



# ПРИКЛАДНА РОБОТОТЕХНІКА ТА АВТОНОМНА НАВІГАЦІЯ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>124 «Системний аналіз»</i>
Освітня програма	<i>Системний аналіз і управління</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин / 4 кредити ЄКТС (лекції – 36 год., комп'ютерний практикум – 18 год., СРС – 66 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Контрольні заходи: – МКР; – Опитування; – Захисти лабораторних робіт. Семестровий контроль: залік</i>
Розклад занять	<i><a href="https://schedule.kpi.ua/">https://schedule.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції та семінари проводить: Асистент кафедри ММСА, Соболь Ольга Олександрівна, <a href="mailto:olga.sobol.kpi@gmail.com">olga.sobol.kpi@gmail.com</a>, <a href="mailto:sobol.olga@iit.kpi.ua">sobol.olga@iit.kpi.ua</a></i>
Розміщення курсу	<i>Ресурс Google Classroom</i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Опанування дисципліни забезпечить набуття теоретичних та практичних навичок проектування та програмування роботизованих систем за допомогою мов програмування Python і C++ та моделювання і симуляції роботів в середовищі ROS (Robot Operating System), RViz та Gazebo, які на даний час є найсучаснішими інструментами, що використовуються в робототехніці.

**Мета дисципліни** – формування відповідного рівня знань для проектування автономних роботизованих систем, створення карти навколишнього середовища, розробки систем автономної навігації, систем виявлення та уникання перешкод, та розробки і тестування програмного забезпечення автономного робота в системі ROS (Robot Operating System).

**Предмет дисципліни:** основні концепції проектування автономних роботизованих систем, інструменти моделювання та симуляції стаціонарних і мобільних роботів, принципи роботи систем автономної навігації, концепція алгоритмів SLAM, принципи побудови карти навколишнього середовища та системи виявлення та уникання перешкод.

*Дисципліна сприяє формуванню у студентів таких компетентностей:*

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;*
- здатність організовувати роботу з аналізу та проектування складних систем;*
- здатність застосовувати програмні засоби моделювання та симуляції;*

*Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання.*

#### **ЗНАННЯ:**

- теоретичних основ проектування маніпуляторів та мобільних роботів;*
- принципів застосування сенсорів для сприйняття навколишнього середовища та оцінки внутрішнього стану роботизованих систем, що забезпечують можливість орієнтації роботів у просторі;*
- принципів роботи алгоритмів комп'ютерного зору;*
- принципів роботи автономних систем навігації;*
- концепції алгоритмів SLAM;*
- принципів побудови карти навколишнього середовища та роботи систем виявлення та уникання перешкод;*

#### **УМІННЯ:**

- проектувати маніпулятори та мобільні роботи;*
- створювати опис структури робота у форматі URDF;*
- моделювати роботів за допомогою ROS (Robot Operating System), середовища симуляції Gazebo та середовища візуалізації RViz;*
- створювати світи робота для симуляції у середовищі Gazebo;*
- розробляти програми для управління маніпуляторами та мобільними роботами (Python, C++);*
- впроваджувати алгоритми обробки зображень з використанням OpenCV;*
- будувати карту простору за допомогою лазерного далекоміру;*
- впроваджувати SLAM алгоритми та алгоритми уникання перешкод.*

*В результаті успішного вивчення курсу майбутні фахівці зможуть застосовувати отримані знання на практиці, бути достатньо компетентними для подальшої професійної діяльності у міжнародних компаніях, які займаються робототехнікою.*

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

*Вивчення дисципліни базується на знанні студентами основ програмування, роботи в системі Linux, успішному опануванні основ дисциплін «Фізика», «Комп'ютерні мережі», «Алгоритми та структури даних».*

*Рівень володіння англійською мовою не нижче A2 (Pre-Intermediate).*

*Дисципліна забезпечує такі навчальні дисципліни у програмі підготовки фахівця як «Комп'ютерний зір» та дисципліни, пов'язані з проектуванням систем та імітаційним моделюванням.*

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

- 1. Поняття, історичні передумови виникнення та еволюція роботів. Властивості роботів. Класифікація роботів. Застосування роботів у різних галузях. Компоненти промислового робота.*

2. Автоматизація. Типи маніпуляторів. Ступені свободи. Кінематичний аналіз та синтез. Основні поняття теорії механізмів. Кінематична діаграма. Критерій Грублера-Куртцбаха для обчислення мобільності (DOF) планарного механізму. 4-стрижневий механізм. Критерій Грашофа. Кінематика маніпулятора. Матриця повороту. Гомогенне перетворення. Параметри Денавіт-Хартенберга.
3. Кінематика мобільного робота. Типи колес. Вибір колес для мобільного робота. Диференціал. Маневреність мобільного робота. Ступінь мобільності. Ступінь керованості. Матриця повороту колісної бази.
4. Сенсори. Класифікація сенсорів. Характеристики сенсорів. Застосування сенсорів в робототехніці. Машинний (технічний) зір. Комп'ютерний зір. Алгоритми комп'ютерного зору. Проблеми, які вирішує комп'ютерний зір. Цифрове зображення. Піксель. Кольорові моделі. Характеристики відео. Можливості OpenCV. Операції з зображеннями в OpenCV (сегментація, порогове значення, визначення границь).
5. БПЛА. Системи координат БПЛА. Матриця повороту. Сили, що діють на БПЛА в польоті. Механіка польоту БПЛА. Автопілот. Задача навігації. Інерціальна система навігації. Архітектура Безплатформеної Інерціальної Навігаційної Системи (БІНС). Помилки інерціальних навігаційних систем. Супутникова система навігації. GPS. Assisted GPS.
6. Системи навігації з використанням технічного зору. Задача про 3 точки перспективи. Система навігації з використанням реперних маркерів. Маркери Aruco.
7. Система навігації з використанням оптичного потоку. Поняття оптичного потоку. Методи обчислення оптичного потоку. Метод Лукаса-Канаде. Піраміда зображень. Піраміда Гауса. Піраміда Лапласа. Точність навігації з використанням оптичного потоку.
8. Системи просторових вимірювань. Характеристики далекоміру. Стереозір. Побудова карти простору. Бінарна та ймовірнісна карти простору. Кореляційно-екстремальні навігаційні системи. Концепція SLAM. Алгоритм роботи SLAM на основі частинок. Графовий алгоритм SLAM. Сфери застосування.
9. Планування маршруту. Траекторія. Критерії оптимальності траекторії. Глобальне та локальне планування маршруту. Система планування маршруту в БПЛА. Підходи до планування маршруту. Евристичний та оптимальний підходи. Алгоритми уникання перешкод. Гістограма векторного поля.
10. Основи ROS. Архітектура ROS. Парадигми комунікації ROS. Структура програм ROS. Конфігурування ROS. Структура проекту ROS. Catkin Workspace.
11. Turtlesim Simulator. Керування Turtlesim з клавіатури та за допомогою надсилання повідомлень. Запис файлів rosbag. Встановлення та основи роботи з роботом Turtlebot. Симуляція в Gazebo. Візуалізація в RVIZ. Інтерфейс RQT. Створення моделей та світів в Gazebo. SDF (Simulation Description Format).
12. Встановлення OpenCV. Обробка зображень та малювання фігур в OpenCV.
13. Опис структури робота. URDF (Universal Robot Description Format). Оптимізація URDF за допомогою XACRO. Створення файлів launch. Створення мобільного робота з примітивів. Симуляція роботи далекоміра в Gazebo. Візуалізація в RVIZ. Створення маніпулятора. Застосування текстур у форматі .STL. Симуляція роботи з'єднань в Gazebo. Візуалізація в RVIZ.
14. Автономна навігація в ROS. Побудова світу з лабіринтом. Адаптація launch файлів робота Turtlebot. Побудова карти навколишнього простору. Побудова оптимального маршруту виходу Turtlebot з лабіринту.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова література

1. Mark W. Spong, Seth Hutchinson, and M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control, Wiley, 2006. (за запитом викладачу)
2. Kevin M. Lynch and Frank C. Park, Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control, Cambridge University Press, 2017. (за запитом викладачу)
3. John J. Craig, Introduction to Robotics, Addison-Wesley Publishing, 1989. (за запитом викладачу)
4. Alonzo Kelly, Mobile Robotics: Mathematics, Models, and Methods, Cambridge University Press, 2013. (за запитом викладачу)
5. Sebastian Thrun, Wolfram Burgard, and Dieter Fox, Probabilistic Robotics, MIT Press, 2005. (за запитом викладачу)
6. Bruno Siciliano and Oussama Khatib, eds. Springer Handbook of Robotics, Springer, 2008. (за запитом викладачу)
7. Programming Robots with ROS: A Practical Introduction to the Robot Operating System, O'Reilly Media, Inc., 2015 (за запитом викладачу)

##### Додаткова література (факультативно / ознайомлення)

8. Peter Corke, Robotics, Vision and Control, Springer, 2011. (за запитом викладачу)
9. Roland Siegwart, Illah R. Nourbakhsh and Davide Scaramuzza, Introduction to Autonomous Mobile Robots, Second Edition, MIT Press 2011. (за запитом викладачу)

#### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Навчальна дисципліна охоплює 36 годин лекцій та 18 годин комп'ютерного практикуму, а також виконання 3 модульних контрольних робіт, тривалістю 0,5 акад. год. кожна.

Комп'ютерний практикум з дисципліни має на меті закріплення теоретичних положень навчальної дисципліни «Прикладна робототехніка та автономна навігація» і набуття студентами умінь і досвіду їх практичного застосування під керівництвом викладача шляхом виконання відповідно сформульованих завдань з методичними вказівками щодо їх виконання.

Термін виконання (тиждень)	Вид заняття та назви тем
1	<b>Лекція 1.</b> <i>Поняття, історичні передумови виникнення та еволюція роботів. Властивості роботів.</i>
2	<b>Лекція 2.</b> <i>Класифікація роботів. Застосування роботів у різних галузях. Компоненти промислового робота.</i> <b>Практика.</b> <i>Основи ROS (Robot Operating System). Історія та еволюція ROS. Архітектура ROS. Комунікація в системі ROS. Встановлення ROS.</i>
3	<b>Лекція 3.</b> <i>Автоматизація. Типи маніпуляторів. Ступені свободи.</i>

Термін виконання (тиждень)	Вид заняття та назви тем
4	<p><b>Лекція 4.</b> Кінематичний аналіз та синтез. Основні поняття теорії механізмів. Кінематична діаграма. Критерій Грублера-Куртцбаха для обчислення мобільності (DOF) планарного механізму.</p> <p><b>Практика.</b> Структура програм ROS. Конфігурування ROS. Структура папок ROS. Catkin Workspace.</p>
5	<p><b>Лекція 5.</b> 4-стрижневий механізм. Критерій Грашофа. Кінематика маніпулятора. Матриця повороту. Гомогенне перетворення. Параметри Денавіт-Хартенберга.</p> <p style="text-align: center;"><b>Модульна контрольна робота (частина I)</b></p>
6	<p><b>Лекція 6.</b> Кінематика мобільного робота. Типи колес. Вибір колес для мобільного робота. Диференціал. Маневреність мобільного робота. Ступінь мобільності. Ступінь керованості. Матриця повороту колісної бази.</p> <p><b>Практика.</b> ROS. Конфігурування ROS. Структура проекту ROS. Catkin Workspace.</p>
7	<p><b>Лекція 7.</b> Сенсори. Класифікація сенсорів. Характеристики сенсорів.</p>
8	<p><b>Лекція 8.</b> Застосування сенсорів в робототехніці. Машинний (технічний) зір. Комп'ютерний зір. Алгоритми комп'ютерного зору. Проблеми, які вирішує комп'ютерний зір.</p> <p><b>Практика.</b> Встановлення та основи роботи з роботом Turtlebot. Симуляція в Gazebo. Візуалізація в RVIZ. Інтерфейс RQT. Створення моделей та світів в Gazebo. SDF (Simulation Description Format).</p>
9	<p><b>Лекція 9.</b> Цифрове зображення. Піксель. Кольорові моделі. Характеристики відео. Можливості OpenCV. Операції з зображеннями в OpenCV (сегментація, порогове значення, визначення границь).</p> <p style="text-align: center;"><b>Модульна контрольна робота (частина II)</b></p>
10	<p><b>Лекція 10.</b> БПЛА. Системи координат БПЛА. Матриця повороту. Сили, що діють на БПЛА в польоті. Механіка польоту БПЛА.</p> <p><b>Практика.</b> Встановлення OpenCV. Обробка зображень та малювання фігур в OpenCV.</p>
11	<p><b>Лекція 11.</b> Автопілот. Задача навігації. Інерціальна система навігації. Архітектура Безплатформеної Інерціальної Навігаційної Системи (БІНС). Помилки інерціальних навігаційних систем. Супутникова система навігації. GPS. Assisted GPS.</p>
12	<p><b>Лекція 12.</b> Системи навігації з використанням технічного зору. Задача про 3 точки перспективи. Система навігації з використанням реперних маркерів. Маркери Aruco.</p> <p><b>Практика.</b> Опис структури робота. URDF (Universal Robot Description Format). Оптимізація URDF за допомогою XACRO. Створення файлів launch.</p>
13	<p><b>Лекція 13.</b> Система навігації з використанням оптичного потоку. Поняття оптичного потоку. Методи обчислення оптичного потоку. Метод Лукаса-Канаде. Піраміда зображень. Піраміда Гауса. Піраміда Лапласа. Точність навігації з використанням оптичного потоку.</p>
14	<p><b>Лекція 14.</b> Системи просторових вимірювань. Характеристики далекоміру. Стереозір.</p>

Термін виконання (тиждень)	Вид заняття та назви тем
	<b>Практика.</b> Створення мобільного робота з примітивів. Симуляція роботи далекоміра в Gazebo. Візуалізація в RVIZ.
15	<b>Лекція 15.</b> Побудова карти простору. Бінарна та ймовірнісна карти простору.
16	<b>Лекція 16.</b> Кореляційно-екстремальні навігаційні системи. Концепція SLAM. Алгоритм роботи SLAM на основі частинок. Графовий алгоритм SLAM. Сфери застосування. <b>Практика.</b> Створення маніпулятора. Застосування текстур у форматі .STL. Симуляція роботи з'єднань в Gazebo. Візуалізація в RVIZ.
17	<b>Лекція 17.</b> Планування маршруту. Траєкторія. Критерії оптимальності траєкторії. Глобальне та локальне планування маршруту. Система планування маршруту в БПЛА.
18	<b>Лекція 18.</b> Підходи до планування маршруту. Евристичний та оптимальний підходи. Алгоритми уникання перешкод. Гістограма векторного поля. <b>Практика.</b> Побудова світу з лабіринтом. Адаптація launch файлів робота Turtlebot. Побудова карти навколишнього простору. Побудова оптимального маршруту виходу Turtlebot з лабіринту. Автономна навігація.  <b>Модульна контрольна робота (частина III)</b>

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента включає підготування до поточних опитувань, комп'ютерних практикумів та модульної контрольної роботи, встановлення та налаштування необхідних середовищ симуляції та розробки програмного забезпечення за вказівками наданих інструкцій, та підготування електронних звітів до комп'ютерних практикумів у вказаний викладачем термін.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

**Відвідування занять.** Відсутність на аудиторному занятті не передбачає нарахування штрафних балів, оскільки фінальний рейтинговий бал студента формується виключно на основі оцінювання результатів навчання. При цьому контрольні заходи проводяться під час аудиторних занять.

**Пропущені контрольні заходи оцінювання.** Студенти, які пропустили контрольний захід з поважної причини (лікарняний, мобільність тощо) можуть бути сформовані у додаткову групу для проведення контрольного заходу в узгоджений час. Також письмовий контрольний захід може бути замінений на опитування в індивідуально узгоджений час.

**Календарний контроль** проводиться з метою підвищення якості навчання студентів та моніторингу виконання студентом вимог силабусу.

Критерій	Перший календарний контроль	Другий календарний контроль
Термін календарного контролю	Тиждень 8	Тиждень 14
Умови отримання позитивної оцінки	Поточний рейтинг $\geq 16$ балів	Поточний рейтинг $\geq 45$ балів

**Академічна доброчесність.** Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний

інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>. З метою забезпечення виконання академічної доброчесності при проведенні контрольних заходів онлайн, використовується електронна система контролю забезпечення доброчесності у вигляді додатку для google forms.

**Норми етичної поведінки.** Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

**Інклюзивне навчання.** Засвоєння знань та умінь в ході вивчення дисципліни «Прикладна робототехніка та автономна навігація» може бути доступним для більшості осіб з особливими освітніми потребами, окрім здобувачів з серйозними вадами зору, які не дають змогу виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

**Навчання іноземною мовою.** У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англомовних джерел.

**Призначення заохочувальних та штрафних балів.** Відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання сума всіх заохочувальних балів не може перевищувати 10% рейтингової шкали оцінювання. Студент, який надіслав електронний звіт до виконаного комп'ютерного практикуму, що містить підтвердження детального та правильного виконання усіх завдань, першим серед інших студентів, отримує заохочувальний бал. Штрафні бали не призначаються.

Підготування до семінарських занять та контрольних заходів здійснюється під час самостійної роботи студентів з можливістю консультування з викладачем у визначений час консультацій або за допомогою електронного листування (електронна пошта, месенджер Telegram).

## **8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

Семестровий контроль проводиться у вигляді заліку. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система та університетська шкала.

**Поточний контроль:** електронне звітування, МКР, опитування, захист лабораторних робіт.

**Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

**Семестровий контроль:** залік

**Рейтинг студента з кредитного модуля** складається з балів, що він отримує за:

- виконання модульних контрольних робіт (3 контролю);
- виконання лабораторних робіт (4 роботи);
- виконання домашніх завдань (1-3 на модуль).

**Критерії нарахування балів:** модульні контрольні роботи складаються з тестових завдань та задач та проводяться з дотриманням вимог академічної доброчесності. Загальна оцінка модульної контрольної роботи складає 26 балів.

Тестові завдання мають структуру однієї чи декількох правильних відповідей.

Завдання мають різний рівень складності.

Відповіді на теоретичні питання захищаються короткою теоретичною довідкою з питання, пояснюючою вибір відповіді.

Вирішення задач оцінюється за такими критеріями:

- «відмінно» – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 2 бали;
- «добре» – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 1,5 балів;
- «задовільно» – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та

незначні помилки – 0,5-1 бал;

– «незадовільно» – відповідь не відповідає вимогам на «задовільно» – 0 балів.

**Лабораторна робота (комп'ютерний практикум)** виконується у програмному комплексі та захищається з демонстрацією теоретичних знань та отриманих практичних навичок. Лабораторна робота оцінюється в 5 балів.

– «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 5 балів;

– «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 4 бали;

– «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 1-3 балів;

– «незадовільно», відповідь не відповідає умовам на «задовільно» – 0 балів.

Домашнє завдання оцінюється в 1 бал. У разі достатньо повної відповіді (більше 60% потрібної інформації) та творчого підходу та/або повної відповіді (не менше 60% потрібної інформації) та найшвидшого строку виконання у порівнянні з іншими студентами додається заохочувальний бал.

– «задовільно» повна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 1 бал;

– «незадовільно», відповідь не відповідає умовам на «задовільно» – 0 балів.

Для отримання заліку з навчальної дисципліни «автоматом» потрібно мати рейтинг не менше 60 балів, зараховані захисти МКР, а також зараховані чотири електронні звіти за результатами виконання завдань лабораторних робіт. Студенти, які наприкінці семестру мають рейтинг менше 60 балів за умови зарахування електронних звітів з лабораторних робіт, а також ті, хто бажає підвищити оцінку, проходять співбесіду (опитування).

У цьому разі, бали отримані ним на співбесіді (опитуванні) є остаточними.

Критерії оцінювання співбесіди:

– вичерпні відповіді на всі питання, а також на додаткові питання, чітке визначення всіх понять, величин: 95 ... 100 балів;

– в деяких відповідях мають місце непринципові неточності: 85-94 бали;

– в одній – двох відповідях мають місце змістовні неточності: 80-84 бали;

– в декількох відповідях мають місце змістовні невідповідності: 71-79 балів;

– допускаються окремі помилки, але їх можливо виправити за допомогою додаткових питань викладача, має місце знання основних понять і величин: 66-70 балів;

– припускаються суттєві помилки у відповідях, відсутня відповідь на одне з питань: 60-65 балів;

– відсутні відповіді на більшість питань або є грубі помилки – 0 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<b>Кількість балів</b>	<b>Оцінка</b>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

## **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

*Методи та форми навчання окрім традиційних університетських лекцій та практичних занять включають також відео уроки, текстові методичні вказівки, приклади виконання завдань з скріншотами з програмного забезпечення та зразками коду. Демонструється також робота прототипів таких роботизованих систем, як маніпулятор та мобільний робот, побудованих на базі Raspberry Pi та оснащених всіма необхідними сенсорами для навігації та сприйняття навколишнього середовища.*

*Комунікація з викладачем будується за допомогою використання інформаційної системи «Електронний кампус», а також такими інструментами комунікації, як електронна пошта, месенджер Telegram.*

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ

асистент кафедри ММСА Соболь Ольга Олександрівна

**Ухвалено** кафедрою ММСА (протокол № 13 від 05.06.2024)

**Погоджено** Методичною комісією НН ІПСА (протокол № 10 від 24.06.2024)