



# МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТІЛ ТА ПОВЕРХОНЬ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</i>
Освітня програма	<i>Інженерія авіаційних та ракетно-космічних систем</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>Загальна кількість годин: 120; лекції – 36 год; практичні (семінарські) – 18 год; самостійна робота – 66 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік (усний)</i>
Розклад занять	<i>Згідно розкладу на сайті університету: rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н. Конотоп Дмитро Ігорович, konotop.dmitriy@gmail.com, тел. +38(050)7781208 Практичні/Семінарські: к.т.н. Конотоп Дмитро Ігорович, konotop.dmitriy@gmail.com, тел. +38(050)7781208</i>
Розміщення курсу	<a href="https://classroom.google.com/c/MTgwNzU5ODN1MDI2?cjc=6mi2ezd">https://classroom.google.com/c/MTgwNzU5ODN1MDI2?cjc=6mi2ezd</a>

### Програма навчальної дисципліни

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

Даний кредитний модуль призначений для надання студентам знань у галузі вивчення основних інструментів та прийомів комп'ютерного моделювання тіл та поверхонь, а також способів подання моделей геометричних об'єктів. Розглядаються елементи топології і проєктивної геометрії. Вивчаються завдання геометричного пошуку і локалізації точки, розбиття поверхонь, моделювання кривих ліній, поверхонь і тіл.

#### **Мета і завдання кредитного модуля**

Метою кредитного модуля є закріплення у студентів компетентностей згідно із освітньою програмою:

- Здатність використовувати новітні інформаційні технології (ЗК5) ;
- Здатність проводити роботи з підготовки виробництва об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки з використанням новітніх технологій (ФК 6),

а також набуття додаткових вмінь:

- створювати складні технічні об'єкти (ТО), використовуючи математичне моделювання та обчислювальні методи моделювання тіл та поверхонь, що є основою розуміння складових будь-якого складного ТО;
- самостійно виконати опис геометричних об'єктів та опис математичних моделей геометрії складних ТО.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

- навички використання новітніх інформаційних технологій при створенні складних ТО та здатність аналізувати існуючий рівень конструкторських та наукових розробок в своїй професійній галузі та визначати існуючі проблеми і напрями підвищення якості розробок.

- **знання:** методів визначення екстремумів довільних функцій за допомогою числового диференціювання; методів розробки програмного забезпечення, інтегрованого в систему керування проектними даними; формоутворення поверхонь та тіл складних ТО.

- **уміння:** вирішувати задачу багатовимірної оптимізації з обмеженнями з урахуванням спеціальних вимог і особливостей процесу проектування механічних систем складних ТО.

- **досвід:** геометричного моделювання, моделювання поверхонь та тіл складних ТО; освоєння операцій над кривими і поверхнями; здатність опису математичних моделей тіл та поверхонь складних ТО. Отримані знання потрібні для роботи на переважній більшості конструкторсько-інженерних посад підприємств розвинутих країн світу, які виробляють сучасні складні ТО,

а також підкріплювати такі результати навчання, зазначені в освітній програмі:

- Вміння використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми (ПРН 3);

- Вміння використовувати на практиці сучасні методи, способи та засоби проектування, виробництва, ремонту, складання, випробування та (або) сертифікації елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки для різних типів промислового виробництва (ПРН 17);

- Вміння, на основі знань та розуміння особливостей конструкції та робочих процесів в системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки формулювати та розв'язати науково-технічні задачі щодо розроблення їх новітніх зразків (ПРН19).

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

Вивчення цієї дисципліни вимагає наявності у студентів знань і вмінь, які вони отримали під час вивчення дисциплін ПО1 Проектування двигунів космічних апаратів, ПО4 Методи проектування конструкції ракет-носіїв.

Вивчення цієї дисципліни забезпечує проведення науково-дослідної роботи за темою магістерської дисертації, подальше виконання науково-дослідної практики та безпосередню роботу над магістерською дисертацією.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Назви розділів і тем	Кількість годин
----------------------	-----------------

	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (Комп'ютерний практикум)	СРС
Тема 1. Математичне забезпечення моделювання тіл і поверхонь різних етапів створення складних ТО із використанням CAD/CAM/CAE та PLM систем.	36	18	-	-	18
Тема 2. Практична реалізація основних аспектів моделювання поверхонь і тіл складних ТО у системах Pro/Engineer, Creo, Autodesk Fusion 360, Solid Works тощо.	68	18	16	-	36
Контрольна робота	8	-	2	-	6
Залік	8	-	2	-	6
<b>Всього годин:</b>	<b>120</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>66</b>

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Рекомендована література

###### Базова:

1. Голованов Н. Н. «Геометрическое моделирование», М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
2. Препарата Ф., Шеймос М. «Вычислительная геометрия», М.: Мир, 1989.
3. Ванін В.В. Теоретичні основи комп'ютерного геометричного моделювання авіаційної техніки: навч. посіб. / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, О.В. Збруцький. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 124 с.
4. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. «Численные методы и программное обеспечение», М.: Мир, 2001.
5. Ванін В.В. Теоретичні основи геометричного моделювання в машинобудівних САПР із прикладами в КОМПАС-3D: навч. посіб. / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 140 с.

###### Додаткова:

6. Проектирование самолетов: Учебник для вузов / С.М. Егер, В.Ф. Мишин, Н.К. Лисейцев и др. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.
7. Роджерс Д. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
8. Ванін В.В. Теоретичні основи комп'ютерного геометричного моделювання авіаційної техніки: навч. посіб. / В.В. Ванін, Г.А. Вірченко, О.В. Збруцький. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 124 с.
9. Вірченко Г.А. Розробка комп'ютерних моделей базової геометрії несучих поверхонь літака. Метод. вказівки до комп'ют. практикуму / Г. А. Вірченко, Р.В. Карнаушенко, В. В. Борисов, Ю.І. Бондар. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 44 с.

10. Проектування елементів літальних апаратів у системах CAD/CAM/CAE. Комп'ютерне моделювання елементів конструкції крила літака. Метод. вказівки / В.В. Борисов, Г. А. Вірченко – К.: НТУУ "КПІ", 2008. – 32 с.
11. Комп'ютерне моделювання типових елементів складальних пристроїв. Метод. вказівки / Г.А. Вірченко – К.: НТУУ "КПІ", 2007. – 24 с.
12. Konotop D. I. 3D-models design concept of complex technical objects using knowledge-based technology/ D. I. Konotop, V. P. Zinchenko // Механіка гіроскопічних систем. – 2017. – № 34. – С. 5–13.
13. Зінченко В. П. Інформаційні технології моделювання компоновки складного технічного об'єкта / В. П. Зінченко, Д. І. Конотоп, О. П. Сидоренко, В. В. Борисов // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2011. – № 6. – С. 27–35.
14. Конотоп Д. І. Створення контрольної базової моделі в інформаційних технологіях проектування складного технічного об'єкта / Д. І. Конотоп, В. П. Зінченко // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – 2012. – № 6 (86). – С. 132–137.
15. Фокс А. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве: Пер. с англ./ А. Фокс, М. Пратт. – М.: Мир, 1982. – 304 с.
16. Гребеньков О.А. Конструкция самолетов: Учеб. пособие для авиационных вузов / О.А. Гребеньков. – М.: Машиностроение, 1984. – 240 с.

## Навчальний контент

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

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<i>Тема 1. Математичне забезпечення моделювання тіл і поверхонь різних етапів створення складних ТО із використанням CAD/CAM/CAE та PLM систем</i>
1	<i>Лекція 1.</i> Сутність наявного процесу створення складних ТО із використанням CAD/CAM/CAE та PLM систем. Завдання для СРС: Проаналізувати наявний процес створення складних ТО із використанням CAD/CAM/CAE та PLM систем. Література: [1, 3]
2	<i>Лекція 2.</i> Математичні основи опису ліній і поверхонь. Завдання для СРС: Проаналізуйте аналітичне визначення прямої лінії, кола, еліпса, гіперболи та параболи. Література: [2, 3, 4]
3	<i>Лекція 3.</i> Відображення на площині. Завдання для СРС: Проаналізуйте аналітичні вирази для композицій паралельного перенесення, поворотів і масштабування на площині з використанням однорідних координат. Література: [3, с. 18-27]
4	<i>Лекція 4.</i> Використання еліпсів, парабол та гіпербол при побудові компонентів складних ТО. Завдання для СРС: Доведіть зручність та простоту геометричного моделювання складених обводів першого порядку гладкості за допомогою кривих другого порядку у векторній параметричній формі. Література: [3, с. 39-40, с. 58-61]

5	<p><i>Лекція 5.</i> В-сплайни та криві Безьє. Завдання для СРС: Опишіть порядок побудови складених кривих Безьє. Наведіть та проаналізуйте рекурентну формулу Кокса і де Бура для визначення В-сплайна. Література: [3, с. 56-67]</p>
6	<p><i>Лекція 6.</i> Лінійчасті оболонки. Поверхні обертання на основі різноманітних ліній. Поверхні Кунса. Завдання для СРС: Наведіть приклади лінійчастих поверхонь та поверхонь обертання на основі кривих Безьє та NURBS. Література: [3, с. 71-75]</p>
7	<p><i>Лекція 7.</i> Оболонки Фергюсона й Безьє. В-сплайнові та NURBS поверхні. Завдання для СРС: Наведіть та проаналізуйте аналітичні вирази для В-сплайн поверхонь. Література: [3, с. 75-77]</p>
8	<p><i>Лекція 8.</i> Використання параметрів при геометричному моделюванні компонентів складних ТО. Завдання для СРС: Наведіть декілька критеріїв параметричної оптимізації авіаційної техніки. Література: [6, с. 33-39]</p>
9	<p><i>Лекція 9.</i> Структурне моделювання геометричних компонентів складних ТО. Завдання для СРС: Дайте загальний опис структурно-параметричної оптимізації та основні напрямки її застосування в авіації та космонавтиці. Література: [6, с. 33-39]</p>
	<p><i>Тема 2. Реалізація основних аспектів моделювання поверхонь і тіл складних ТО у системах Pro/Engineer, Creo, Autodesk Fusion 360, Solid Works тощо</i></p>
10	<p><i>Лекція 10.</i> Визначення точок, відрізків, площин у сучасних CAD/CAM/CAE системах. Завдання для СРС: Проаналізуйте способи визначення точок у програмах Pro/Engineer, Autodesk Fusion 360. Література: [3, с. 90-97]</p>
11	<p><i>Лекція 11.</i> Побудова прямолінійних відрізків у сучасних CAD/CAM/CAE системах. Завдання для СРС: Опишіть формування кривої Безьє третього порядку в програмі Pro/Engineer. Література: [3, с. 100; 7, с. 218-255]</p>
12	<p><i>Лекція 12.</i> Побудова В-сплайна третього порядку з шістьма опорними точками системах CAD/CAM/CAE. Завдання для СРС: Опишіть засоби системи Pro/Engineer та визначення властивостей геометричних об'єктів. Література: [3, с. 101-103; 7, с. 256-296]</p>
13	<p><i>Лекція 13.</i> Побудова тора в системах CAD/CAM/CAE. Завдання для СРС: Поясніть спосіб порівняння аналітично отриманих координат поверхонь обертання та одержаних за допомогою довідкових команд сучасних комп'ютерних систем автоматизованого конструювання. Література: [3, с. 104-108]</p>
14	<p><i>Лекція 14.</i> Моделювання бікубічної оболонки Безьє в системах CAD/CAM/CAE. Завдання для СРС: Окресліть можливі напрямки використання кінематичного формоутворення в сучасних комп'ютерних системах автоматизованого конструювання під час розробки авіаційної та космічної техніки. Література: [3, с. 108-113]</p>
15	<p><i>Лекція 15.</i> Зміна форми, розмірів та положення існуючих геометричних об'єктів. Завдання для СРС: Наведіть засоби керування формою та розмірами геометричних фігур, визначених на основі застосування NURBS. Література: [3, с. 111-113]</p>
16	<p><i>Лекція 16.</i> Якість автоматизованого формоутворення різноманітних фігур. Завдання для СРС: Обґрунтуйте особливу важливість забезпечення в системах CAD/CAM/CAE якості геометричного моделювання під час розробки авіаційної та космічної техніки. Література: [7, с. 463-467]</p>
17	<p><i>Лекція 17.</i> Побудова складених об'єктів у CAD/CAM/CAE системах.</p>

	Завдання для СРС: Опишіть структурний характер геометричного моделювання теоретичної поверхні крила сучасного літака. Література: [11, с. 14-16]
18	Лекція 18. Оглядова.

### Комп'ютерні практикуми

Основним завданням практичних занять є закріплення знань, отриманих на лекціях. Кредитний модуль "Математичні методи моделювання тіл та поверхонь" містить наступні практичні заняття.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Аналіз результатів дослідів (Тема 2) Завдання для СРС: Орієнтуватися в підходах з аналізу результатів дослідів. Література: [15, с.282-289]
2	Варіанти побудови систем координат у тривимірному просторі (Тема 2) Завдання для СРС: Опишіть математичний апарат побудови систем координат у тривимірному просторі. Література: [3, с. 18-27]
3	Математичні основи опису ліній (Тема 2) Завдання для СРС: Вивчити основні характеристики кривих у CAD/CAM/CAE системах. Література: [4, с.22-32, 34-38]
4	Розробка аеродинамічних профілів CAD/CAM/CAE системах. (Тема 2) Завдання для СРС: Ознайомитись із побудовою різних видів кривих у CAD/CAM/CAE системах. Література: [3, с.39-40, с.56-58, с.61-69]
5	Моделювання поперечних перерізів поверхонь літака, ракети тощо (Тема 2) Завдання для СРС: Ознайомитись із побудовою поперечних перерізів у CAD/CAM/CAE системах. Література: [15, с.28-31]
6	Розробка лінійчастих оболонок (Тема 2) Завдання для СРС: Наведіть приклади лінійчастих оболонок та поверхонь обертання. Література: [3, с. 71-73]
7	Моделювання поверхонь обертання на основі різноманітних ліній. (Тема 2) Завдання для СРС: Опишіть типи поверхонь літальних апаратів. Література: [16, с.137-146]
8	Моделювання лінійчастих поверхонь літака (крила, оперення, передкрилків, закрилків, елеронів тощо) за експериментальними даними (Тема 2) Завдання для СРС: Ознайомитись із побудовою лінійчастих поверхонь літака в CAD/CAM/CAE системах. Література: [3, с.71-73]
9	Моделювання криволінійних поверхонь літака (фюзеляжу, гондол двигунів, обтічників тощо) за експериментальними даними (Тема 2) Завдання для СРС: Ознайомитись із побудовою криволінійних поверхонь у CAD/CAM/CAE системах. Література: [3, с.73-77]
10	Усний залік.

### 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів полягає у підготовці до аудиторних занять згідно з отриманими завданнями на попередніх лекційних або практичних заняттях.

### Політика та контроль

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

В рамках проведення дисципліни ставиться наступний перелік вимог перед студентом:

- обов'язкове відвідування занять (як лекцій, так і практичних);

- на заняттях уважно та добросовісно ставитись до отриманого матеріалу, проявляти активність та показувати небайдужість до предмету.
- дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску групи та в Інтернеті.

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

- індивідуальну роботу під час практичних занять;
- модульну контрольну роботу.

#### Умови позитивної проміжної атестації у семестрі.

Для отримання "зараховано" з першої проміжної атестації (8 тижень) студент повинен мати не менш, ніж 20 балів (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має 40 балів).

Для отримання "зараховано" з другої проміжної атестації (14 тижень) студент повинен мати не менш, ніж 40 балів (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів "ідеальний" студент має 80 балів).

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

### **Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання**

#### 1. Практичні заняття

Ваговий бал практичного заняття – 8.

Критерії оцінювання:

- повне виконання – 8 балів;
- виконання, але теоретичні знання недостатні – 6 ... 7 балів;
- не підготовлений – 0 балів.

Максимальна кількість балів за всі практичні заняття: 8 балів × 9 = 72 бали.

#### 2. Модульна контрольна робота

Ваговий бал – 28.

Максимальна кількість балів дорівнює 28 балів × 1 = 28 балів.

Критерії оцінювання:

- повне виконання завдання – 25 ... 28 балів;
- неповне виконання завдання – 16...24 бали;
- незадовільне виконання – 0 балів.

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

- творчий підхід, активна участь в обговоренні тем: +1...+6 балів;
- відсутність пропусків лекцій без поважних причин: +2...+4 бали;
- відсутність на занятті без поважної причини: -1...-10 бал.

Максимальна кількість заохочувальних та штрафних балів дорівнює 10.

#### **Розрахунок шкали (RD) рейтингу:**

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RD = 72 + 28 = 100 \text{ балів.}$$

Якщо наприкінці семестру після проходження всіх контрольних заходів з кредитного модулю студент отримав не менше ніж 60 рейтингових балів, а також виконав умови допуску до семестрового контролю з цього кредитного модулю, він отримує позитивну оцінку.

У разі, якщо сума рейтингових балів менша ніж 60, але виконані умови допуску до семестрової контролю з цього семестрового контролю, студент виконує на останньому за розкладом занятті залікову контрольну роботу. За бажанням, студент має право на участь у заліковій контрольній роботі з метою підвищення попередньої оцінки. При цьому, в якості залікових, беруться бали, отримані за залікову роботу, або бали, накопичені за семестр, в залежності від їх кількості.

Контрольне завдання залікової роботи складається з теоретичного питання, яке перевіряє знання теорії, та задачі, що перевіряє практичні навички студента. Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює 100.

#### Теоретична частина.

- вільне володіння матеріалом, відповідь на усі додаткові питання – 46...50 балів;
- досить впевнене володіння матеріалом, неповні відповіді на додаткові питання – 36 ... 44 бали;
- невпевнена відповідь на основне питання, неповні відповіді на додаткові питання – 30 ... 34 бали;

– не має відповіді на основне питання – 0 балів.

Практична частина.

– впевнене та швидке вирішення задачі, впевнені відповіді на додаткові питання – 46 ... 50 балів;

– повне вирішення задачі, але невпевнені відповіді на додаткові питання – 36... 44 бали;

– неповне розв'язання задачі – 30 ... 34 бали;

– задача не розв'язана – 0 балів.

Сума балів переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею.

Рейтингові бали, RD	Оцінка за університетською шкалою
$95 \leq RD \leq 100$	Відмінно
$85 \leq RD \leq 94$	Дуже добре
$75 \leq RD \leq 84$	Добре
$65 \leq RD \leq 74$	Задовільно
$60 \leq RD \leq 64$	Достатньо
$RD < 60$	Незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрового контролю	Не допущено

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

По закінченні вивчення кредитного модуля студенти виконують письмову модульну контрольну роботу тривалістю 2 учбові години. Завдання отримують у вигляді контрольного теоретичного питання (Перелік питань у Додатку).

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

Складено ас., к.т.н. Конотопом Дмитром Ігоровичем

Ухвалено кафедрою авіа- та ракетобудування (протокол № 11 від 17.06.10)

Погоджено Методичною комісією ІАТ (протокол № 2 від 22.06.20)



Питання до модульної контрольної роботи

1. Математичні основи опису ліній і поверхонь.
2. Сутність наявного процесу створення складних ТО із використанням CAD/CAM/CAE та PLM систем.
3. Відображення на площині.
4. Використання еліпсів, парабол та гіпербол при побудові компонентів складних ТО.
5. В-сплайни та криві Безьє.
6. Лінійчасті оболонки.
7. Поверхні обертання на основі різноманітних ліній.
8. Поверхні Кунса.
9. Оболонки Фергюсона й Безьє.
10. В-сплайнові поверхні.
11. NURBS поверхні.
12. Використання параметрів при геометричному моделюванні компонентів складних ТО.
13. Структурне моделювання геометричних компонентів складних ТО.
14. Визначення точок у сучасних CAD/CAM/CAE системах.
15. Визначення відрізків, площин у сучасних CAD/CAM/CAE системах.
16. Визначення площин у сучасних CAD/CAM/CAE системах.
17. Побудова прямолінійних відрізків у сучасних CAD/CAM/CAE системах.
18. Побудова В-сплайна третього порядку з шістьма опорними точками системах CAD/CAM/CAE.
19. Моделювання бікубічної оболонки Безьє в системах CAD/CAM/CAE.
20. Побудова тора в системах CAD/CAM/CAE.
21. Зміна форми, розмірів та положення існуючих геометричних об'єктів.
22. Якість автоматизованого формоутворення різноманітних фігур.
23. Побудова складених об'єктів у CAD/CAM/CAE системах.
24. Моделювання лінійчатих поверхонь літальних апаратів.
25. Моделювання криволінійних поверхонь літальних апаратів.