



# ПРОСТОРОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	122 Комп'ютерні науки
Освітня програма	Комп'ютерні науки
Статус дисципліни	Обов'язкова
Форма навчання	очна(денна)/очна(вечірня)
Рік підготовки, семестр	2 курс, 4 семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів ЕКТС (лекції - 36, практичні заняття - 36, СРС -78)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	м.к.р., екзамен
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: зав.каф. ЦТЕ, д.т.н., професор Аушева Наталія Миколаївна, <a href="mailto:nataauscheva@gmail.com">email: nataauscheva@gmail.com</a> Практичні заняття: зав.каф.ЦТЕ, д.т.н., професор Аушева Наталія Миколаївна, <a href="mailto:nataauscheva@gmail.com">email: nataauscheva@gmail.com</a>
Розміщення курсу	<a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Метою кредитного модуля є формування у аспірантів **фахових компетентностей** у відповідності до ОНП.

ФК 2	Здатність застосовувати сучасні методології, методи та інструменти експериментальних і теоретичних досліджень у сфері комп'ютерних наук, сучасні цифрові технології, бази даних та інші електронні ресурси у науковій та освітній діяльності
ФК 3	Здатність виявляти, ставити та вирішувати дослідницькі науково-прикладні задачі та/або проблеми в сфері комп'ютерних наук, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень
ФК 6	Здатність аналізувати та оцінювати сучасний стан і тенденції розвитку комп'ютерних наук та інформаційних технологій
ФК 8	Здатність дотримуватись морально-етичних правил поведінки, етики досліджень, характерних для учасників академічного середовища, а також принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності

В результаті засвоєння кредитного модуля аспіранти мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

ПРН 5	Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з комп'ютерних наук та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; вміти застосовувати знання основ аналізу та синтезу в різних предметних областях, критичного осмислення й розв'язання науково-дослідних проблем; розуміти філософські концепції наукового світогляду, роль науки, пояснювати її вплив на суспільні процеси
ПРН 6	Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.
ПРН 7	Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми комп'ютерної науки з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів
ПРН 8	Визначати актуальні наукові та практичні проблеми у сфері комп'ютерних наук, глибоко розуміти загальні принципи та методи комп'ютерних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері комп'ютерних наук та у викладацькій практиці

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни аспіранти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

**ЗНАННЯ** методів моделювання та візуалізації тривимірних об'єктів:

- геометричного моделювання кривих та поверхонь на основі теорії сплайнів;
- моделювання поверхонь на основі впорядкованого та невпорядкованого каркаса точок;
- моделювання складних поверхонь з урахуванням диференціальних властивостей;
- візуалізації об'єктів та навколишнього середовища на основі спеціалізованих моделей освітлення.

**ВМІННЯ:**

- розробляти та удосконалювати методи тривимірного моделювання для вирішення теоретичних і прикладних задач за умови створення геометричних моделей об'єктів і процесів ;
- розробляти графічні проекти, застосовуючи програмні засоби створення графічних об'єктів за умови вирішення задач візуалізації, вирішувати задачі класифікації;
- візуалізації результатів наукових досліджень.

**ДОСВІД:**

- використання одержаних знань та умінь для розробки та вдосконалення методів, способів та алгоритмів систем геометричного моделювання на комп'ютерній графіки.

## 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни

У структурно-логічній схемі навчання зазначена дисципліна розміщена на 2 курсі підготовки доктора філософії. Структура викладання побудована таким чином, щоб вивчення дисципліни мало теоретичне, наукове та практичне спрямування.

Вивчення кредитного модуля базується на знаннях, отриманих під час вивчення дисциплін: «Філософські засади наукової діяльності», «Іноземна мова для наукової діяльності».

Основа увага приділяється застосуванню спеціальних математичних знань для комп'ютерної графіки, моделювання та візуалізації.

Матеріал даної дисципліни може бути використаний для досліджень та візуалізації результатів при виконанні дисертації доктора філософії.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

В дисципліні вивчаються такі теми:

**Розділ 1.** Геометричне моделювання тривимірних об'єктів

- Тема 1.1. Застосування комп'ютерної графіки
- Тема 1.2. Теорія перетворень і класифікація геометрій
- Тема 1.3. Геометричне моделювання кривих
- Тема 1.4. Проекціювання
- Тема 1.5. Геометричне моделювання поверхонь
- Тема 1.6. Фрактальна геометрія природи

#### **Розділ 2.** Візуалізація тривимірних зображень

- Тема 2.1. Видалення невидимих ліній та поверхонь
- Тема 2.2. Побудова реалістичного зображення

#### **Розділ 3.** Застосування теорії гіперкомплексних чисел для моделювання та візуалізації

- Тема 3.1. Класифікація гіперкомплексних чисел
- Тема 3.2. Гіперкомплексні числа в теорії перетворень
- Тема 3.3. Гіперкомплексні числа для моделювання кривих і поверхонь
- Тема 3.4. Гіперкомплексні числа для моделювання фракталів

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

#### **Базова література**

1. Donald D. Hearn, M. Pauline Baker, Warren Carithers Computer Graphics with Open GL 4th Edition, 2014-812 p. Режим доступу : <https://doc.lagout.org/programmation/OpenGL/Computer%20Graphics%20with%20OpenGL%20%284th%20ed.%29%20%5BHearn%2C%20Baker%20%26%20Carithers%202013%5D.pdf>
2. Аушева Н.М., Шаповалова С.І., Мажара О.О. Математичне забезпечення програмного інструментарію розробки систем екологічного моніторингу: монографія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 140 с.
3. Kim M. J., Kim M. S., Shin S. Y. A General Construction Scheme for Unit Quaternion Curves with Simple High Order Derivatives. *Computer Graphics (SIGGRAPH '95 Proceedings)*. 1995. Vol. 29. – P. 369–376.
4. Курбатова І. М. Диференціальна геометрія.. – Одеса :Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. – 66 с.
5. Hanson A.J. Visualizing quaternions [Text] / A.J. Hanson. – Morgan Kaufmann, 2005. – 600 p.
6. Donald D. Hearn, M. Pauline Baker Computer Graphics, 2014 – 662 p. Режим доступу : <https://archive.org/details/DonaldHearnM.PaulineBakerComputerGraphicsBookFi.org/mode/2up>
7. David J. Eck Introduction to Computer Graphics.- Hobart and William Smith Colleges, 2023.-533 p. <https://math.hws.edu/graphicsbook/>
8. Комп'ютерна графіка : навчальний посібник : в 2-х кн.2. / Укладачі : Тотосько О.В., Микитишин А.Г., Стухляк П.Д. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 304 с.
9. Griffin Sandra. Quaternions : theory and applications. Hauppauge, New York : Nova Science Publishers, Inc., 2017.-282 p.
10. Szauder G. Hands-On C++ Game Animation Programming: Lear modern animation techniques from theory to implementation with C++ and OPENGL.- Packt Publishing, 2020 -368 p
11. Кампус КПІ ім.Ігоря Сікорського <http://login.kpi.ua/>
12. Науково-технічна бібліотека КПІ ім.Ігоря Сікорського <http://library.kpi.ua/>

#### **Додаткова література**

1. The classical theory of minimal surfaces William H. Meeks III\* Joaquín Pérez † , Режим доступу : [https://www.researchgate.net/publication/273372869\\_The\\_classical\\_theory\\_of\\_minimal\\_surfaces](https://www.researchgate.net/publication/273372869_The_classical_theory_of_minimal_surfaces)
2. Buss S.R. 3-D Computer Graphics A Mathematical Introduction with OpenGL, Press The Edinburgh Building, Cambridge, United Kingdom, 2003. - 371p.
3. Barry G. Blundell An Introduction to Computer Graphics and Creative 3-D Environments, Springer-Verlag London Limited, 2008.- 501p.
4. Max K. Agoston Computer Graphics and Geometric Modeling Implementation and Algorithms, Springer-Verlag London Limited, 2005.- 907 p.
5. Todd A. Ell, Nicolas Le Bihan, Stephen J. Sangwine Quaternion Fourier Transforms for Signal and Image Processing, ISTE Ltd, 2014 - 127p.
6. Jason Zink, Matt Pettineo, Jack Hoxley Practical Rendering and Computation with Direct3D 11, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2012.- 631 p.

7. Klaus Engel, Markus Hadwiger, Joe M. Kniss, Christof Rezk-Salama, Daniel Weiskopf Real-Time Volume Graphics, A K Peters, Ltd, 2006.- 487 p.

## Навчальний контент

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

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань	Кільк. ауд.год.
<b>Розділ 1. Геометричне моделювання тривимірних об'єктів</b>		
Тема 1.1. Застосування комп'ютерної графіки		
1	<i>ЛЕКЦІЯ 1 Тема: Вступ до дисципліни</i> Застосування комп'ютерної графіки. Передумови створення геометрій.	2
Тема 1.2. Теорія перетворень і класифікація геометрій		
2	<i>ЛЕКЦІЯ 2. Тема: Класифікація перетворень</i> Відображення. Застосування перетворень координат. Основні групи перетворень та їх інваріанти: топологічні, біраціональні, проєктивні, афінні, евклідові.	2
3	<i>ЛЕКЦІЯ 3. Тема: Лінійні перетворення в векторно-параметричній формі</i> Евклідові перетворення: зсув та обертання. Афінні перетворення. Проєктивні перетворення простору. Однорідні координати. Основні залежності теорії перетворень: поділення відрізка, просте відношення трьох точок, складне відношення чотирьох точок.	2
Тема 1.3. Геометричне моделювання кривих		
4	<i>ЛЕКЦІЯ 4. Тема: Криві другого та третього порядку</i> Парабола, гіпербола та їх властивості. Криві II порядку у інженерному вигляді та у формі Безьє. Графічна побудова кривих другого порядку. Загальні відомості про криві III порядку. Криві III порядку у інженерному вигляді та у вигляді Безьє. Перехід від інженерного методу завдання до кривих Безьє. Графічна побудова кривих третього порядку.	2
5	<i>ЛЕКЦІЯ 5. Тема: Параметричні криві та метод обводів</i> Криві у формі Бернштейна-Безьє. Криві у формі Фергюсона. Метод обводів. Побудова гладкого обводу з гладкістю першого та другого порядку. Ескізне проектування. Фундаментальні сплайни. Сплайни Коханека-Бартелса. В-сплайни. NURBS-сплайни.	2
Тема 1.4. Проєкціювання		
6	<i>ЛЕКЦІЯ 6. Тема: Паралельне проєкціювання</i> Основні види проєкціювання. Паралельні проєкції. Аксонометричні проєкції, диметрія, ізометрія, триметрія, ортографічні проєкції. Косокутні паралельні проєкції. Кабіне, кавальє. Центральне проєкціювання (перспектива).	2
Тема 1.5. Геометричне моделювання поверхонь		
7	<i>ЛЕКЦІЯ 7. Тема: Поверхні другого та вищих порядків</i> Триосний еліпсоїд, одно- та двополосний еліптичний гіперболоїд, еліптичний параболоїд, гіперболічний параболоїд. Білінійна порція поверхні, тор, лінійчата поверхня, прямий гелікоїд. Метод Лаймінга.	2
8	<i>ЛЕКЦІЯ 8. Тема: Моделювання чотирикутних порцій</i> Методи завдання поверхонь. Порції Безьє на базі кривих другого та третього порядку. Моделювання поверхонь заданих кривими II та III порядку у загальному вигляді. Порції поверхні за Фергюсоном. Порції поверхонь за Кунсом.	2
Тема 1.6. Фрактальна геометрія природи		

9	<i>ЛЕКЦІЯ 9.Тема: Рекурсія та фрактали</i> Теорія «хаосу». Поняття самоподібності. Визначення поняття «фрактал». Метод L-систем. Системи ітеруємих функцій (IFS) на прикладі «гри хаосу» .Замощення площини. Поняття «фрактальна розмірність». Розмірність подібності, Мінковського. Розрахунок розмірності фрактальних об'єктів.	2
<b>Розділ 2.</b> Візуалізація тривимірних зображень		
Тема 2.1. Видалення невидимих ліній та поверхонь		
10	<i>ЛЕКЦІЯ 10.Тема: Побудова комп'ютерних зображень при твердотільному проектуванні</i> Твердотільне проектування. Конвеєр візуалізації. Основні методи видалення невидимих ліній. Алгоритм плаваючого об'єкту. Алгоритм Z-буфера. Алгоритм Робертса. Алгоритм художника. Алгоритм трасування променів.	2
Тема 2.2. Побудова реалістичного зображення		
11	<i>ЛЕКЦІЯ 11. Тема: Побудова простої моделі освітлення.</i> Фізичні та психологічні процеси побудови реалістичних зображень. Проста модель освітлення. Однотонове зафарбування. Зафарбування методом Гуро. Зафарбування Фонга. Закон Снелліуса. Наслідки заломлення. Характеристика тіней.	2
12	<i>Модульна контрольна робота</i>	2
<b>Розділ 3.</b> Застосування теорії гіперкомплексних чисел для моделювання та візуалізації		
Тема 3.1. Класифікація гіперкомплексних чисел		
13	<i>ЛЕКЦІЯ 12. Тема: Класифікація гіперкомплексних чисел</i> Принцип класифікації. Комплексні числа. Паракомплексні числа. Дуальні числа. Кватерніони. Октави.	2
Тема 3.2. Гіперкомплексні числа в теорії перетворень		
14	<i>ЛЕКЦІЯ 13. Тема: Евклідові перетворення на основі гіперкомплексного числення</i> Гіперболічний поворот у просторі Мінковського на основі паракомплексних чисел. Зсув простору на основі дуальних чисел. Обертання на основі кватерніонів та спінорів	2
Тема 3.3. Гіперкомплексні числа для моделювання кривих і поверхонь		
15	<i>ЛЕКЦІЯ 14. Тема: Моделювання сплайнових кривих</i> Моделювання анімаційних кривих на основі кватерніонів. Моделювання ізотропних кривих.	2
16	<i>ЛЕКЦІЯ 15.Тема: Моделювання параметричних поверхонь</i> Моделювання поверхонь за допомогою кватерніонів. Поверхні на основі теорії гвинтів.	2
17	<i>ЛЕКЦІЯ 16.Тема: Моделювання мінімальних поверхонь</i> Моделювання мінімальних поверхонь. Моделювання мінімальних поверхонь на основі ізотропних кривих.	2
Тема 3.4. Гіперкомплексні числа для моделювання фракталів		
18	<i>ЛЕКЦІЯ 17.Тема: Хаос та фрактали</i> Нелінійні комплексні відображення. Біфуркації. Кватерніони для моделювання фракталів.	2

#### Практичні заняття

N	Назва практичних занять	Кільк. ауд.год
1	Моделювання криволінійних обводів	12
2	Моделювання векторно-параметричних поверхонь	12
3	Моделювання тривимірної сцени з освітленням	12

## 6. Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота студента (78 годин) передбачає підготовку до аудиторних занять та контрольних заходів, проведення розрахунків та підготовка вхідних даних до роботи.

Розподіл годин СРС: підготовка до екзамену – 30 годин; підготовка до практичного заняття – 27 годин (1.5 години на підготовку до заняття, 18 занять); підготовка до МКР – 2 години (МКР проводиться впродовж 12 лекційного заняття); підготовка до лекцій - 17 годин ( 1 година на підготовку до лекції, 17 лекцій), опанування додаткової літератури - 2 години.

## Політика та контроль

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

- Відвідування лекцій, а також відсутність на них, не оцінюється. Відвідування практичних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу;
- При захисті практичних робіт аспірант має продемонструвати розроблений програмний код та результати його виконання на тестах, як заздалегідь підготованих, так і запропонованих викладачем. У випадку дистанційної форми навчання захист відбувається на відповідній конференції шляхом демонстрації екрана.
- 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>.
- 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)

1. Рейтинг аспіранта з кредитного модуля розраховується зі 100 балів, з них 50 балів складає стартова шкала. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що аспірант отримує за виконання практичних робіт (3 роботи) та МКР;

2. Критерії нарахування балів для завдання практикуму

Ваговий бал за виконання завдань практикуму складає 14 балів. Максимальна кількість балів за всі завдання дорівнює

$$14 \text{ балів} \times 3 = 42 \text{ балів.}$$

Виконання кожного завдання оцінюється за наступними критеріями:

1. правильність отриманих результатів – від 1 до 10 балів;
2. зручний інтерфейс користувача – 1 бали;
3. інтерактивне введення параметрів методу – 1 балів;
4. динамічні зміни на екрані – 2 бали;

Мінімальна кількість для зарахування практичного заняття складає 8.5 балів ( 60%)

Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює 8 балів. На модульну контрольну роботу виноситься два теоретичних питання та одне практичне.

Контрольна робота оцінюється наступним чином:

1. правильність написання кожного теоретичного питання - 2 бали;
2. надання прикладу на вказані завдання – 1 бал;
3. правильність розв'язання практичного завдання - 2 бали;
4. правильність написання псевдокоду – 1 бал.

3. Умови допуску до екзамену: зарахування всіх робіт практикуму. Мінімальна кількість набраних балів – 30 ( 60%).

4. На екзамені аспіранти виконують письмову контрольну роботу. Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань та одного практичного завдання. Ваговий бал кожного теоретичного питання – 15. Ваговий бал практичного завдання – 20.

Максимальна кількість балів за складання екзамену дорівнює  
15 балів x 2+ 20 балів = 50 балів.

Теоретична частина оцінюється наступним чином:

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

2. «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 11-13 балів;
3. «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 9-10 балів;
4. «незадовільно», незадовільна відповідь - 0 балів.

Практичне завдання оцінюється наступним чином:

- «відмінно» , повне, безпомилкове розв'язування завдання– 18-20 балів;
  - «добре», повне, розв'язування завдання із несуттєвими неточностями – 15-17 балів;
  - «задовільно», завдання виконане з певними недоліками – 12-14 балів;
  - «незадовільно» завдання невиконано.
5. Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться за дисципліну згідно з таблицею.

Бали: практичні роботи + екзаменаційна контрольна робота	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Є не зараховані лабораторні роботи	Не допущено

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

Розділ 1,2 містять фундаментальні основи побудови просторових тривимірних моделей та можуть бути зараховані за наявності сертифікатів відповідних курсів з комп'ютерної графіки. В якості прикладу опанування фундаментальними основами можна взяти курс Justin Solomon <https://www.youtube.com/c/justinmsolomon/featured>

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

Складено зав.каф. ЦТЕ, д.т.н., проф. Аушевою Наталією Миколаївною

Ухвалено кафедрою ЦТЕ (протокол № 21 від 30.05.24)

Погоджено Методичною радою НН ІАТЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 9 від 31.05.24)

Погоджено науково-методичною комісією КПІ ім. Ігоря Сікорського зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки (протокол № 11 від 28 червня 2024 р.)