



# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РІЗАННЯ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (PhD)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Технології машинобудування</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/очна(вечірня)/заочна/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	<i>Лекції -1,5 раз на тиждень, самостійна робота - 2 раз на тиждень.</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: доктор технічних наук, професор, Петраков Ю.В., т.0683565479</i>
Розміщення курсу	<i>G-Suit, Telegram, EK, Google classroom, тощо</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Моделювання процесів різання» призначена для створення у здобувачів вищої освіти компетенцій з моделювання металообробки на сучасному рівні, з використанням чисельних методів та прикладних програм.

В процесі вивчення цієї дисципліни аспірант оволодіває математичним апаратом та системним підходом представлення різних процесів різання як лезовим так і абразивним інструментом. Розглядаються моделі процесів різання, що зв'язують важливі вихідні параметри з режимами різання при точінні, фрезеруванні, шліфуванні тощо. Процес різання представляється таким, що відбувається в замкненій технологічній обробній системі з урахуванням оброблення за слідом, що відображається в моделі функцією запізнюючого аргументу. Окремо розглядаються моделі теплових процесів при різання, моделі динамічних процесів, отримання головної характеристики процесу – швидкості видалення матеріалу (Material Removal Rate - MRR).

Всі розділи супроводжуються прикладами розроблених в об'єктно-орієнтованому середовищі прикладних програм моделювання.

Дисципліна викладається у такому варіанті, що повністю адаптується до майбутньої спеціальності аспіранта в галузі машинобудування, а саме, технології виготовлення деталей машин різанням.

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

Курс складається з лекційних занять, та самостійної роботи. Дисципліна опирається на курси «Математика», «Інформатика», «Теорія різання», «Динаміка машин та процеси

управління” та готує аспірантів до використання матеріалів курсу при виконання дисертаційних робіт за темою дослідження.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

**Тема 1** Загальні методи чисельного моделювання MRR при різанні.

**Тема 2** Моделювання силових характеристик при точінні і свердлінні.

**Тема 3** Моделювання процесів циліндричного та торцевого фрезерування.

**Тема 4** Моделювання процесів абразивного оброблення.

**Тема 5** Моделювання теплових процесів при різанні.

**Тема 6** Моделювання утворення шорсткості поверхні при різанні.

**Тема 7** Моделювання динамічних характеристик при різанні.

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

*Література:*

- 1) David A. Stephenson, John S. Agapiou Metal Cutting Theory and Practice. Third Edition 2016 by Taylor & Francis Group, LLC 932p. / [https://www.researchgate.net/publication/317081872\\_Metal\\_Cutting\\_Theory\\_And\\_Practice\\_3rd\\_by\\_D\\_A\\_Stephenson](https://www.researchgate.net/publication/317081872_Metal_Cutting_Theory_And_Practice_3rd_by_D_A_Stephenson)
- 2) Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000.-320 с.
- 3) Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания: учеб. Минск: Новое знание, 2005.-512с.
- 4) Петраков Ю.В. Лабораторно-компютерний практикум з теорії різання // Рекомендовано МОН України як навчальний посібник для вищих навчальних закладів (Лист МОН України №1.4/18-Г-212), Київ, Політехніка, 2006, 190с.
- 5) Петраков Ю.В., Драчев О.И. Моделирование процессов резания / Старый Оскол: ТНТ, 2019. – 240с. <http://tntpress.ru/135-modelirovanie-protsessov-rezaniya.html> . <http://mdk-arbat.ru/book/2439>
- 6) Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові данні (1 файл: 15,26 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.
- 7) Петраков, Ю. В. Управління процесами шліфування [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології машинобудування» і «Технології виготовлення літальних апаратів» / Ю. В. Петраков ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 5,94 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 218 с.
- 8) Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням - Київ: УкрНДІАТ, 2004.-384с

### Навчальний контент

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

Тема	Зміст	Лекції	Самостійна робота
<b>Тема 1</b> Загальні методи чисельного моделювання MRR при різанні.	Комп'ютерне моделювання як сучасний підхід до проектування технологічних процесів оброблення різанням. Задачі і принципи моделювання. Основні алгоритми чисельного моделювання.	6	8

	<i>Каркасно-пиксельне представлення форми заготовки і деталі у вигляді тривимірних цифрових масивів. Алгоритм відновлення форми заготовки на кожному кроці моделювання. Моделювання геометричної взаємодії інструменту і заготовки, визначення швидкості видалення припуску, визначення силової взаємодії, вплив на якість поверхні.</i>		
<b>Тема 2</b> <i>Моделювання силових характеристик при точінні і свердлінні.</i>	<i>Геометричне уявлення сили різання і її складових для забезпечення дослідження фізичних закономірностей в ортогональному координатному просторі осей OZ, OY та OX. Схема розкладу сили різання на складові при поздовжньому токарному обробленні. Математична модель визначення складових сили різання за осями координат XYZ, з урахуванням залежностей, що зв'язують геометрію інструменту, кути різання, кут сходження стружки тощо. Алгоритми визначення залежностей складових сили різання від глибини різання, подачі, швидкості різання та геометрії різальної частини інструменту. Прикладна програма моделювання.</i> <i>Проектування сучасних технологічних процесів механічного оброблення з використанням операцій свердління. Моделювання силових характеристик процесу різання за параметрами шару припуску, що зрізується при свердлінні. Прикладна програма моделювання.</i>	6	8
<b>Тема 3</b> <i>Моделювання процесів циліндричного та торцевого фрезерування.</i>	<i>Кінематична схема циліндричного і торцевого фрезерування. Моделювання геометричної взаємодії різального зуба фрези, що здійснює різання за рахунок поєднання двох рухів: обертового навколо вісі фрези – головний рух і поступального у площині перпендикулярній вісі фрези – рух подачі. Визначення математичної моделі траєкторії руху точки леза зуба фрези, яка є трохойдою (подовжена циклоїда) у зверненій схемі, тобто коли заготовка вважається нерухомою.</i> <i>Ураховуючи особливості процесу різання при фрезеруванні циліндричними фрезами математична модель процесу має відображати суттєву його</i>	8	10

	<p><i>нестационарність. В такому сенсі підходить модель, побудована, виходячи з питомої сили різання.</i></p> <p><i>Застосування чисельних методів комп'ютерного моделювання - радикальне вирішення проблеми створення математичної моделі яка добре стикується з використанням обчислювальної техніки і тими завданнями, що представляють апріорну інформацію для САМ-систем. Прикладна програма моделювання.</i></p> <p><i>Принципова кінематична схема рухів і перетин шару припуску, що зрізується, при фрезеруванні торцевими фрезами. Створення адекватної моделі процесу торцевого фрезерування. Визначення окружної складової сили різання, визначення товщини шару припуску, що зрізується одним зубом. Окружна складова сили різання як середня величина окружних складових на кожному зубі за оберт фрези. Прикладна програма моделювання.</i></p>		
<p><b>Тема 4.</b> <i>Моделювання процесів абразивного оброблення.</i></p>	<p><i>Шліфування як процес різання, що виконується зернами абразивного, алмазного чи ельборового матеріалу, закріпленого у зв'язці. Основні схеми операції шліфування.</i></p> <p><i>Метод і алгоритм чисельного визначення головної характеристики процесу різання при шліфуванні. Підготовка математичних моделей контуру заготовки у вигляді цифрових двомірних масивів. Алгоритм визначення координат точки початку лінії контакту шліфувального круга з заготовкою і точки закінчення лінії контакту.</i></p> <p><i>Математична модель визначення силових характеристик процесу урізного шліфування. Управління поперечною подачею для виконання циклів шліфування з дотриманням вимог безприпального процесу різання.</i></p> <p><i>Прикладна програма моделювання.</i></p>	8	12
<p><b>Тема 5</b> <i>Моделювання теплових процесів при різанні.</i></p>	<p><i>Процеси теплообміну при різанні на прикладі взаємодії різального клину з матеріалом заготовки при токарному обробленні. Причини утворення тепла при різання в зоні, що розташована під кутом зсуву матеріалу, завдяки пружно-</i></p>	8	14

	<p>пластичним деформаціям, зоні, що розташована у заготовці поблизу зони різання, завдяки пружно-пластичним деформаціям і тертю задньої поверхні різального клина і заготовки, та зоні контакту стружки з передньою поверхнею завдяки тертю.</p> <p>Математичне представлення процесу теплоутворення з використанням диференційне рівняння як у функції часу, так і відповідних координат, які визначають розрахункову точку об'єму. Основний закон теплопровідності Фур'є. Коефіцієнт температуропровідності і його залежність від властивостей матеріалу. Модель джерела тепловиділення як двомірна, розподілена за комбінованим законом по поверхні контакту стружки і різального клину. Закон розподілу теплового потоку на передній поверхні інструменту.</p> <p>Метод моделювання, що використовує похідні у диференційному рівнянні теплопровідності які замінюються кінцевими різницями в окремих вузлах температурного поля. Розрахункові співвідношення, що визначають майбутню температуру у деякій вузловій точці, що розглядається, як функцію часу, поточної температури і температури у сусідніх точках.</p> <p>Прикладна програма моделювання.</p>		
<p><b>Тема 6</b></p> <p>Моделювання утворення шорсткості поверхні при різанні.</p>	<p>Математичний опис шорсткості, яка виникає в наслідок фізичних особливостей способів утворення поверхні і застосування теоретико-ймовірностних методів. Шорсткість обробленої поверхні як детермінована сукупність однакових за розмірами і формою нерівностей, на яку накладаються всіх випадкових складових процесу. Визначення залежностей детермінованої складової з аналізу кінематики процесу оброблення і форми різальної частини інструменту.</p> <p>Розділення причин утворення нерівностей на дві групи, композиційна модель шорсткості: детермінована періодична основа і випадкова компонента, що накладається на неї. Розподіл ординат</p>	8	12

	<p><i>випадкової складової як наслідок численних факторів, які випадковим образом і приблизно в однаковому ступені впливають на процес утворення шорсткості, тобто ця складова підкоряється нормальному закону.</i></p> <p><i>Алгоритм математичної моделі утворення детермінованої складової при лезовій обробці, що автоматично визначає профіль шорсткості у вигляді цифрових масивів, які представлятимуть дискретну геометричну модель ідеального профілю.</i></p> <p><i>Дослідження впливу геометрії інструменту, режиму різання і матеріалу заготовки на шорсткість поверхні при токарному обробленні.</i></p> <p><i>Прикладна програма моделювання.</i></p>		
<p><b>Тема 7</b></p> <p><i>Моделювання динамічних характеристик при різанні..</i></p>	<p><i>Динамічні процеси, що відбуваються в реальній пружній технологічній обробній системі (ТОС) при різанні. Вплив специфічних особливостей процесу різання, а саме, нелінійні залежності сили різання від глибини та швидкості різання, наявність взаємовпливу деформацій в багатокоординатній динамічній системі верстата, зі зворотними зв'язками. Виникнення автоколивань як вплив відставання у часі зміни сили різання від товщини шару, що зрізується. Постійна часу стружкоутворення і її залежність від умов різання: вона прямо пропорційна величині усадки стружки і зворотно пропорційна швидкості різання.</i></p> <p><i>Урахування оброблення «за слідом», тобто зрізання на поточному проході шару припуску, форма якого у певній мірі сформувалася на попередньому проході при деякому рівні вібрації ТОС. Можливість втрати сталості процесу різання при вторинному підсиленні коливань за рахунок вимушених коливань з частотою, що дорівнює частоті власних коливань ТОС (або одній з власних частот).</i></p> <p><i>Представлення пружної системи верстату у вигляді одномасової динамічної моделі з двома ступенями рухомості. Маса має пружні зв'язки з основою жорсткістю, а також в'язким тертям (сила тертя пропорційна швидкості).</i></p> <p><i>Чисельний метод моделювання з кроком інтегрування у функції номеру за кутовою координатою контуру заготовки, що обробляється і номеру оберту деталі. Структура алгоритму, що дозволяє</i></p>	<p>10</p>	<p>12</p>

	<p><i>врахувати вплив обробки «за слідом», коли похибка від пружних деформацій, яка утворилася на першому оберті заготовки сприймається ТОС як зміна заданої глибини різання на другому оберті заготовки і т.д. Метод чисельного інтегрування Рунге-Кутта четвертого порядку у відповідності до математичної моделі, що представлена за допомогою змінних стану.</i></p> <p><i>Прикладна програма моделювання..</i></p>		
Екзамен			

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота передбачена за темами:

*Тема 1 Загальні методи чисельного моделювання MRR при різанні.*

*Тема 2 Моделювання силових характеристик при точінні і свердлінні.*

*Тема 3 Моделювання процесів циліндричного та торцевого фрезерування.*

*Тема 4 Моделювання процесів абразивного оброблення.*

*Тема 5 Моделювання теплових процесів при різанні.*

*Тема 6 Моделювання утворення шорсткості поверхні при різанні.*

*Тема 7 Моделювання динамічних характеристик при різанні.*

## Політика та контроль

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

**Політика щодо дедлайнів та перескладання:** Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (-10 балів). Перескладання заліку відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

**Політика щодо академічної доброчесності:** Усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 20%.

**Політика щодо відвідування:** Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання, за яке нараховуються бали. За об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись в on-line формі за погодженням із керівником курсу.

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

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, МКР, тест тощо

Семестровий контроль: залік

Умови допуску до семестрового контролю: семестровий рейтинг більше 63 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)**

- можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;
- можливість зарахування статей, виданих за кордоном

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

**Складено** доктор технічних наук, професор

Юрій ПЕТРАКОВ

**Ухвалено** кафедрою технології машинобудування (протокол № 6 від 18 січня 2021р)

**Погоджено** Методичною комісією Механіко-машинобудівного інституту (протокол № 7 від 19.02.2021)