



НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>G «Інженерія, виробництво та будівництво»</i>
Спеціальність	<i>G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кр. (150 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / поточний контроль, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Згідно з розкладом на сайті https://schedule.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доц. Лакоза Сергій Леонідович, s.lakoza@kpi.ua Комп. Практикуми : к.т.н., доц. Лакоза Сергій Леонідович, s.lakoza@kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Google Classroom Код класу <code>pedr4fv</code> Посилання для запрошення https://classroom.google.com/c/MTQ2NTMyMjY5NTUx?cjc=pedr4fv</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Навігаційні системи» призначена надати студентам знання з принципів побудови, схем та характеристик, методів дослідження і проектування навігаційних систем. Після проходження дисципліни студент знатиме підходи щодо складання математичних моделей навігаційних систем; застосовування методів підвищення точності навігаційних приладів і систем, основні причини похибок; методи комп'ютерного моделювання навігаційних систем.

Метою освітнього компоненту є підсилення у студентів здатностей:

- ЗК03. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- СК02. Здатність проектувати та впроваджувати високонадійні системи автоматизації та їх прикладне програмне забезпечення, для реалізації функцій управління та опрацювання інформації, здійснювати захист прав інтелектуальної власності на нові проектні та інженерні рішення.

- *СК03. Здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.*
- *СК06. Здатність застосовувати сучасні методи теорії автоматичного керування для розроблення автоматизованих систем управління технологічними процесами та об'єктами.*

Основні завдання освітнього компоненту.

Після засвоєння дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- *РН02. Створювати високонадійні системи автоматизації з високим рівнем функціональної та інформаційної безпеки програмних та технічних засобів.*
- *РН04. Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами.*
- *РН10. Розробляти і використовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для створення систем автоматизації складними організаційно-технічними об'єктами, професійно володіти спеціальними програмними засобами.*
- *РН13. Використовувати спеціальний математичний інструментарій для моделювання, аналізу та ідентифікації приладів і систем автоматизації, та процесів, що в них протікають.*

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

Вивчення дисципліни базується на знаннях отриманих на попередньому рівні вищої освіти.

У подальшому знання та вміння, одержані при вивченні цієї дисципліни, використовуються у спеціальних і професійно-орієнтованих дисциплінах, наукових дослідженнях за темою магістерської дисертації та при виконанні випускної кваліфікаційної роботи.

3. Зміст навчальної дисципліни

- **Вступ**
- **Розділ 1. Фізичні поля Землі та системи координат**
 - Тема 1.1. Фізичні поля Землі.
 - Тема 1.2. Системи координат, що використовуються в навігації.
- **Розділ 2. Інерціальні навігаційні системи**
 - Тема 2.1. Акселерометри.
 - Тема 2.2. Загальні принципи побудови ІНС. Кінематичні та навігаційні параметри.
 - Тема 2.3. Алгоритми ІНС та БІНС у супроводжуючих та інерціальних системах координат.
 - Тема 2.4. Методичні та інструментальні похибки ІНС.
 - Тема 2.5. Початкова виставка ІНС та БІНС.
- **Розділ 3. Неінерціальні навігаційні системи**
 - Тема 3.1. Радіотехнічні системи
 - Тема 3.2. Супутникові навігаційні системи
 - Тема 3.3. Астронавігаційні прилади
- **Розділ 4. Навігаційно-пілотажні комплекси**
 - Тема 4.1. Комплексування навігаційних систем
 - Тема 4.2. Демпфування і корекція НС

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Математичні основи інерціальної навігації: навч. посіб. / В.Б. Успенський, О.А.Татарінова. – Х.: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ»», 2017.- 192 с.
2. Лазарєв Ю. Ф. Алгоритми безплатформових інерціальних систем орієнтації (прикладні методи синтезу і аналізу точності) [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», спеціалізації «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування» / Ю. Ф. Лазарєв, О. М. Сапегін . – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 141 с.

Додаткова література

1. Голубек О.В. Основи навігації та орієнтації ракет-носіїв: Навчальний посібник / О.В. Голубєв, А.П. Лебедь. — Д.: Ліра, 2015. — 136с.
2. Збруцький О.В. Гірокомпаси для навігації та наведення / О.В. Збруцький, А.С. Довгополий, О.І. Нестеренко, В.М. Григор'єв. — Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, «Політехніка», 2017. — 200 с.
3. Некрасова, М. В. Гібридна інерціальна навігаційна система для об'єктів з високою кутовою динамікою : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.03 — гіроскопи та навігаційні системи / Некрасова Марія Володимирівна. — Київ, 2019. — 134 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Основні форми навчання - лекції, комп'ютерні практикуми та самостійна робота студентів. Самостійна робота студентів передбачає закріплення знань за матеріалами лекцій та їх поглиблення, виконання контрольних робіт згідно календарного графіку проходження тем, самостійне вивчення окремих питань за рекомендованими навчально-методичними матеріалами.

На лекціях студентам викладаються теоретичні основи дисципліни.

Лекційні заняття:

Розділ 1. Фізичні поля Землі та системи координат

1. Задача навігації, історична довідка. Методи навігації. Фізичні поля Землі.
2. Системи координат та перетворення між ними.

Розділ 2. Інерціальні навігаційні системи

3. Принцип роботи акселерометра. Типи акселерометрів. Основне рівняння інерціальної навігації. Принципи побудови ІНС та БІНС. Інерціальна вертикаль.
4. Кінематичні параметри. Кінематичні рівняння Ейлера та кінематичні рівняння Пуассона для визначення орієнтації.
5. Рівняння орієнтація в кватерніонах. Вектор скінченного повороту та його застосування до задачі визначення орієнтації об'єкта. Прискорення, швидкість та положення об'єкта у різних системах координат.

6. Платформна ІНС напіваналітичного типу та її рівняння руху. ІНС в географічній системі координат. ІНС із вільною в азимуті орієнтацією акселерометрів. Північний канал ІНС. Структурно-кінематичні схеми ІНС.
7. Алгоритми БІНС в географічній системі координат з кінематичним рівнянням Пуассона. Алгоритми БІНС в географічній системі координат з кінематичним рівнянням в кватерніонах. Алгоритми ІНС та БІНС в інерціальній СК.
8. Методичні похибки ІНС напіваналітичного типу.
9. Інструментальні похибки горизонтальних каналів ІНС. Похибки азимутального каналу ІНС. Загальні особливості інструментальних похибок.
10. Грубе та точне горизонтування платформної ІНС. Фізичне гірокомпасування. Аналітичне гірокомпасування.
11. Початкова виставка БІНС.

Розділ 3. Неінерціальні навігаційні системи

12. Далекомірні системи навігації. Різницево-daleкомірні, кутомірні, кутомірно-daleкомірні системи навігації. Метеонавігаційні радіолокаційні станції. Радіовисотоміри. Небесна сфера та навігаційні системи. Координати світил, методи їх визначення. Астрономічні методи визначення курсу..
13. Супутникові системи навігації GPS "NAVSTAR", Galileo, Beidu, SBAS. Принцип роботи. Наземний та космічний комплекс, що забезпечує роботу GPS "NAVSTAR". Опис та характеристика сигналу супутників на частотах L1 та L2.

Розділ 4. Пілотажно-навігаційні комплекси

14. Комплексні навігаційні системи. Демпфування та корекція ІНС. Інтегровані системи та можливості їх оптимізації.
15. Алгоритми комплексування інерціальних систем з супутниковими системами.

Комп'ютерні практикуми:

Комп'ютерні практикуми призначені для поглиблення розуміння роботи інерціальних навігаційних систем, ознайомлення з реальними конструкціями та алгоритмами ІНС та БІНС, з дослідженням їх характеристик.

1. Кінематичні перетворення між системами координат із застосуванням формул сферичної тригонометрії, матричним методом. Створення програмних засобів їх реалізації.
2. Отримання кінематичних рівнянь Ейлера. Базова модель для задання орієнтації об'єкта за умови використання необертової опорної системи координат. Комп'ютерне моделювання кінематичних рівнянь Ейлера засобами Simulink, задання параметрів моделювання у скриптах Matlab та їх використання у моделях Simulink. Отримання похибок алгоритму орієнтації. Алгоритм реальної роботи з врахуванням характеристик чутливих елементів.
3. Отримання кінематичних рівнянь Пуассона та кінематичних рівнянь в кватерніонах. Комп'ютерне моделювання кінематичних рівнянь Ейлера засобами Simulink. Отримання похибок алгоритмів орієнтації. Алгоритми реальної роботи для врахування характеристик чутливих елементів. Виведення результатів моделювання в робочий простір Matlab для їх оформлення.
4. Моделювання одноканального алгоритму північного каналу ІНС/БІНС в географічній системі координат. Найпростіша модель задання лінійного руху об'єкта на поверхні Землі.
5. Моделювання повного алгоритму БІНС у обертовій системі координат (географічна супроводжуюча СК, напіввільна в азимуті СК, вільна в азимуті СК). Створення повної моделі для опису навігаційних переміщень об'єкта в сферичній системі координат.

Врахування еліптичності Землі та моделі реального поля сили тяжіння. Ідеальний та реальний алгоритм, моделювання похибок.

6. Моделювання комплексної (інтегрованої) навігаційної системи

Комп'ютерні практикуми №1, №2, №3 розраховані на 2 практичні занятті. Комп'ютерні практикуми №4, №5, №6 розраховані на 3 практичні занятті.

Контрольні роботи

За навчальним планом передбачено модульну контрольну роботу, що поділена на 2 контрольні роботи впродовж семестру. Контрольні роботи проводяться на комп'ютерних практикумах у вигляді письмових робіт після вивчення відповідних тем згідно порядку лекцій:

Контрольна робота №1. Розрахунок похибок навігаційних систем.

Контрольна робота №2. Неінерціальні навігаційні системи.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів передбачає закріплення знань за матеріалами лекцій та їх поглиблення, виконання розрахунково-графічної роботи згідно індивідуального завдання, самостійне вивчення окремих питань за рекомендованими навчально-методичними матеріалами. Також питання, що виносяться на самостійне опрацювання вказані в описі лекційних та лабораторних занять.

На самостійну роботу студентів виділяється 78 годин, з яких 30 годин - на підготовку до екзамену, 4 години – на виконання модульної контрольної роботи, 44 годин на опрацювання матеріалів лекцій, комп'ютерних практикумів та навчальної літератури відповідно до структури дисципліни.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Перед студентом ставляться наступні вимоги:

- **правила відвідування занять:**
 - не запізнюватись на заняття; при запізненні більш ніж на 15 хв., заходити на другу пів пару, щоб не відволікати присутніх; попереджати про пропуск заняття з поважної причини чи у разі хвороби (підтвердити ксерокопією медичної довідки);
 - при навчанні в дистанційному режимі: Zoom-конференція за посиланням, яке надає викладач.
- **правила поведінки на заняттях:**
 - забороняється займатися будь-якою діяльністю, яка прямо не стосується дисципліни;
 - дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку необхідної для виконання завдань інформації в інтернеті;
 - забороняється будь-яким чином зривати проведення занять;
- **правила захисту практикумів (лабораторних робіт):**
 - захист проходить на практичному занятті (комп'ютерному практикумі), студенти надсилає оформлений протокол роботи на електронну адресу викладача, дозволяється дублювати в месенджер Telegram;
 - у окремих випадках (за наявності документально підтверджених вагомих причин) допускається можливість індивідуального захисту;
- **правила призначення заохочувальних балів:**
 - заохочувальні – за виконання ускладнених завдань;

- максимальна кількість заохочувальних балів визначається відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положення про поточний, календарний та семестровий контролю результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також інших Положень та рекомендацій, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- **політика дедлайнів та перескладань:**
 - перескладання будь-яких контрольних заходів передбачено тільки за наявності документально підтверджених вагомих причин;
 - вчасним захист вважається в межах одного заняття наступного комп'ютерного практикуму (поточним вважається комп'ютерний практикум, завдання з якого хоче захистити студент) навчального часу відповідно до силабусу та/або календарного плану;
 - невчасним вважається захист робіт з затримкою більше ніж на два заняття наступного комп'ютерного практикуму, порушення даного дедлайну призводить до оцінювання робіт з максимально можливою кількістю балів, яка складає 75 % від максимальної кількості балів вказаних п.8 «Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання». У випадку захисту робіт з затримкою на більше ніж 4 практичних занять порушення даного дедлайну призводить до оцінювання робіт з максимально можливою кількістю балів, яка складає 60 % від максимальної кількості балів вказаних п.8 «Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання»;
- **політика округлення рейтингових балів:**
 - округлення рейтингового балу відбувається до цілого числа;
 - при округленні до цілого числа всі цифри, що йдуть за наступним розрядом замінюються нулями;
 - якщо цифра розряду, що залишився, 5 або більша, то ціле число збільшується на одиницю, а розряд прирівнюється до нуля;
 - якщо цифра розряду, що залишився, менша за 5, то ціле число не змінюється, а розряд прирівнюється до нуля.
- **політика оцінювання контрольних заходів:**
 - оцінювання контрольних заходів відбувається відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положення про поточний, календарний та семестровий контролю результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, а також інших Положень та рекомендацій, які діють в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
 - нижня межа позитивного оцінювання кожного контрольного заходу має бути не менше 50% від балів, визначених для цього контрольного заходу;
 - негативний результат оцінюється в 0 балів.

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського. Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі КПІ ім. Ігоря Сікорського. Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають право підняти будь-яке питання, яке стосується процедури проведення або оцінювання контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто комісією.

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

Повна шкала – R=100 балів

Поточний контроль – 60 балів

Екзамен – 40 балів.

Поточний контроль:

№	Назва контрольного заходу	Кількість	Ваговий бал	Усього
1	виконання та захист комп'ютерних практикумів (комп'ютерні практикуми №1-6 відповідно до п.5 «Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)» силабусу)	6	8	48
3	виконання контрольних робіт з МКР	2	6	12
5	Заохочувальні бали – до 5 балів.			
Усього:				60

Комп. практикум оцінюється у 8 балів:

- повне та вчасне виконання завдання без помилок – 8 бали;
- повне та вчасне виконання завдання з незначними помилками – 7-6,4 бали;
- повне виконання завдання з незначними помилками, але з запізненням виконання – 6 балів.
- неповне виконання завдання з помилками (без втрати цінності виконаної роботи), з запізненням виконання та захисту – 4,8 бали.
- робота не виконана або виконана із численними та грубими помилками – 0 балів.

Модульна контрольна робота складається контрольних робіт, кожна з яких оцінюється в 6 балів:

- повне виконання завдання без помилок – 6 балів;
- повне виконання завдання з незначними помилками – 5 балів;
- часткове виконання завдання, або виконання з суттєвими помилками – 3,6 бали;
- невиконання завдання – 0 балів.

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

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (7 тиждень) студент матиме не менш ніж 9 балів (за умови, якщо на початок 7 тижня згідно з календарним планом «ідеальний» студент має отримати 16 балів).

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (13 тиждень) студент матиме не менш 18 балів (за умови, якщо на початок 13 тижня згідно з календарним планом «ідеальний» студент має отримати 38 балів).

Семестровий контроль: Екзамен (усний)

Складова семестрового контролю складає 50 балів.

Умови допуску до семестрового контролю – виконання та захист на позитивну оцінку 4 з 6 комп'ютерних практикумів, зарахування МКР, семестровий стартовий рейтинг не менше 36 балів.

Критерії екзаменаційного оцінювання

Екзаменаційний білет містить два теоретичних питання і одне практичне. Кожне теоретичне питання оцінюється у 15 балів, а практичне – 10 балів.

1. Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 15-14 балів;

- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 13-11 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 10-9 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

2. Система оцінювання практичного запитання:

- «відмінно», повне безпомилкове розв'язування завдання – 10-9 балів;
- «добре», повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями – 8-7 балів;
- «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 7-6 балів;
- «незадовільно», завдання не виконано – 0 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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 «Навігаційні системи» допускається можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри КІОНС, к.т.н., доц., Лакозою Сергієм Леонідовичем.

Ухвалено кафедрою комп'ютерно-інтегрованих оптичних і навігаційних системи (протокол № 2/2 від 8.10.2025року)

Погоджено Методичною комісією приладобудівного факультету (протокол № 10-1/25 від 13.10.2025 року)