



# НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

|   |   |
|---|---|
| Рівень вищої освіти                         | <i>Другий (магістерський)</i>   |
| Галузь знань                                | <i>15 Автоматизація та приладобудування</i>   |
| Спеціальність                               | <i>151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології</i>  |
| Освітня програма                            | <i>Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні</i>   |
| Статус дисципліни                           | <i>Вибіркова</i>  |
| Форма навчання                              | <i>заочна</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, домашня контрольна робота</i>   |
| Розклад занять                              | <i>Згідно з розкладом на сайті <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>  |
| Мова викладання                             | <i>Українська</i>   |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | <i>Лектор: к.т.н., доц. Лакоза Сергій Леонідович, <a href="mailto:s.lakoza@kpi.ua">s.lakoza@kpi.ua</a><br/>Комп. Практикуми : к.т.н., доц. Лакоза Сергій Леонідович, <a href="mailto:s.lakoza@kpi.ua">s.lakoza@kpi.ua</a></i>     |
| Розміщення курсу                            | <i>Google Classroom<br/>Код класу <code>pedr4fv</code><br/>Посилання для запрошення<br/><a href="https://classroom.google.com/c/MTQ2NTMyMjY5NTUx?cjc=pedr4fv">https://classroom.google.com/c/MTQ2NTMyMjY5NTUx?cjc=pedr4fv</a></i> |

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення 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 супроводжуваних 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. Демпфірування і корекція ІНС*

#### 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. Лазарев 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. Лазарев, О. М. Сапегін . – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 141 с.

##### **Додаткова література**

1. Голубек О.В. Основи навігації та орієнтації ракет-носії: Навчальний посібник / О.В. Голубев, 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. Григорьев. – 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 домашньої контрольної роботи згідно індивідуальних завдань, самостійне вивчення частини питань за рекомендованими навчально-методичними матеріалами.

На лекціях студентам викладаються теоретичні основи дисципліни.

##### *Лекційні заняття:*

1. Задача навігації, історична довідка. Методи навігації. Фізичні поля Землі. Системи координат та перетворення між ними.
2. Принцип роботи акселерометра. Типи акселерометрів. Основне рівняння інерціальної навігації. Принципи побудови ІНС та БІНС. Інерціальна вертикаль.
3. Кінематичні параметри. Кінематичні рівняння Ейлера та кінематичні рівняння Пуассона для визначення орієнтації.
4. Платформні 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.
5. 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.

### Комп'ютерні практикуми:

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

1. Кінематичні перетворення між системами координат із застосуванням формул сферичної тригонометрії, матричним методом. Створення власних програмних засобів для їх реалізації.
2. Отримання кінематичних рівнянь Ейлера відповідно до заданої кінематики. 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 для врахування характеристик реальних чутливих елементів.
3. Моделювання одноканального алгоритму північного каналу ІНС/БІНС в географічній системі координат. Найпростіша модель задання лінійного руху об'єкта на поверхні Землі.

Другий та третій комп'ютерні практикуми розраховані на 2 практичні занятті.

### Індивідуальні завдання

За планом передбачене виконання контрольної роботи (ДКР). Метою ДКР є придбання студентами навичок самостійного поглибленого вивчення окремих питань теорії, розрахунку навігаційних приладів і систем, моделювання їх на ЕОМ. ДКР складається з 10 задач по розрахунку чисельного моделювання основних питань щодо розробки навігаційних систем та їх складових, оцінки основних похибок навігаційних алгоритмів, питання корекції навігаційних систем.

### 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів передбачає закріплення знань за матеріалами лекцій та їх поглиблення, виконання домашньої контрольної роботи, самостійне вивчення частини питань за рекомендованими навчально-методичними матеріалами.

На самостійну роботу студентів виділяється 130 годин, з яких 30 годин - на підготовку до екзамену, 20 годин – на виконання домашньої контрольної роботи, 80 годин на опрацювання матеріалів лекцій, практичних робіт та навчальної літератури відповідно до структури дисципліни.

#### Матеріал для самостійного опрацювання:

1. Рівняння орієнтація в кватерніонах. Вектор скінченого повороту та його застосування до задачі визначення орієнтації об'єкта.
2. Прискорення, швидкість та положення об'єкта у різних системах координат.
3. Методичні похибки ІНС напіваналітичного типу.
4. Інструментальні похибки горизонтальних каналів ІНС. Похибки азимутального каналу ІНС. Загальні особливості інструментальних похибок.
5. Грубе та точне горизонтування платформної ІНС. Фізичне гірокомпасування. Аналітичне гірокомпасування.
6. Початкова виставка БІНС.
7. Далекомірні системи навігації. Різницево-далекомірні, кутомірні, кутомірно-далекомірні системи навігації. Метеонавігаційні радіолокаційні станції. Радіовисотоміри. Небесна

сфера та навігаційні системи. Координати світил, методи їх визначення. Астрономічні методи визначення курсу..

8. Супутникові системи навігації GPS "NAVSTAR", Galileo, Beidu, SBAS. Принцип роботи.
9. Наземний та космічний комплекс, що забезпечує роботу GPS "NAVSTAR". Опис та характеристика сигналу супутників на частотах L1 та L2.
10. Комплексні навігаційні системи. Демпфування та корекція ІНС. Інтегровані системи та можливості їх оптимізації.
11. Алгоритми комплексування інерціальних систем з супутниковими системами.

Комп'ютерні практикуми для самостійного опрацювання:

1. Отримання кінематичних рівнянь Пуассона та кінематичних рівнянь в кватерніонах відповідно до заданої кінематики. Комп'ютерне моделювання кінематичних рівнянь Ейлера засобами Simulink, задання параметрів моделювання у скриптах Matlab та їх використання у моделях Simulink. Отримання похибок алгоритмів орієнтації. Алгоритми реальної роботи для врахування характеристик реальних чутливих елементів. Виведення результатів моделювання в робочий простір Matlab для їх подальшого оформлення.
2. 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.
3. Моделювання північного каналу комплексної (інтегрованої) навігаційної системи.

## 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: Zoot-конференція за посиланням:  
<https://us02web.zoom.us/j/82482191949?pwd=VDd4TzBISmd2a0htOFBBSL3QrRUw0Zz09>
- **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 та штрафних балів:**

- штрафні бали призначаються за несвоєчасне написання контрольних робіт та захист комп'ютерних практикумів, заохочувальні – за виконання ускладнених завдань;
- максимальна кількість заохочувальних та штрафних балів визначається відповідно до Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського, Положення про поточний, календарний та семестровий контроль 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 силябусу та/або календарного плану;
  - невчасним вважається захист робіт з затримкою більше ніж на два заняття наступного комп'ютерного практикуму, порушення даного дедлайну призводить до зменшення кількості балів за роботи та оцінюється на 1 бал нижче, ніж вказано 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 контроль 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 №1-3 відповідно до п.5 «Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)» силабусу) | 3         | 16          | 48     |
| 3 | виконання ДКР   | 1         | 12          | 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 бали.
- 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.

Домашня контрольна робота складається з 10 завдань, кожна з яких оцінюється в 1.2 бали (сумарно 12 балів):

- повне виконання завдання без помилок – 1.2 бали;
- повне виконання завдання з незначними помилками – 0.9-1 бал;
- часткове виконання завдання, або виконання з суттєвими помилками – 0.7 бала;
- невиконання завдання – 0 балів.

### Семестровий контроль: Екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: виконання та захист всіх комп'ютерних практикумів, оцінка з домашньої контрольної роботи не менше 7 балів, 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) – 14-15 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) – 11-13 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 9-10 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

2. Система оцінювання практичного запитання:

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

**Ухвалено** кафедрою комп'ютерно-інтегрованих оптичних і навігаційних системи (протокол № 14 від 06.07.2022 року)

**Погоджено** Методичною комісією приладобудівного факультету (протокол № 7/22 від 07.07.2022 року)