

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Сибирская школа геонаук (119)»

**УТВЕРЖДЕНА:**  
на заседании ДОТ  
Протокол №29 от 10 апреля 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины  
«РОБОТОТЕХНИКА / ROBOTICS»**

---

Направление: 09.03.02 Информационные системы и технологии

---

Информационные технологии в науках о Земле и окружающей среде / Information  
Technologies in Earth and Environmental Sciences

---

Квалификация: Бакалавр

---

Форма обучения: очная

---

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Составитель программы:  
Ланько Анна Викторовна  
Дата подписания: 17.12.2025

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Утвердил: Ланько Анна  
Викторовна  
Дата подписания: 17.12.2025

Документ подписан простой  
электронной подписью  
Согласовал: Паршин  
Александр Вадимович  
Дата подписания: 13.01.2026

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

**1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

**1.1 Дисциплина «Робототехника / Robotics» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения**

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКС-5 Способность разрабатывать программное обеспечение для радиоэлектронных средств на языках высокого уровня	ПКС-5.4

**1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы**

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКС-5.4	Способность разрабатывать исходные коды специального программного обеспечения для реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов и цифрового программного управления на языке высокого уровня	<p><b>Знать</b> алгоритмы цифровой обработки сигналов (фильтрация, FFT, Kalman), методы цифрового программного управления (кинематика, траекторное планирование, SLAM), а также принципы разработки специального ПО для робототехнических систем в задачах недропользования и геологоразведки.</p> <p><b>Уметь</b> разрабатывать исходные коды специального программного обеспечения на языках высокого уровня (Python, C++) для реализации алгоритмов цифровой обработки сигналов от геофизических датчиков и цифрового управления робототехническими платформами.</p> <p><b>Владеть</b> навыками работы с библиотеками и фреймворками (ROS, OpenCV, NumPy, SciPy) для создания программ цифровой обработки IMU/лидара данных и автономного управления роботами в условиях геологоразведочных работ.</p>

**2 Место дисциплины в структуре ООП**

Изучение дисциплины «Робототехника / Robotics» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Основы робототехники / Fundamentals of Robotics»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Производственная практика: преддипломная практика / Manufacturing Practice: Undergraduate Practice»

### 3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	45	45
лекции	15	15
лабораторные работы	30	30
практические/семинарские занятия	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	63	63
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

### 4 Структура и содержание дисциплины

#### 4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

##### Семестр № 7

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля	
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)					
№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1. Математические основы робототехники	1	3	1	5			2, 5	28	Устный опрос	
2	2. Навигация и локализация БПЛА	2	2	2	4			1	5	Устный опрос	
3	3. Компьютерное зрение для БПЛА	3	2	3	4			1	5	Устный опрос	
4	4. Планирование траекторий полёта БПЛА	4	2	4	4			1	5	Устный опрос	
5	5. Цифровая обработка сигналов магнитометра БПЛА	5	2	5	4			3	5	Устный опрос	
6	6. Интеграция с ГИС-системами	6	2	6	4			3	5	Устный опрос	
7	7. Автономный БПЛА для магнитометрической съёмки	7	2	7	5			4	10	Устный опрос	
	Промежуточная аттестация									Зачет	

	Всего	15	30			63
--	-------	----	----	--	--	----

## 4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

### Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	1. Математические основы робототехники	Прямая и обратная кинематика многочленных манипуляторов и гимбалов, матрицы вращения и однородных преобразований (DH-параметры), якобиан для управления скоростью, кинетическая и потенциальная энергия системы, динамические уравнения Лагранжа, применение в стабилизации полезной нагрузки (магнитометр) на беспилотных летательных аппаратах для компенсации крена, тангажа и рыскания.
2	2. Навигация и локализация БПЛА	Колесная одометрия и инерциальная навигационная система (INS) на базе IMU (акселерометр+гироскоп), фильтр Калмана для рекурсивного оценивания состояния, расширенный фильтр Калмана (EKF) и фильтр частиц (PF) для слияния разночастотных данных GPS (1 Гц), барометра и IMU (100 Гц), компенсация дрейфа гироскопов, применение в точной трассировке магнитометрической съёмки с ошибкой позиционирования менее 1 м.
3	3. Компьютерное зрение для БПЛА	Предобработка изображений (гауссово размытие, гистограмма), детекция краёв (Canny, Sobel), преобразование Габора для текстурного анализа, Hough Transform для линий и окружностей, контурный анализ и выделение зон интереса (ROI), оптический поток (Lucas-Kanade), SLAM-алгоритмы (ORB-SLAM), распознавание геологических структур (трещины, разломы, обнажения) на аэрофотоснимках для автоматического планирования зон магнитометрической съёмки.
4	4. Планирование траекторий полёта БПЛА	Метрики эвристического поиска (A* с октальной сеткой), вероятностные дорожные карты (RRT, RRT*), потенциальные поля с градиентным спуском, динамическое планирование с учётом ветра и ограничений батареи, генерация сетки линий магнитометрической съёмки (шаг 25-50 м, высота 80-120 м), обход зон ограничения полётов (аэродромы, ЛЭП), оптимизация по времени полёта и покрытию, генерация waypoints для MAVLink-миссий.
5	5. Цифровая обработка сигналов магнитометра БПЛА	Детерминированная фильтрация (скользящее среднее, медианный фильтр), рекурсивные цифровые фильтры (FIR, IIR Butterworth), быстрая дискретная трансформация Фурье (FFT) для спектрального анализа, вейвлет-преобразование

		для локализации помех, компенсация суточных вариаций магнитного поля (IGRF-модель), удаление помех от электродвигателей БПЛА (50/100/150 Гц), алгоритмы выделения аномалий, декорреляция данных по высоте полёта.
6	6. Интеграция с ГИС-системами	Стандарты обмена геоданными (Shapefile, GeoJSON, KML, GeoTIFF), MAVLink-логи (.tlog, .bin) и их парсинг (MAVProxy, pymavlink), геопривязка данных магнитометрии по GPS-трассе, создание векторных слоёв (LineString трассы, Point замера с атрибутами mag_nT, height_m), растровая интерполяция аномального поля (IDW, Kriging), импорт в QGIS/ArcGIS, форматы для геофизической интерпретации (XYZ, GRD).
7	7. Автономный БПЛА для магнитометрической съёмки	Архитектура ROS2 (Robot Operating System) для БПЛА, MAVROS-мост к PX4/ArduPilot, топики (/mavros/imu/data, /mavros/global_position), сервисы активации миссий, message types (sensor_msgs/Imu, nav_msgs/Odometry), многоузловая система (планировщик+навигатор+даталоггер), MAVLink-скрипты командной строки (DO_SET_MODE AUTO), Mission Planner/ QGroundControl API, алгоритмы отказоустойчивости (RTL при потере GPS), интеграция фильтров LP2 и обработки LP5 в реальном времени.

#### 4.3 Перечень лабораторных работ

##### Семестр № 7

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Лабораторная работа №1. Решение прямой кинематической задачи для стабилизатора магнитометра БПЛА (Python SymPy).	5
2	Лабораторная работа №2. Фильтр Калмана для локализации БПЛА по IMU и GPS (Python).	4
3	Лабораторная работа №3. Детекция зон магнитометрической съёмки на снимках БПЛА (OpenCV).	4
4	Лабораторная работа №4. Реализация алгоритма A* для планирования трассы магнитометрической съёмки	4
5	Лабораторная работа №5. Фильтрация магнитометрических данных БПЛА (SciPy).	4
6	Лабораторная работа №6. Экспорт траектории БПЛА и магнитометрических данных в QGIS (Python GeoJSON).	4
7	Лабораторная работа №7. Финальная интеграция и тестирование системы управления	5

	БПЛА.	
--	-------	--

#### 4.4 Перечень практических занятий

Практических занятий не предусмотрено

#### 4.5 Самостоятельная работа

##### Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	15
2	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	18
3	Подготовка к сдаче и защите отчетов	10
4	Подготовка к экзамену	10
5	Проработка разделов теоретического материала	10

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: работа в малых группах

#### 5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

##### 5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

###### 5.1.1 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Лабораторная работа №1. Решение прямой кинематической задачи для стабилизатора магнитометра БПЛА (Python SymPy)

Цель работы: Освоить решение прямой кинематической задачи для расчёта положения магнитометра на 2-осевом стабилизаторе БПЛА при компенсации крена и тангажа.

Краткий теоретический словарь:

Прямая кинематика — расчёт положения звеньев робота по углам суставов.

Матрица вращения — преобразование координат  $R=(\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix})$ .

DH-параметры — Denavit-Hartenberg параметры для описания манипуляторов.

Якобиан — матрица частных производных для связи скоростей.

Гимбал — 2-осевой стабилизатор (roll/pitch) для камер/датчиков.

Ход выполнения работы:

Установка ПО: Откройте Anaconda Prompt, выполните `conda create -n robotics python=3.9, conda activate robotics, pip install sympy numpy matplotlib jupyter`. Запустите `jupyter notebook`.

Создание ноутбука: Новый notebook "LR1\_kinematics.ipynb". Импортируйте: `from sympy import *; import numpy as np; import matplotlib.pyplot as plt`.

Определение параметров стабилизатора: Длина звеньев  $L_1=0.1$  м (roll),  $L_2=0.15$  м (pitch), магнитометр на конце  $L_2$ . Углы:  $\theta_1$  (roll  $-30^\circ \dots +30^\circ$ ),  $\theta_2$  (pitch  $-45^\circ \dots +45^\circ$ ).

Прямая кинематика:

```
theta1, theta2, L1, L2 = symbols('theta1 theta2 L1 L2')
```

```
x = L1*cos(theta1) + L2*cos(theta1+theta2)
```

```
y = L1*sin(theta1) + L2*sin(theta1+theta2)
```

```
z = symbols('z0') # фиксированная высота
```

Численный расчёт: Подставьте значения  $\theta_1 = \pi/6$ ,  $\theta_2 = -\pi/4$ ,  $L_1 = 0.1$ ,  $L_2 = 0.15$ . Вычислите  $x_{\text{num}} = x_{\text{subs}}(\{\theta_1: \pi/6, \theta_2: -\pi/4, L_1: 0.1, L_2: 0.15\}).\text{evalf}()$ .

Визуализация: Создайте сетку углов  $\theta_1\_range = np.linspace(-\pi/6, \pi/6, 20)$ , постройте 3D-график траектории магнитометра  $ax.plot_surface(X, Y, Z)$ .

Анализ: Рассчитайте рабочую область ( $\pm 20$  см), сохраните как PNG. Запишите координаты для  $\theta_1 = 0^\circ$ ,  $\theta_2 = 0^\circ$  ( $x = 0.25$  м,  $y = 0$  м).

Отчёт: Сохраните notebook (.ipynb), скриншот 3D-графика, таблица координат (5 точек).

Ожидаемый результат: Jupyter notebook с кинематической моделью стабилизатора, 3D-график рабочей области, таблица координат.

Контрольные вопросы:

Что даёт прямая кинематика для стабилизатора БПЛА?

Формула матрицы вращения в плоскости?

Зачем нужны DH-параметры?

Как якобиан связывает угловые и линейные скорости?

Почему стабилизатор 2-осевой (roll/pitch)?

Лабораторная работа №2. Фильтр Калмана для локализации БПЛА по IMU и GPS (Python)  
Цель работы: Реализовать фильтр Калмана для слияния данных акселерометра, гироскопа и GPS при локализации БПЛА.

Краткий теоретический словарь:

Фильтр Калмана — рекурсивный оцениватель состояния с учётом шумов измерений.

Состояние — вектор  $[x, y, z, vx, vy, vz, roll, pitch, yaw]$ .

Матрица ковариации — оценка неопределённости состояния  $P$ .

EKF — расширенный фильтр Калмана для нелинейных систем.

IMU — инерциальный измерительный модуль (акселерометр+гироскоп).

Ход выполнения работы:

Подготовка данных: Скачайте датасет `bpla_flight.csv` (1000 строк: GPS\_time, gps\_x, gps\_y, gps\_z, ax, ay, az, gx, gy, gz).

Импорт: `import pandas as pd; import numpy as np; data = pd.read_csv('bpla_flight.csv')`.

Инициализация фильтра:

```
dt = 0.01 # 100 Гц
x = np.zeros(9) # [x,y,z,vx,vy,vz,roll,pitch,yaw]
P = np.eye(9)*100 # большая неопределенность
Q = np.eye(9)*0.01 # шум процесса
R_gps = np.diag([1,1,5]) # шум GPS
R_imu = np.eye(6)*0.1 # шум IMU
```

Предсказание:  $x_{\text{pred}} = A @ x + B @ u$ ;  $P_{\text{pred}} = A @ P @ A.T + Q$  ( $A$  — матрица перехода).

Коррекция GPS:  $K = P_{\text{pred}} @ H_{\text{gps}}.T @ \text{inv}(H_{\text{gps}} @ P_{\text{pred}} @ H_{\text{gps}}.T + R_{\text{gps}})$ ;  $x = x_{\text{pred}} + K @ (z_{\text{gps}} - H_{\text{gps}} @ x_{\text{pred}})$ .

Коррекция IMU: Интегрируйте ускорения/угловые скорости, примените Kalman update.

Визуализация: Постройте 3 траектории: сырой GPS, сырой IMU, Kalman. Оцените RMSE < 2 м.

Анализ: Сравните ковариацию  $P$  по осям, сохраните графики.

Ожидаемый результат: Notebook с Kalman-фильтром, графики траекторий (GPS/IMU/Kalman), RMSE.

Контрольные вопросы:

Что предсказывает и корректирует фильтр Калмана?  
Зачем нужна матрица ковариации  $P$ ?  
Почему GPS и IMU имеют разные частоты?  
Как интегрировать ускорение для скорости?  
Преимущества EKF перед линейным Kalman?

Лабораторная работа №3. Детекция зон магнитометрической съёмки на снимках БПЛА (OpenCV)

Цель работы: Выделить открытые участки местности на аэрофотоснимке для планирования магнитометрической съёмки.

Краткий теоретический словарь:

Canny edge detector — алгоритм детекции краёв (Gaussian+Sobel+Non-max+Hysteresis).

Hough Transform — параметрическое представление прямых/окружностей.

Контур — замкнутая последовательность точек (cv2.findContours).

ROI — область интереса (Region of Interest).

Гистограмма — распределение яркостей пикселей.

Ход выполнения работы:

Установка: pip install opencv-python matplotlib. Скачайте aero\_photo.jpg (карьер).

Загрузка: img = cv2.imread('aero\_photo.jpg'); gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR\_BGR2GRAY).

Предобработка: blur = cv2.GaussianBlur(gray, (5,5), 0); hist = cv2.calcHist([blur], [0], None, [256], [0,256]).

Детекция краёв: edges = cv2.Canny(blur, 50, 150); lines = cv2.HoughLinesP(edges, 1, np.pi/180, 100, minLineLength=50).

Контуры: contours, \_ = cv2.findContours(edges, cv2.RETR\_EXTERNAL, cv2.CHAIN\_APPROX\_SIMPLE).

Фильтрация ROI: Площадь >10000 пикселей, прямоугольность >0.8, сохраните как маска.

Визуализация: cv2.drawContours(img, contours, -1, (0,255,0), 3); plt.imshow(cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR\_BGR2RGB)).

Координаты: Вычислите центр маски  $M = cv2.moments(largest\_contour); cx = int(M['m10']/M['m00'])$ .

Ожидаемый результат: Маска зон съёмки, координаты ROI, наложение на фото.

Контрольные вопросы:

Этапы алгоритма Canny?

Параметрическое уравнение прямой в Hough?

Как фильтровать контуры по площади?

Зачем Gaussian размытие?

Применение в автоматическом планировании БПЛА?

Лабораторная работа №4. Алгоритм A\* для планирования трассы магнитометрической съёмки (Python)

Цель работы: Построить оптимальную трассу магнитометрической съёмки (сетка линий 50×50 м) с обходом препятствий.

Краткий теоретический словарь:

A\* — алгоритм поиска A ( $f = g + h$ ,  $g$  — пройденный путь,  $h$  — эвристика).

Октальная сетка — 8 возможных направлений движения.

Эвристика — манхэттенское расстояние  $h = |dx| + |dy|$ .

Открытый набор — приоритетная очередь кандидатов (heapq).

Закрытый набор — посещённые узлы.

Ход выполнения работы:

Карта: Создайте сетку  $50 \times 50$  (1 клетка = 50 м), 0=свободно, 1=препятствие.

Импорт: `import heapq; import matplotlib.pyplot as plt; import numpy as np.`

Структура узла: `(f_score, g_score, x, y, parent)` — кортеж для `heapq`.

Соседи: 8 направлений `directions = [(-1,-1), (-1,0), ...]`, стоимость 1.4 (диагональ), 1 (горизонталь).

А цикл:  
`open_set = [(0,0,start_x,start_y,None)]; came_from = {}` до достижения цели.

Реконструкция пути: От цели по parent до старта, разворот.

Визуализация: `plt.imshow(grid, cmap='gray');` `plt.plot(path_x, path_y, 'r-')`.

Сетка съёмки: Добавьте параллельные линии шаг 50 м по оптимальному направлению.

Ожидаемый результат: Карта с трассой A\*, список waypoints (x,y,z), длина пути.

Контрольные вопросы:

Формула  $f(n)$  в A\*?

Почему октальная сетка (8 направлений)?

Эвристика манхэттен vs евклидова?

Роль `heapq` в открытом наборе?

Оптимизация для магнитометрической сетки?

Лабораторная работа №5. Фильтрация магнитометрических данных БПЛА (SciPy)

Цель работы: Очистить данные магнитометра HMC5883L от помех моторов БПЛА и суточных вариаций.

Краткий теоретический словарь:

FFT — быстрое преобразование Фурье для спектрального анализа.

FIR-фильтр — фильтр с скользящим средним (без обратной связи).

IGRF — Международная модель геомагнитного референсного поля.

Суточная вариация — ежедневные изменения магнитного поля Земли ( $\pm 50$  нТл).

Помехи БПЛА — 50/100/150 Гц от электродвигателей.

Ход выполнения работы:

Данные: `mag_data.csv` (time, gps\_x, gps\_y, mag\_x, mag\_y, mag\_z, height).

Импорт: `from scipy import signal; from scipy.fft import fft, fftfreq; import numpy as np.`

IGRF коррекция: Рассчитайте референсное поле `B_igrf = igrf_model(lat, lon, height)`.

Предварительная фильтрация: `mag_filt = signal.medfilt(mag_raw, kernel_size=5)`.

Спектральный анализ: `N = len(mag); f = fftfreq(N, dt); mag_fft = fft(mag)`. Найдите пики 50/100 Гц.

Notch-фильтр: `b, a = signal.iirnotch(50/dt, 30); mag_clean = signal.filtfilt(b, a, mag_filt)`.

Скользящее среднее: `window = signal.windows.hann(51); mag_smooth = np.convolve(mag_clean, window, mode='same')`.

Графики: Временные ряды (raw/filt/smooth), спектры, аномалии = smooth - IGRF.

Ожидаемый результат: Чистые магнитометрические данные, спектры до/после, карта аномалий.

Контрольные вопросы:

Что вызывает помехи 50 Гц в БПЛА?

Зачем notch-фильтр?

Разница FIR vs IIR?

Как IGRF зависит от широты/высоты?

Критерий выделения аномалий?

Лабораторная работа №6. Экспорт траектории БПЛА и магнитометрических данных в QGIS (Python GeoJSON)

Цель работы: Создать GeoJSON файл с траекторией полёта и магнитометрическими

замерами для QGIS.

Краткий теоретический словарь:

GeoJSON — формат геоданных (Point, LineString, Polygon + свойства).

CRS — Coordinate Reference System (WGS84 EPSG:4326).

LineString — ломаная линия (траектория БПЛА).

fiona — Python библиотека для GeoJSON/Shapefile.

Kriging — геостатистическая интерполяция.

Ход выполнения работы:

Установка: pip install fiona geopandas matplotlib folium.

Данные: Объедините траекторию ЛР4 + магнитометрия ЛР5 в flight\_data.csv.

LineString трассы:

```
import fiona
from shapely.geometry import LineString, Point
schema = {'geometry': 'LineString', 'properties': {'name': 'str'}}
with fiona.open('flight.geojson', 'w', 'GeoJSON', schema) as c:
    c.write({'geometry': LineString([(lon1,lat1),(lon2,lat2)]), 'properties': {'name': 'mag_survey'}})
```

Точки замера: Point( lon, lat ) с атрибутами {'mag\_nT': 45230, 'height': 105}.

Проверка: import geopandas as gpd; gdf = gpd.read\_file('flight.geojson'); gdf.plot().

Веб-карта: folium.Map().add\_to(m); folium.GeoJson(gdf).add\_to(m);

m.save('map.html').

QGIS тест: Откройте .geojson, создайте heatmap по mag\_nT.

Ожидаемый результат: GeoJSON файлы (трасса+точки), QGIS-карта, веб-карта.

Контрольные вопросы:

Структура GeoJSON Point/LineString?

Зачем CRS EPSG:4326?

Как geopandas читает GeoJSON?

Применение в геофизической интерпретации?

Разница GeoJSON vs Shapefile?

Лабораторная работа №7. Финальная интеграция и тестирование системы управления БПЛА

Цель работы: Создать MAVLink-скрипт автономной магнитометрической миссии БПЛА с интеграцией всех модулей.

Краткий теоретический словарь:

MAVLink — протокол связи для БПЛА (waypoints, телеметрия).

Mission Planner — GCS (Ground Control Station) для ArduPilot/PX4.

SITL — Software In The Loop симулятор.

RTL — Return To Launch при отказе.

Waypoint — точка маршрута (lat, lon, alt).

Ход выполнения работы:

Установка SITL: Скачайте ArduCopter SITL, sim\_vehicle.py -v Copter --console --map.

Mission Planner: Подключитесь localhost:5760, загрузите waypoints из ЛР4 (WUPLOAD).

Python DroneKit:

```
from dronekit import connect, VehicleMode, LocationGlobalRelative
vehicle = connect('tcp:127.0.0.1:5760', wait_ready=True)
```

```
vehicle.mode = VehicleMode("AUTO")
```

```
for wp in waypoints:
```

```
    cmd = Command(0,0,0,16,0,0,0,0,lat,lon,alt)
```

```
cmds.add(cmd)
```

Интеграция ЛР2-6: Kalman (ЛР2) → A\* waypoints (ЛР4) → MAVLink → фильтрация (ЛР5) → GeoJSON (ЛР6).

Тестирование: Автономный полёт 10 линий, запись магнитометрии, проверка фильтров.

RTL тест: Симулируйте потерю GPS, проверьте возврат на базу.  
Ожидаемый результат: Автономная миссия в SITL, MAVLink лог, финальный GeoJSON.  
Контрольные вопросы:

- Что такое SITL и зачем он нужен?
- Структура MAVLink waypoint?
- Команда перехода в AUTO mode?
- Как DroneKit подключается к SITL?
- Алгоритм RTL при отказе GPS?

### **5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:**

Рекомендации по самостоятельной работе:

#### **1. Рекомендации по самостоятельной подготовке к лабораторным работам**

- Изучите теоретический материал по теме лабораторной работы.

Ознакомьтесь с учебниками, лекциями и дополнительными источниками, чтобы понимать цели и задачи работы, основные понятия и методы, используемые в лабораторном задании1.

- Внимательно ознакомьтесь с методическими указаниями и требованиями к лабораторной работе. Обратите внимание на последовательность выполнения этапов, используемое программное обеспечение, форматы исходных и выходных данных, требования к визуализации и анализу результатов.

- Подготовьте исходные данные. Проверьте наличие всех необходимых файлов, убедитесь в их корректности (форматы, структура, отсутствие ошибок и пропусков данных).

- Освойте необходимые функции и инструменты программного обеспечения.

Повторите работу с теми модулями и инструментами, которые будут использоваться в лабораторной работе.

- Планируйте время. Разделите выполнение работы на этапы: подготовка данных, выполнение анализа, оформление визуализации, написание отчета.

#### **2. Рекомендации по оформлению отчетов по лабораторным работам**

- Структурируйте отчет по стандартной схеме:
- Титульный лист (название работы, ФИО, группа, дата)
- Цель работы
- Краткое описание исходных данных
- Описание используемых методов и программного обеспечения
- Последовательное изложение этапов работы с иллюстрациями (скриншотами, графиками, картами)
- Анализ полученных результатов (выявленные особенности, сравнение с теорией, интерпретация)
- Выводы и рекомендации
- Список использованных источников
- Используйте качественные иллюстрации. Все графические материалы должны быть четкими, снабжены подписями, масштабами, легендами и пояснениями.
- Формулируйте выводы по существу. Кратко и ясно отражайте основные результаты работы, выявленные закономерности, достоинства и ограничения

применяемых методов.

- Оформляйте отчет в соответствии с требованиями ДОТ. Соблюдайте стандарты оформления текста, таблиц, рисунков и ссылок на источники.
3. Рекомендации по самостоятельной проработке отдельных разделов тем
- Изучайте рекомендованную литературу и дополнительные источники. Используйте учебники, статьи, электронные ресурсы, профессиональные базы данных и справочные материалы, указанные в рабочей программе дисциплины1.
  - Выполняйте конспектирование ключевых понятий и алгоритмов. Составляйте краткие записи по основным определениям, алгоритмам, этапам работы с ПО, особенностям визуализации и анализа данных.
  - Практикуйтесь в самостоятельном выполнении типовых заданий. Решайте задачи, связанные с обработкой и визуализацией геолого-геофизических данных, используя различные программные средства.
  - Формулируйте вопросы и уточнения для обсуждения на занятиях. Записывайте непонятные моменты, чтобы получить разъяснения у преподавателя или в ходе дискуссии.
  - Анализируйте примеры из практики. Изучайте реальные кейсы решения задач геофизики, сравнивайте разные подходы и делайте выводы о целесообразности их применения.
4. Общие рекомендации
- Развивайте навыки поиска и критического анализа информации. Пользуйтесь современными информационными ресурсами, анализируйте достоверность и актуальность найденных данных.
  - Акцентируйте внимание на интеграции знаний и умений. Страйтесь связывать теоретические знания с практическими задачами, анализируйте, как выбранные методы и технологии влияют на качество и достоверность графического представления информации.
  - Соблюдайте академическую честность. Все результаты, представленные в отчетах, должны быть получены самостоятельно, с обязательным указанием источников заимствованных данных и иллюстраций.

## **6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

### **6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля**

#### **6.1.1 семестр 7 | Устный опрос**

##### **Описание процедуры.**

Опрос может проводиться:

Фронтально — в форме беседы с группой, когда вопросы задаются всей группе, а ответы даются по очереди или по желанию.

Индивидуально — каждый студент отвечает на один или несколько вопросов, давая развернутый, связный ответ, часто с примерами и пояснениями.

Комбинированно — сочетаются оба подхода, а также используются дополнительные методы (например, письменные карточки, рецензирование ответов товарищей)

##### **Критерии оценивания.**

полнота и правильность ответа;  
понимание и осознанность материала;  
логичность и последовательность изложения;  
корректность терминологии;  
способность отвечать на уточняющие вопросы

## 6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

### 6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКС-5.4	полнота и правильность ответа; понимание и осознанность материала; логичность и последовательность изложения; корректность терминологии; способность отвечать на уточняющие вопросы	устный опрос

### 6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

#### 6.2.2.1 Семестр 7, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

##### 6.2.2.1.1 Описание процедуры

К зачету допускаются студенты сдавшие все отчеты по лабораторным (практическим) работам. Зачёт проводится в форме устного опроса или тестирования, включающего 5 вопросов — по одному из каждой основной темы курса. В некоторых случаях допускается комбинированная форма: тест + устный опрос.

Время на ответ ограничено, ответы должны быть чёткими, логичными и аргументированными.

В случае неудовлетворительного результата студенту предоставляется возможность пересдачи в установленные сроки. При повторном не сдаче возможна дополнительная консультация и индивидуальное собеседование. Оценка выставляется по шкале с учётом полноты и правильности ответов.

Вопросы для подготовки к зачету:

- Что представляет собой прямая кинематика и каковы её основные формулы для 2-осевого стабилизатора магнитометра БПЛА?
- Объясните роль матрицы вращения и однородных преобразований в кинематике гимбала БПЛА.
- В чём заключается применение DH-параметров для описания стабилизатора полезной нагрузки беспилотника?
- Как якобиан связывает угловые скорости сервоприводов стабилизатора с

линейными скоростями магнитометра?

5. Какие динамические уравнения используются для моделирования стабилизатора БПЛА и как они учитывают крена/тангажа?
6. Опишите принцип работы фильтра Калмана и его применение для слияния данных IMU и GPS БПЛА.
7. В чём разница между линейным фильтром Калмана и расширенным фильтром Калмана (EKF) для навигации БПЛА?
8. Как компенсируется дрейф гироскопов IMU в инерциальной навигационной системе беспилотника?
9. Перечислите этапы алгоритма Canny для детекции краёв на аэрофотоснимках БПЛА.
10. Как работает преобразование Хофа для выделения линий разломов на снимках местности с БПЛА?
11. В чём суть оптического потока Lucas-Kanade и его применение для стабилизации камеры БПЛА?
12. Объясните принцип работы алгоритма A\* и формулу эвристической функции  $f(n) = g(n) + h(n)$ .
13. Чем отличается октальная сетка от 4-направленной в алгоритмах планирования траекторий БПЛА?
14. Как учитываются ограничения батареи и ветра при динамическом планировании траекторий магнитометрической съёмки?
15. В чём разница между вероятностными дорожными картами RRT и RRT\* для обхода препятствий БПЛА?
16. Перечислите типы цифровых фильтров (FIR, IIR) и их применение для очистки магнитометрических данных БПЛА.
17. Как быстрая дискретная трансформация Фурье (FFT) используется для анализа помех от моторов беспилотника?
18. Объясните принцип работы notch-фильтра для удаления помех 50/100 Гц в данных магнитометра.
19. В чём суть модели IGRF и как она применяется для компенсации суточных вариаций магнитного поля?
20. Опишите структуру GeoJSON файла для хранения траектории БПЛА и точек магнитометрических замеров.
21. Какие стандарты обмена геоданными (Shapefile, KML, GeoTIFF) используются для результатов съёмки БПЛА?
22. Перечислите основные топики ROS2 для MAVROS-моста (/mavros/imu/data, /mavros/global\_position).
23. В чём разница между топиками, сервисами и действиями в архитектуре ROS2 для управления БПЛА?
24. Объясните принцип работы MAVLink-протокола и назначение команды DO\_SET\_MODE AUTO.
25. Какие алгоритмы отказоустойчивости (RTL, failsafe) применяются в автономных системах БПЛА для магнитометрической съёмки?

#### 6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
выставляется студенту, твердо знающему программный материал, грамотно и по существу излагающему, который не допускает существенных неточностей в	выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, не может ответить на

<p>ответе на вопросы, правильно применяет теоретические положения при решении практических задач;</p>	<p>дополнительные вопросы</p>
---	-------------------------------

## **7 Основная учебная литература**

1. Соловьев, В. В. Основы робототехники и области её применения : учебное пособие / В. В. Соловьев, Л. О. Лауденшлегер. — Ухта : УГТУ, 2022. — 149 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
2. Вегера, Ж. Г. Основы робототехники : учебное пособие / Ж. Г. Вегера, В. В. Слепцов. — Москва : РГУ МИРЭА, 2025. — 109 с. — ISBN 978-5-7339-2533-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.

## **8 Дополнительная учебная литература и справочная**

1. Воротников С. А. Информационные устройства робототехнических систем : учеб. пособие для вузов по направлению "Механотроника и робототехника" / С. А. Воротников, 2005. - 382.
2. Юревич Е. И. Основы робототехники : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. диплом. специалистов 652000 "Мехатроника и робототехника" ... / Евгений Юревич, 2005. - 401.
3. Методические указания по проведению лабораторных работ по дисциплине "Механика манипуляционных устройств" направления подготовки 221000 - "Мехатроника и робототехника", профиль - "Наладка, программирование и эксплуатация мехатронных и робототехнических систем" : методические указания / Иркут. гос. техн. ун-т, 2013. - 55.
4. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств : учебное пособие [для подготовки бакалавров и магистров по направлению "Мехатроника и робототехника"] / А. П. Лукинов, 2012. - 605.
5. Технология конструкционных материалов : методические указания к самостоятельной работе: направление подготовки 15.03.06 "Мехатроника и робототехника": программа бакалавриата "Наладка, программирование и эксплуатация мехатронных робототехнических систем: квалификация бакалавр: форма обучения очная / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, Ин-т авиамашиностроения и трансп., Каф. машиностроит. технологий и материалов, 2016. - 7.

## **9 Ресурсы сети Интернет**

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

## **10 Профессиональные базы данных**

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

## **11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем**

1. Лицензионное программное обеспечение Системное программное обеспечение
2. Лицензионное программное обеспечение Пакет прикладных офисных программ
3. Лицензионное программное обеспечение Интернет-браузер

## **12 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных/практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.