$$

Кинематические уравнения, связывающие

производные углов ориентации и проекции

угловой скорости на собственные оси

квадрокоптера.

$$\omega_1 = \dot{\alpha} \cos \beta \cos \gamma + \dot{\beta} \sin \gamma;$$

$$\omega_2 = \dot{\beta} \cos \gamma - \dot{\alpha} \sin \gamma \cos \beta;$$

$$\omega_3 = \dot{\gamma} + \dot{\alpha} \sin \beta.$$

Учёт различных сил и моментов

Учет массы:

$$\vec{F}_g = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix}.$$

Вклад каждого из 4 пропеллеров в общую силу, действующую на тело:

$$\vec{F}_p = \begin{pmatrix} \sin \beta \\ -\cos \beta \sin \alpha \\ \cos \alpha \cos \beta \end{pmatrix} U_1,$$

где $U_1 = d(\Omega_1^2 + \Omega_2^2 + \Omega_3^2 + \Omega_4^2)$.

Момент силы:

$$\vec{M}_p = \begin{pmatrix} U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix},$$

где $U_2 = b(-\Omega_2^2 + \Omega_4^2)$,

$U_3 = b(\Omega_1^2 - \Omega_3^2)$,

$U_4 = b(-\Omega_2^2 + \Omega_2^2 - \Omega_3^2 + \Omega_4^2)$.

Итоговая система уравнений

$$(J_2 - J_3) \cos \beta \sin \beta \sin \gamma \dot{\alpha}^2 + \\ + \dot{\alpha}(- (J_1 + J_2 + J_3) \cos \gamma \sin \beta \dot{\beta} - (J_1 - J_2 + J_3) \cos \beta \sin \gamma \dot{\gamma}) + \\ + \cos \gamma((J_1 - J_2 + J_3) \dot{\beta} \dot{\gamma} + J_1 \cos \beta \ddot{\alpha}) + J_1 \sin \gamma \ddot{\gamma} = U_2$$

$$(-J_1 + J_3) \cos^2 \beta \cos \gamma \sin \gamma \dot{\alpha}^2 + \cos \beta (J_2 + (J_1 - J_3) \cos 2\gamma) \dot{\alpha} \dot{\beta} + \\ + (J_1 - J_3) \cos \gamma \sin \gamma \dot{\beta}^2 + J_2 (\sin \beta \ddot{\alpha} + \ddot{\gamma}) = U_3$$

$$(-J_1 + J_2) \cos \beta \cos \gamma \sin \beta \dot{\alpha}^2 + \dot{\alpha}(-J_1 + J_2 + J_3) \sin \beta \sin \gamma \dot{\beta} + \\ + \sin \gamma(- (J_1 - J_2 + J_3) \dot{\beta} \dot{\gamma} - J_3 \cos \beta \ddot{\alpha}) + J_3 \cos \gamma \ddot{\beta} = U_4.$$

$$m\ddot{x} = \sin \beta U_1$$

$$m\ddot{y} = -\cos \beta \sin \alpha U_1$$

$$m\ddot{z} = -mg + \cos \alpha \cos \beta U_1,$$

Управление квадрокоптером

Идея управления стоит в движении квадрокоптера с минимальными отклонениями от заданной траектории, с помощью изменения скорости вращения пропеллеров.

Для реализации идеи необходимо решить задачи:

1. Стабилизации квадрокоптера в заданной точке
2. Полёта с постоянной скоростью и минимальными отклонениями до заданной точки.
3. Обхождения препятствий

Для обхождения препятствий был использован метод векторного поля:

Построении векторного поля, которое в каждой точке пространства будет указывать направление, в котором должно двигаться тело для успешного обхождения препятствий. строится на основании известного ландшафта:

- Каждому препятствию сопоставляется определенная отталкивающая сила.
- Точке назначения сопоставляется притягивающая сила.
- Общая сила является суперпозицией этих сил.

Конкретная форма этих сил варьируется для каждой задачи.

Обход препятствий

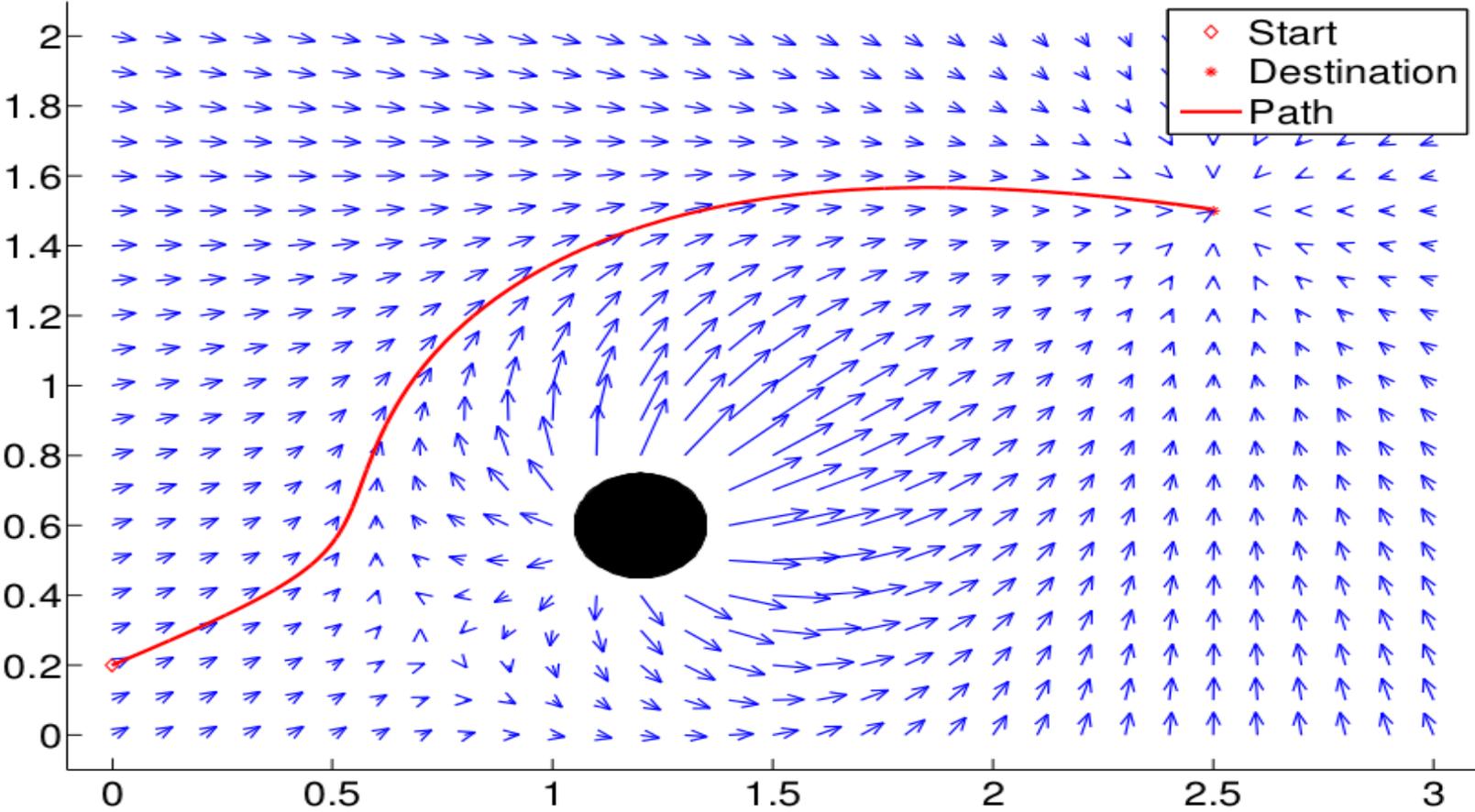


Рис. Модель векторного поля

Обход препятствий

Использована пространственная сетка с бинарным индикатором наличия или отсутствия в ней препятствия.

Указана точка финиша.

Введено экспоненциально затухающее поле для препятствий.

Мнимая сила:

$$F_T = \sum_{i,j,k} o_{i,j,k} f e_{i,j,k} \exp\left(-\frac{|r - r_{i,j,k}|}{l}\right),$$

Сила отвечающая движению к финишу постоянна и направлена к нему.

$$F_a = f' e_{i,j,k},$$

Обход препятствий

Поскольку силы потенциальны, задача эквивалентна нахождению экстремума некоторого функционала.

Потенциал создаваемый препятствием

$$U_{\vec{r}_0} = fl \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{|\vec{r} - \vec{r}_0|} \exp\left(-\frac{|\vec{r} - \vec{r}_0|}{l}\right),$$

Полный минимизируемый функционал:

$$W = \int \left(\frac{1}{2} \dot{x}^T \Lambda(x) \dot{x} - U(x) \right) dt = \int w dt,$$

где U -полный потенциал всех препятствий

Полученные уравнения движения

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{d}{dt} \frac{\partial w}{\partial \dot{x}}.$$

Обход препятствий

Метод потенциалов для решения задач построения траекторий для модели типа квадрокоптер ранее не применялся.

Численное моделирование

Для изучения эффективности построенной модели были проведены несколько симуляций при различных начальных данных:

- наборах стартовых и финишных точек,
- наборах различных препятствий,
- наборах различных шумов и ударов по БПЛА.

**Показаны далее: стартовая и финальная точки: $[0,0,0]$ и $[50,50,50]$
Время каждой симуляции: 50 сек**

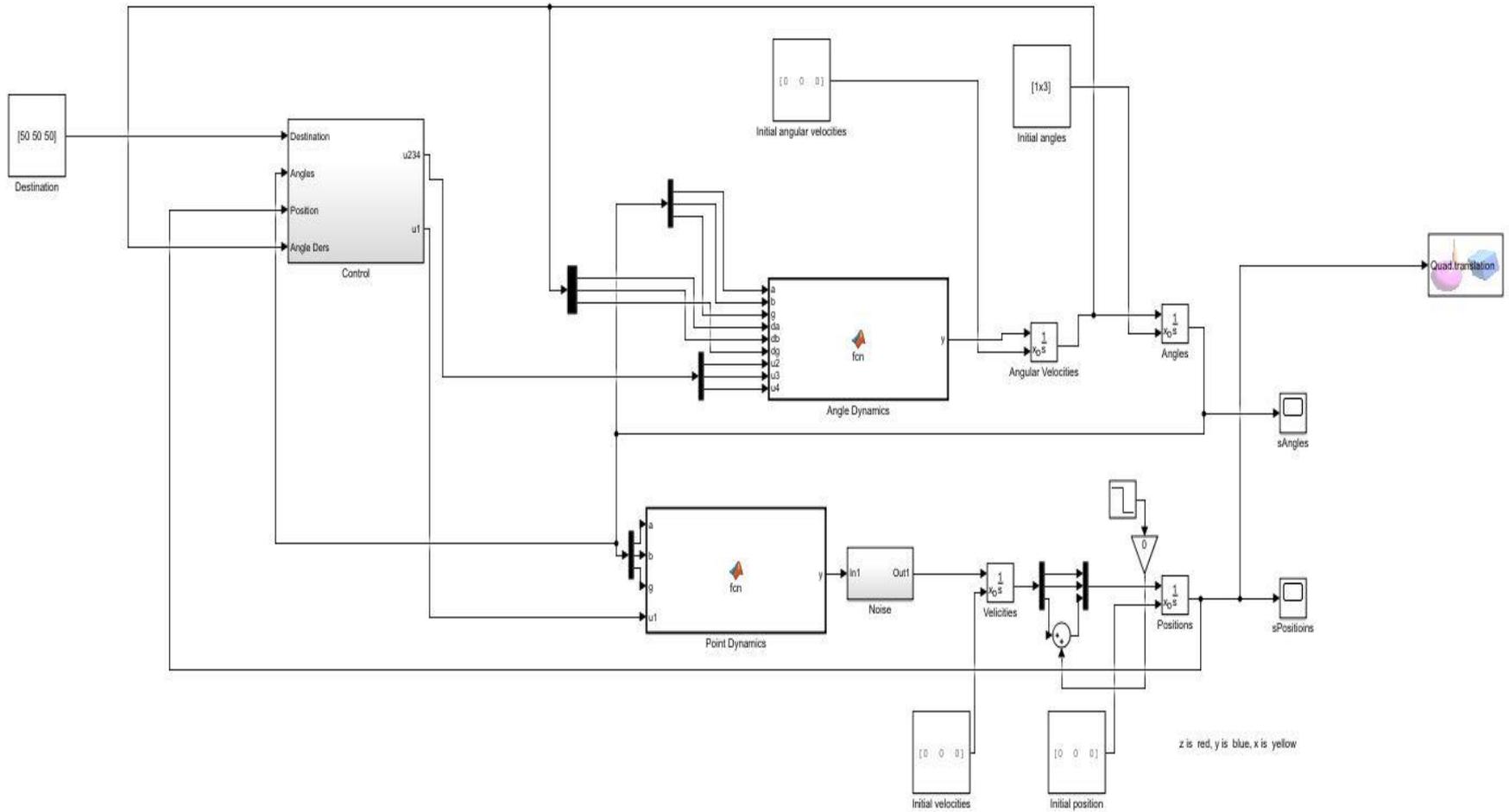


Рис. Схема Simulink

Чистый полет

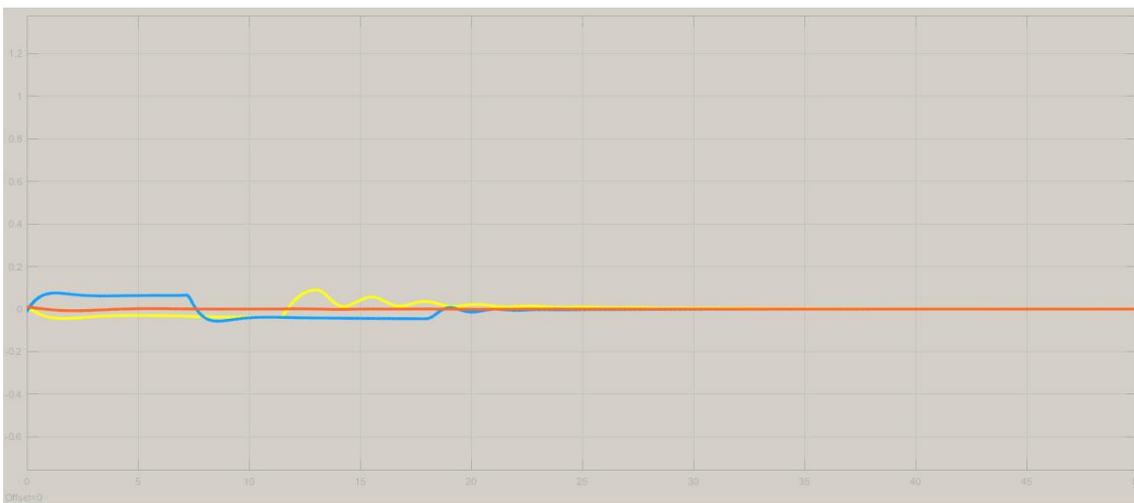


Рис. Углы

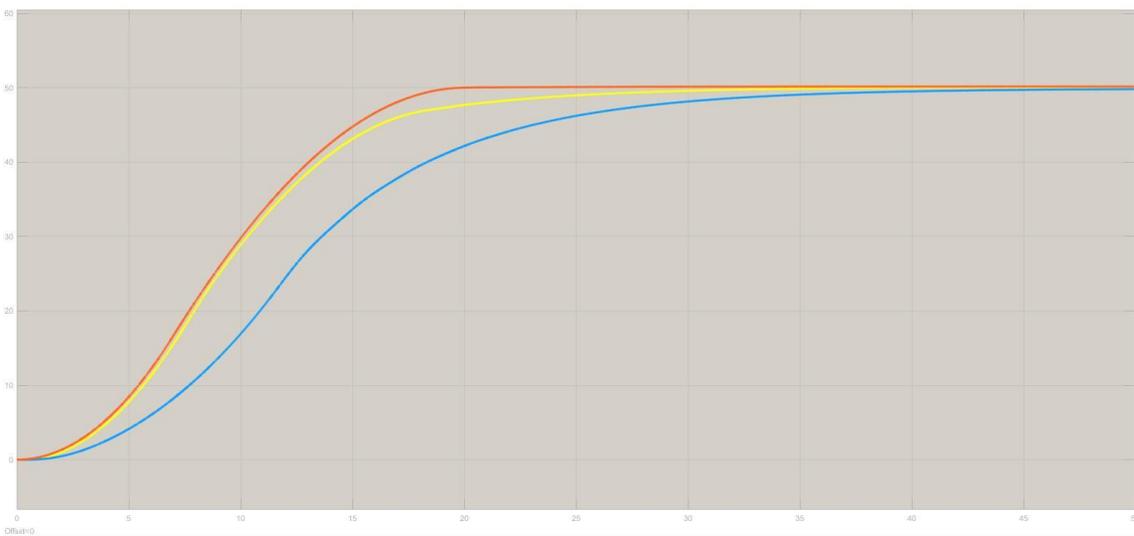


Рис. Позиции

Полет с ударом

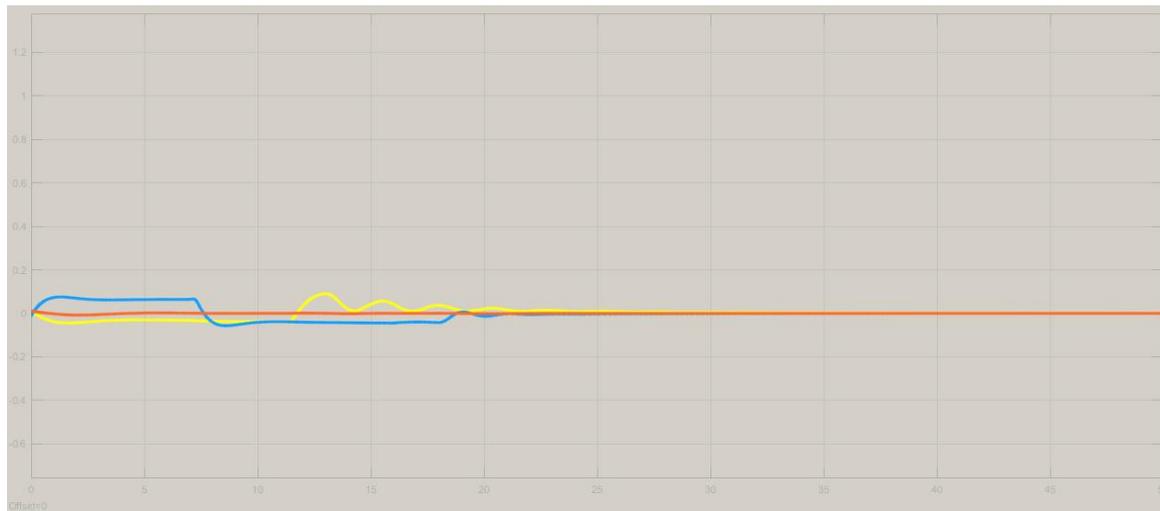


Рис. Углы

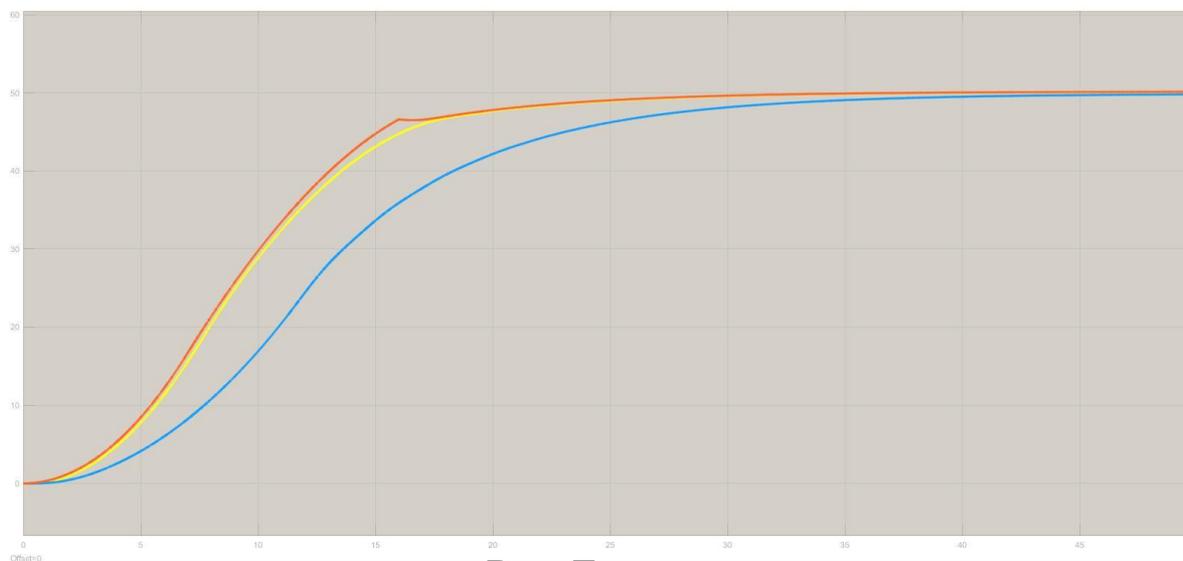


Рис. Позиции

Полет с шумом датчиков

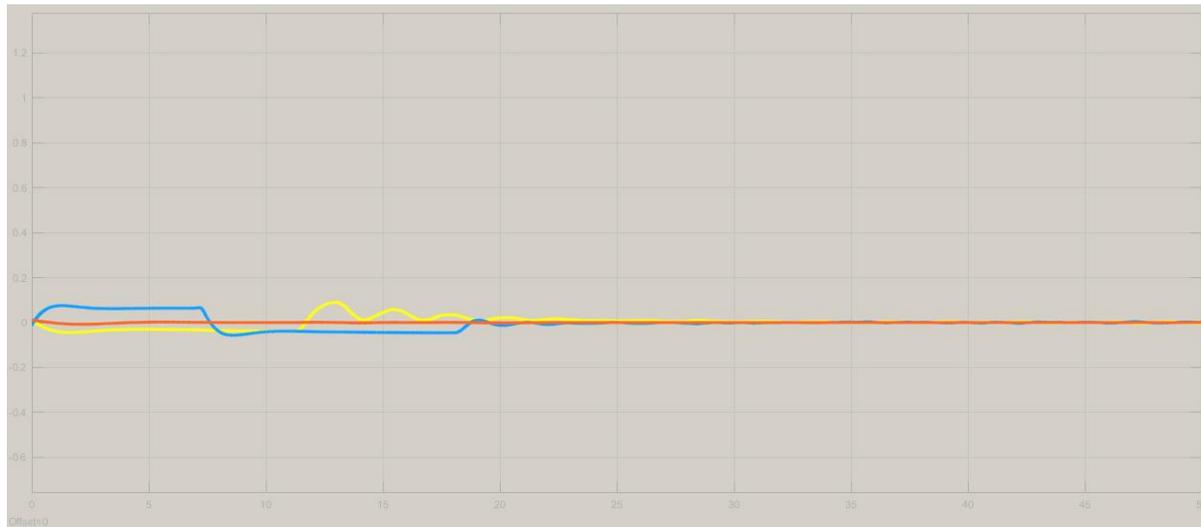


Рис. Углы

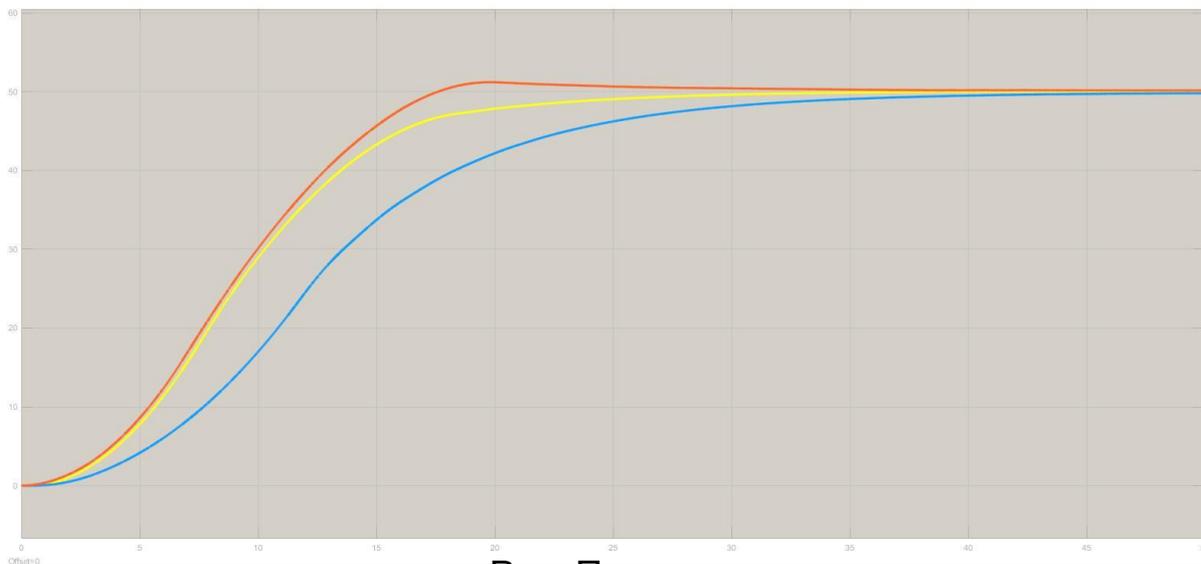


Рис. Позиции

Заключение

Была разработана и проверена математическая модель полёта квадрокоптера. Определён алгоритм управления полётом, позволяющий стабилизировать высоту аппарата, его угловое положение, координаты в пространстве и отслеживать фактическую траекторию полёта. На основании построенного алгоритма были проработаны сценарии: парение в заданной точке, полёт к заданной точке, обхождение заранее заданных препятствий, управление БПЛА в условиях зашумления датчиков. Построенная модель позволяет осуществлять управление БПЛА в условиях пересечённой местности, нестабильных условий внешней среды и радиопомех. Была произведена проверка модели методом компьютерной симуляции. Результаты моделирования показывают работоспособность модели, возможность её реализации а так же эффективность при заданных в созданной модели условиях.