



# Алгоритми робототехніки

## 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>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС, 120 год. (лекції 36 год., практикум 18 год., СРС 66 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>Титаренко Андрій Миколайович, <a href="mailto:tytarenko.andrii@iit.kpi.ua">tytarenko.andrii@iit.kpi.ua</a></i> Практичні / Семінарські: <i>Титаренко Андрій Миколайович</i>
Розміщення курсу	<i>Moodle, web-page.</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

В наш час робототехніка стає все актуальнішою і проникає в ширші сфери повсякденного життя. Індустріальні роботи, автономні автомобілі, побутові роботи-пилососи – лише декілька з поширених застосувань робототехніки. Роботи замінюють людину в небезпечних для здоров'я роботах на електростанціях, удень і вночі пораються на складах та навіть боронять небо і землю України.

Крім того, методи та підходи, що розглянуті в рамках цієї дисципліни, широко використовуються в багатьох інших сферах, а тому її актуальність зовсім не обмежується суто робототехнічними застосуваннями.

*Предмет дисципліни:* методи та алгоритми, що лежать в основі застосунків робототехніки. Серед них методи зворотної кінематики, алгоритми комп'ютерного зору, глибокого навчання, SLAM, керування, фільтрації та інші.

*Мета дисципліни:* по-перше, познайомити студентів із трьома важливими розділами робототехніки – керуванням, моделюванням, та сприйняттям (perception). По-друге, дати можливість студентам застосувати та закріпити свої щойно надбані математичні знання та навички з програмування. По-третє, продемонструвати їм потенційні напрями для подальшого розвитку та навчання. Тим самим підвищити мотивацію вивчати більш просунуті дисципліни із навчальної програми «Системний аналіз».

Метою кредитного модуля є формування у студентів наступних *компетентностей*:

- вміння застосовувати математичні знання для вирішення практичних задач на прикладі робототехніки;
- здатність використовувати алгоритми та методи керування, моделювання та сприйняття. Їх розуміння на теоретичному та практичному рівнях

*Програмні результати навчання:*

- досвід використання математичних методів в практичних алгоритмах на прикладі робототехніки;
- вміння моделювати, описувати та вирішувати деякі задачі керування, локалізації, навігації та обробки зображень методами комп'ютерного зору;
- вміння використовувати алгоритми глибокого навчання для вирішення задач класифікації та виявлення об'єктів.

## 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

*Пререквізити:* вміння з програмування, базові математичні курси аналізу, лінійної алгебри, теорії імовірностей та диференціальних рівнянь.

*Постреквізити:* вміння моделювати, описувати та вирішувати деякі задачі керування, локалізації, навігації та обробки зображень методами комп'ютерного зору, вміння використовувати алгоритми глибокого навчання для вирішення задач класифікації та виявлення об'єктів.

Дисципліна належить до вибіркових навчальних дисциплін. Під час вивчення дисципліни використовуються знання з попередніх модулів бакалаврської підготовки: програмування та алгоритмічні мови; лінійна алгебра; математичний аналіз; диференціальні рівняння; теорія ймовірностей; математична статистика. Результати вивчення дисципліни застосовуються у подальшій практичній роботі та при підготовці бакалаврської дисертації.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ.

Тема 1.1. Робототехніка. Історія досліджень. Поточний розвиток.

Тема 1.2. Огляд і логістика курсу.

Розділ 2. Моделювання та керування

Тема 2.1. Дискретне керування.

Тема 2.2. Вступ до моделювання. Стан, з'єднання, ступені свободи.

Тема 2.3. Вступ до керування. Марківські процеси прийняття рішень.

Тема 2.4. Алгоритми прямої кінематики. Обчислення стану.

Тема 2.5. Зворотна кінематика. Обчислення стану за неповною інформацією.

Тема 2.6. LQR та LQG. Магія матриць для керування.

Тема 2.7. Огляд подальших тем. Що далі.

Розділ 3. Сприйняття I. Комп'ютерний зір.

Тема 3.1. Оптимізація. Умовна та безумовна. Градієнтний спуск.

Тема 3.2. Локальні ознаки. SIFT, SURF, ORB

Тема 3.3. Глибоке навчання для інженерів. Основи.

Тема 3.4. Класифікація зображень.

Тема 3.5. Виявлення та локалізація об'єктів. Архітектури YOLO.

Тема 3.6. Практичні питання. Метрики, функції втрат. Розгортання нейромереж.

Тема 3.7. Огляд подальших тем. Що далі.

Розділ 4. Сприйняття II. Локалізація та навігація.

Тема 4.1. Баєсівська фільтрація. Рекурсивна фільтрація для відновлення стану.

Тема 4.2. Гаусівські фільтри. Фільтр Калмана. Розширений фільтр Калмана.

Тема 4.3. Вступ до алгоритмів SLAM. Локалізація та побудова мапи.

Тема 4.4. Імплементация SLAM. Вектори локальних ознак.

Тема 4.5. Хмари точок. Побудова мапи.

Тема 4.6. Огляд подальших тем. Що далі.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

1. Thrun, Sebastian. "Probabilistic robotics." *Communications of the ACM* 45.3 (2002): 52-57.
2. Mueller, Andreas. "Modern robotics: Mechanics, planning, and control [bookshelf]." *IEEE Control Systems Magazine* 39.6 (2019): 100-102.

#### Додаткова література

3. Goodfellow, Ian, Yoshua Bengio, and Aaron Courville. *Deep learning*. MIT press, 2016.
4. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підручник / Ю. П. Зайченко. –К.: ВІПОЛ, 2000.
5. Boyd, Stephen, Stephen P. Boyd, and Lieven Vandenberghe. *Convex optimization*. Cambridge university press, 2004.
6. Tedrake, Russ. "Underactuated robotics: Learning, planning, and control for efficient and agile machines course notes for MIT 6.832." *Working draft edition 3* (2009).
7. Hartley, Richard, and Andrew Zisserman. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press, 2003.

### Навчальний контент

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

Методи навчання включають.

1. Лекції: мультимедійні презентації з ілюстрацією прикладів на дошці.
2. Комп'ютерний практикум заняття: групові виконання завдань у навчальній лабораторії, консультації у відведені для цього години.

#### Перелік тем лекційних занять

№ заняття	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	<b>Лекція 1</b> Вступ до робототехніки Робототехніка. Історія досліджень. Поточний розвиток. Огляд і логістика курсу. Вступ до моделювання. Стан, з'єднання, ступені свободи. Література: 1, 2. Самостійна робота: вивчення моделей із з'єднаннями. Підрахунок ступенів свободи.
2.	<b>Лекція 2.</b> Керування та пряма кінематика. Вступ до керування. Марківські процеси прийняття рішень. Алгоритми прямої кінематики. Обчислення стану. Література: 1, 2. Самостійна робота: класичні алгоритми вирішення МППР.
3.	<b>Лекція 3.</b> Зворотна кінематика. Означення зворотної кінематики. Зворотна кінематика. Обчислення стану за неповною інформацією. Література: 1, 2, 6. Самостійна робота: вивчення проблем практичного застосування ЗК.
4.	<b>Лекція 4.</b> Маятники та чому вони цікаві. Динаміка. Маятник. Зворотній маятник. Як тримати баланс.

№ заняття	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Література: 1, 2, 6. Самостійна робота: тривимірні випадки прямого та зворотного маятників.
5.	<b>Лекція 5.</b> Планування за допомогою LQR. LQR та LQG. Магія матриць для керування. Задача лінійно-квадратичного керування. Нелінійні випадки. Ітеративний LQR. Література: 1, 2, 6. Самостійна робота: порівняння лінеаризованого LQR та iLQR.
6.	<b>Лекція 6.</b> Квадрокоптери. Квадратори. Принципи польоту коптерів. Огляд подальших тем. Що далі. Література: 1, 2, 6. Самостійна робота: розглянути рівняння тривимірного квадратору.
7.	<b>Лекція 7.</b> Вступ до оптимізації. Оптимізація. Умовна та безумовна оптимізація. Градiєнтний спуск. Література: 1, 4, 5. Самостійна робота: вивчення модифікацій градієнтного спуску.
8.	<b>Лекція 8.</b> Основи комп'ютерного зору. Фільтрація зображень. Обробка зображень. Фільтри. Література: 1, 7. Самостійна робота: вивчення практичних застосувань на базі фільтрації.
9.	<b>Лекція 9.</b> Класичні алгоритми обчислення ознак. Локальні ознаки. Алгоритми SIFT, SURF, ORB. Література: 1, 7. Самостійна робота: вивчення задачі пошуку відповідних точок на зображеннях панорами.
10.	<b>Лекція 10.</b> Глибоке навчання. Глибоке навчання для інженерів. Основи. Фреймворк автоматичного диференціювання PyTorch. Література: 1, 3. Самостійна робота: засвоєння принципів роботи із PyTorch.
11.	<b>Лекція 11.</b> Класифікація. Задача класифікації зображень. Історія розвитку. Крос-ентропія. Архітектури класифікації зображень. Література: 1, 3. Самостійна робота: вивчення легких мобільних архітектур класифікації.
12.	<b>Лекція 12.</b> Задача виявлення та локалізації об'єктів. Задача виявлення та локалізації. Архітектури сімейства YOLO. Література: 1, 3. Самостійна робота: порівняння декодування в архітектурах YOLO.
13.	<b>Лекція 13.</b> Додаткові теми. Практичні питання. Практичні питання.

№ заняття	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Метрики, функції втрат, розгортання нейромереж. Огляд подальших тем. Що далі. Література: 3. Самостійна робота: огляд платформ для розгортання нейромереж.
14.	<b>Лекція 14.</b> Фільтрація та її застосування. Байєсівська фільтрація. Рекурсивна фільтрація для відновлення стану. Гаусівські фільтри. Література: 1. Самостійна робота: вивчення методів згладжування.
15.	<b>Лекція 15.</b> Фільтри Калмана. Лінійний фільтр Калмана. Розширений фільтр Калмана. Література: 1. Самостійна робота: вивчення модифікації фільтра Калмана UKF.
16.	<b>Лекція 16.</b> Задача SLAM - одночасна локалізація і картографування. Вступ до алгоритмів SLAM. Локалізація та побудова мапи. Література: 1. Самостійна робота: засвоєння етапів локалізації і картографування.
17.	<b>Лекція 17.</b> Практичні алгоритми SLAM. Імплементация SLAM. Вектори локальних ознак. Література: 1. Самостійна робота: порівняння основних типів імплементаций SLAM.
18.	<b>Лекція 18.</b> Хмари точок. SLAM за хмарою точок. Хмари точок. Методи обробки. Побудова мапи. Огляд подальших тем. Що далі. Література: 1. Самостійна робота: вивчення методів фільтрації хмар точок.

Комп'ютерний практикум використовуються для отримання та закріплення знань і навичок, висвітлених в лекційній частині курсу та під час самостійного вивчення студентами першоджерел. Основні завдання комп'ютерного практикуму – імплементация алгоритмів робототехніки для задач керування та сприйняття.

#### Перелік тем і завдань комп'ютерного практикуму

№ заняття	Назва практичної роботи
1	Алгоритми зворотного керування. Керування роботизованою рукою.
2, 3	Алгоритми керування акроботом та квадатором.
4	Контрольна робота за пройденим матеріалом.
5, 6	Градiєнтний спуск. Повні нейронні мережі. Згорткові нейронні мережі.
7, 8	Алгоритми класифікації. Застосування алгоритмів виявлення та локалізації.
9	Алгоритми трекінгу. Застосування SLAM.

У порядку чи тематиці занять можуть бути зміни, викликані наперед невизначеними обставинами. Слідкуйте за оголошеннями викладачів курсу.

## 6. Самостійна робота студента

У відповідності до робочого навчального плану передбачено 66 годин самостійної роботи студентів, з яких 8 годин - на підготовку до заліку і 58 годин на підготовку до аудиторних занять, опрацювання матеріалів лекцій, самостійний розв'язок додаткових задач та ознайомлення із навчальною літературою відповідно до структури дисципліни. Робота направлена на засвоєння та поглиблення вивченого матеріалу та на підготовку до занять та семестрового контролю. Самостійна робота студентів передбачає:

- закріплення знань, отриманих під час вивчення дисципліни;
- здобуття навичок самостійного вивчення матеріалу.

Перед кожним лекційним заняттям, окрім першого, студент переглядає надані матеріали та рекомендовані джерела, що стосуються теми лекції.

Перед кожним практичним заняттям студент ознайомлюється з темою та завданнями, запланованими на заняття, повторює теоретичний матеріал.

## Політика та контроль

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

#### Правила відвідування занять

Студентам рекомендується відвідувати аудиторні заняття. Проте, в разі необхідності студент може пропустити заняття без попереднього повідомлення викладача. Лекційні заняття будуть записуватися для подальшої можливості перегляду онлайн.

#### Правила поведінки на заняттях

На заняттях передбачається активність студентів, пов'язана з навчальним процесом, включення в інтерактивні форми та методи навчання.

Під час комп'ютерного практикуму, окрім наявного в лабораторії обладнання, студент може користуватися власним ноутбуком.

#### Правила виконання і захисту практичних робіт

Навчальна лабораторія обладнана персональними комп'ютерами для виконання практичних завдань. До їх використання допускаються лише студенти, які пройшли відповідний інструктаж з техніки безпеки та правил використання обладнання.

Певні завдання комп'ютерного практикуму виконуються бригадами з кількох студентів. Проте за замовчуванням завдання є індивідуальними.

До захисту роботи допускаються студенти, які правильно виконали практичне завдання та мають підтвердження у вигляді завіреного викладачем протоколу. Захист проходить у форматі індивідуального спілкування студента з викладачем по тематиці роботи та виконання практичного завдання.

#### Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

За узгодженням з викладачем студент може виконувати додаткові завдання чи брати участь у модернізації методичного забезпечення дисципліни. Заохоченням до подібної успішної роботи є додаткові рейтингові бали загальним обсягом до 10% від максимального рейтингового балу шкали оцінювання. Кількість та правила нарахування балів узгоджується викладачем у кожному окремому випадку.

Захист практичної роботи проводиться на занятті із комп'ютерного практикуму, на якому видане завдання, або на одному з наступних календарних практичних заняттях, що проходять до зазначеного дедлайну. Деякі завдання мають автоматизовану систему оцінювання і захисту.

#### Політика дедлайнів та перескладань

Студент, який з будь-яких причин не зміг вчасно виконати та захистити практичну роботу, може це зробити на наступних практичних заняттях за умови доступності обладнання та часу у викладачів. Під час виконання та захисту практичних робіт пріоритет надається студентам, які виконують завдання згідно календарного плану. Виконання та/або захист практичної роботи після

відведеного на неї строку призводить до зниження максимального балу, який студент може отримати за цей вид роботи.

Допуск до перескладання заходів семестрового контролю та самі перескладання здійснюються згідно правил Університету у терміни, визначені Університетом.

#### **Політика щодо академічної доброчесності**

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>.

У разі виявлення порушення академічної доброчесності результати роботи студента, які стосуються недоброчесності, анулюються.

#### **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>.

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

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) контрольну роботу (20 балів);
- 2) комп'ютерний практикум (80 балів).

#### **Система рейтингових балів**

##### **1. Контрольна робота (максимум 20 балів):**

- a. творче розкриття завдання (не менше 90% потрібної інформації) – 18...20 балів;
- b. глибоке розкриття завдання (не менше 75% потрібної інформації), незначні неточності або неповні відповіді – 15...18 балів;
- c. достатнє розкриття завдання (не менше 60% потрібної інформації) або часткова наявність помилкової інформації – 11...15 балів;
- d. відповідь не розкриває завдання або містить помилкову інформацію – 0 балів.

##### **2. Комп'ютерний практикум (максимум 20 бали за кожну роботу).**

Максимальна кількість балів за виконання циклу комп'ютерного практикуму дорівнює  $20 \times 4 = 80$  балів. Комп'ютерний практикум проводиться в якості захисту практичних робіт. Критерії оцінювання:

- a. 18...20 балів – повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації);
- b. 15...18 балів – достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації);
- c. 11...15 балів – неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації);
- d. 0 балів – незадовільна відповідь.

#### **Штрафні та заохочувальні бали:**

- якщо завдання практичних робіт здається невчасно (пізніше встановленого строку) без поважної причини, то нараховується 2 штрафних бали (знімається 2 бали від максимальної оцінки);
- за активність на лекційних заняттях надається від 1 до 5 заохочувальних балів.

Сума штрафних та заохочувальних балів не може перевищувати 5 балів.

#### **Умови позитивного календарного контролю (атестації)**

Для отримання «атестовано» з першого календарного контролю (першої атестації) студент повинен мати не менше ніж 15 балів та виконання всіх завдань практичних робіт (на час атестації).

Умовою другого календарного контролю – отримання не менше 30 балів, виконання всіх завдань практичних робіт (на час атестації).

### Умови атестації

Умовою атестації студента є виконання усіх поточних контрольних заходів та рейтинг більший за 30 балів. На останньому практичному занятті (за розкладом) проводиться семестрова атестація. Студенти, які отримали за рейтингом позитивну оцінку (набрали протягом семестру не менше ніж 60 балів ( $RD \geq 60$ )), можуть бути атестовані за цими балами без написання контрольної роботи. Студенти, які отримали менше 60 балів, а також ті, хто хоче підвищити оцінку, виконують контрольну роботу і захищають її у вигляді співбесіди. У цьому разі рейтингова оцінка складається з результатів роботи в семестрі (RD) та результатів контрольної роботи. Якщо контрольна робота не може бути позитивно оцінена, то сумарна рейтингова оцінка залишається незмінною.

Максимальна кількість балів за контрольну роботу – 40.

- вичерпна відповідь – 36...40 балів;
- відповідь з незначними помилками – 30...35 балів;
- неповна відповідь та незначні помилки – 24...29 балів;
- грубі помилки – 18...23.
- незадовільна відповідь – 0 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

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

У рамках опанування дисципліни «Алгоритми робототехніки» допускається можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою (за попереднім узгодженням викладачем). Кількість балів визначається після аналізу програми, тривалості та результатів курсу, вказаного у сертифікаті.

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

**Складено** Асистентом кафедри математичних методів системного аналізу ІПСА Титаренком Андрієм Миколайовичем

**Ухвалено** кафедрою ММСА (протокол № 13 від 05.06. 2024)

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

---