



ТЕХНОЛОГІЇ ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</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)/заочна/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н., доц. Лашина Ю.В., lashyna.yuliia@ill.kpi.ua Практичні: к.т.н., доц. Лашина Ю.В., lashyna.yuliia@ill.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>https://classroom.google.com/c/NTgwMzEwNDkyMTM0?cjc=wxbxhbf</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна призначена для підготовки висококваліфікованих фахівців, здатних вирішувати базові інженерні задачі із застосуванням сучасних технологій адитивного виробництва для виготовлення прототипів під час виконання дослідно-конструкторських робіт для різних галузей застосування, що включають машинобудування, авіаційну промисловість, медицину тощо.

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатностей розв'язання наступних типових задач: вибір технології виготовлення прототипу на основні техніко-економічного аналізу; вибір матеріалів для виготовлення прототипу за допомогою адитивних технологій; підготовка 3D моделі для друку; аналіз моделі виробу з урахуванням обмежень та вимог обраної технології виготовлення; виконання друку моделі на 3D принтері, призначеному для навчальних цілей.

Після вивчення кредитного модуля студенти повинні фахово розуміти в наступних питаннях: поняття Індустрії 4.0, роль і значення адитивних технологій в машинобудуванні; класифікація технологій адитивного виробництва (АВ) за різними ознаками; основні техніко-економічні показники адитивних технологій і матеріалів для адитивного виробництва; обладнання, яке використовується в адитивному виробництві; вибір режимів 3D друку і їх вплив на якість виробу.

Також студент може професійно: аналізувати вимоги до виробу і обирати технології адитивного виробництва; визначати необхідні режими роботи обладнання; проводити аналіз і підготовку моделі для друку; аналізувати відповідність деталей, отриманих за допомогою адитивних технологій, технічним вимогам і, за необхідності, приймати обґрунтовані рішення щодо усунення виявлених проблем.

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

Дисципліна базується на знаннях, отриманих під час вивчення дисциплін: механіка матеріалів і конструкцій; хімія; фізика; матеріалознавство; деталі машин; тривимірне моделювання; метрологія, стандартизація і сертифікація; технологія машинобудування. Результати вивчення дисципліни використовуються в подальшому при виконанні курсових та дипломного проектів, у виробничій діяльності.

3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість (кредитів) годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабораторні	СРС
Розділ 1. Загальні положення					
Тема 1.1. Передумови виникнення адитивних технологій	4	2	-	-	2
Тема 1.2. Розвиток і сучасний стан адитивних технологій.	4	2	-	-	2
Тема 1.3. Базові поняття, термінологія та класифікація	4	2	-	-	2
Разом за розділом 1	12	6	-	-	6
Розділ 2. Основні технології швидкого прототипування					
Тема 2.1. Технології, засновані на екструзії матеріалу	12	2	-	8	6
Тема 2.2. Матеріали, які використовуються для FDM-друку	10	2	-	8	4
Тема 2.3. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за FDM технологією	10	2	-	8	4
Тема 2.4. Підготовка моделі та управляючої програми	10	2	-	8	4
Тема 2.5. Процес фотополімеризації	6	2	-	-	4
Тема 2.6. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за SLA технологією	6	2	-	-	4
Тема 2.7. Технології порошкового адитивного виробництва.	6	2	-	-	4
Тема 2.8. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за SLS технологією	6	2	-	-	4
Тема 2.9. Технології розпилення матеріалів та зв'язуючої речовини.	6	2	-	-	4
Тема 2.10. Технології з'єднання листових матеріалів.	6	2	-	-	4
Разом за розділом 2	78	20	-	32	42
Розділ 3. Особливості використання адитивних технологій					

Тема 3.1. Особливості проектування конструкцій, які виготовляються за допомогою АТ	6	2	-	-	1
Тема 3.2. Адитивні технології в ливарному виробництві	6	2	-	-	1
Тема 3.3. Використання адитивних технологій для швидкого отримання прототипів	8	2	-	4	2
Тема 3.4. Технології адитивного виробництва металевих деталей	4	2	-		1
Тема 3.5. Роль адитивних технологій в Індустрії 4.0	6	2	-	-	1
Разом за розділом 4	30	10	-	36	6
Залік					
Всього годин	120	36	18	36	48

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна:

1. Манжілевський, О. Д. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування [Текст] : навч. посіб. / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. - Вінниця : ВНТУ, 2021. - 105 с.
2. Интегрированные генеративные технологии : учеб. пособие [для студ. выс. учеб. заведений] / А. И. Грабченко, Ю. Н. Внуков, В. Л. Доброскок [и др.] ; под ред. А. И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 416 с.

Додаткова:

3. Gibson J. etc. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Second Edition. Springer 2015, 510 p.
4. Bandyopadhyay A. Additive Manufacturing. CRC Press 2016, 414 p.
5. Badiru A. Additive Manufacturing Handbook. Product Development for the Defense Industry, CRC Press 2017, 931 p.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

5.1. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	Лекція 1 Розділ 1. Загальні положення. Тема 1.1. Передумови виникнення адитивних технологій Вступ. Визначення поняття АТ. Історичні передумови розвитку технологій швидкого прототипування. Вплив розвитку техніки і технологій на розвиток АТ [1, 2].
2	Лекція 2 Розділ 1. Загальні положення. Тема 1.2. Розвиток і сучасний стан адитивних технологій Застосування АВ. Загальний процес АВ. Переваги АВ. Відмінність АВ від процесів

	ЧПК. Приклади використання АВ [1, 2].
2	<p><i>Лекція 3</i></p> <p>Розділ 1. Загальні положення.</p> <p><u>Тема 1.3. Базові поняття, термінологія та класифікація</u></p> <p>Термінологія в галузі адитивного виробництва. Види технологій, класифікація ASTM [1, 2, 3].</p>
4	<p><i>Лекція 4</i></p> <p>Розділ 2. Основні технології адитивного виробництва</p> <p><u>Тема 2.1. Технології, засновані на екструзії матеріалу</u></p> <p>Основні принципи. Нанесення матеріалу та траєкторії. Технологія FDM від Stratasys. Обмеження технології FDM. Інші системи [1, 3]</p>
5	<p><i>Лекція 5</i></p> <p><u>Тема 2.2. Матеріали, які використовуються для FDM-друку</u></p> <p>Класифікація матеріалів, які використовуються для FDM-друку. Стандартні матеріали, галузі їх використання, режими друку. Інженерні матеріали, галузі їх використання, режими друку [1-3].</p>
6	<p><i>Лекція 6</i></p> <p><u>Тема 2.3. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за FDM технологією</u></p> <p>Висота шару, усадка та деформація, опорні конструкції та орієнтація деталей, особливості друку виступаючих частин, мостів та отворів [1-2].</p>
7	<p><i>Лекція 7</i></p> <p><u>Тема 2.4. Підготовка моделі та управляючої програми</u></p> <p>Підготовка CAD моделей: файл STL. Використання слайсера. Розташування моделей, налаштування підтримок. Налаштування друку двома екструдерами. [1, 2].</p>
8	<p><i>Лекція 8</i></p> <p>Розділ 2. Основні технології адитивного виробництва</p> <p><u>Тема 2.5. Процес фотополімеризації</u></p> <p>Основи хімії фотополімерів. Процес SL на основі векторного сканування. Технології та обладнання фотополімеризації з масками [1, 3].</p>
9	<p><i>Лекція 9</i></p> <p>Розділ 2. Основні технології адитивного виробництва</p> <p><u>Тема 2.6. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за SLA технологією</u></p> <p>Висота шару, усадка та деформація, опорні конструкції та орієнтація деталей, особливості друку виступаючих частин, мостів та отворів [1-2].</p>
10	<p><i>Лекція 10</i></p> <p><u>Тема 2.7. Технології порошкового адитивного виробництва.</u></p> <p>Параметри та моделювання порошкового АВ. Оброблення порошку. Варіанти технології та комерційні машини. Переваги та недоліки процесу [1, 3]</p>
11	<p><i>Лекція 11</i></p> <p><u>Тема 2.8. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за SLS технологією</u></p> <p>Висота шару, усадка та деформація, опорні конструкції та орієнтація деталей, особливості друку виступаючих частин, мостів та отворів [1-2].</p>
12	<p><i>Лекція 12</i></p> <p><u>Тема 2.9. Технології розпилення матеріалів та зв'язуючої речовини.</u></p> <p>Еволюція друку, як процес адитивного виробництва. Матеріали. Основи обробки матеріалів. Комерційні машини. Переваги та недоліки процесу. Особливості процесу нанесення зв'язуючої речовини [1, 3]</p>
13	<p><i>Лекція 13</i></p> <p><u>Тема 2.10. Технології з'єднання листових матеріалів.</u></p>

	Склеювання та адгезійне склеювання. Особливості процесу утворення з'єднання. Матеріали. Термічне з'єднання. Механічне закріплення. Ультразвукове адитивне виробництво [1, 3]
14	<p><i>Лекція 14</i></p> <p>Розділ 3. Реалізація адитивних технологій</p> <p><u>Тема 3.1. Особливості проектування конструкцій, які виготовляються за допомогою АТ</u></p> <p>Проектування конструкцій деталей для полімерного адитивного виробництва. Проектування конструкцій деталей для металевих адитивного виробництва. Генеративний дизайн та решітчасті структури [1, 2, 3].</p>
15	<p><i>Лекція 15</i></p> <p>Розділ 3. Реалізація адитивних технологій</p> <p><u>Тема 3.2. Адитивні технології в ливарному виробництві</u></p> <p>Технології лиття металів з використанням синтез-моделей та синтез-форм. Технології та машини для синтезу піщаних ливарних форм. Лиття полімерів з використанням синтезованих майстер-моделей [2].</p>
16	<p><i>Лекція 15</i></p> <p>Розділ 3. Особливості використання адитивних технологій</p> <p><u>Тема 3.3. Використання адитивних технологій для швидкого отримання прототипів</u></p> <p>Галузь застосування. Обладнання і технології. Точність і якість поверхні [2, 3, 4].</p>
17	<p><i>Лекція 15</i></p> <p><u>Тема 3.4. Технології адитивного виробництва металевих деталей</u></p> <p>Матеріали. Процеси групи Bed Deposition на прикладі SLM. Процеси групи Direct Deposition на прикладі DED [2, 5].</p>
18	<p><i>Лекція 18</i></p> <p><u>Тема 3.5. Роль адитивних технологій в Індустрії 4.0</u></p> <p>Загальні відомості щодо Індустрії 4.0. Пряме числове виробництво. Ринок адитивних технологій. Перспективи розвитку адитивних технологій [2, 3, 4].</p>

5.2 Лабораторні заняття

Практичні заняття охоплюють основні теми лекційного матеріалу і розглядають питання практичного застосування отриманих знань.

№ з/п	Назва практичного заняття	З якою темою пов'язане	Кількість ауд. годин
1	ПЗ 1. Знайомство з будовою 3D – принтера. Налаштування 3D –принтера.	2.1	8
2	ПЗ 3. Основи роботи в програмному забезпеченні Cura. Розробка управляючої програми.	2.2	8
3	ПЗ 4. Особливості використання підтримок при 3D-друці	2.3	8
4	ПЗ 5. Особливості друку двома матеріалами.	2.4	8
5	Останнє заняття – залікове.	3.3	4
Всього:			36

5.3. Практичні заняття

Не передбачені

5.4. Індивідуальні завдання

Не передбачені

5.5. Контрольні роботи

МКР виконується на 7 тижні навчання. Запитання МКР відповідають тематиці лекційних та практичних занять.

6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, при підготовці до аудиторних занять	Кількість годин СРС
1.	Розділ 1. Загальні положення. <u>Тема 1.1. Передумови виникнення адитивних технологій</u> Вступ. Визначення поняття АТ. Історичні передумови розвитку технологій швидкого прототипування. Вплив розвитку техніки і технологій на розвиток АТ [1, 2].	2
2.	Розділ 1. Загальні положення. <u>Тема 1.2. Розвиток і сучасний стан адитивних технологій</u> Застосування АВ. Загальний процес АВ. Переваги АВ. Відмінність АВ від процесів ЧПК. Приклади використання АВ [1, 2].	2
3.	Розділ 1. Загальні положення. <u>Тема 1.3. Базові поняття, термінологія та класифікація</u> Термінологія в галузі адитивного виробництва. Види технологій, класифікація ASTM [1, 2, 3].	2
4.	Розділ 2. Основні технології адитивного виробництва <u>Тема 2.1. Технології, засновані на екструзії матеріалу</u> Основні принципи. Нанесення матеріалу та траєкторії. Технологія FDM від Stratasys. Обмеження технології FDM. Інші системи [1, 3]	6
5.	<u>Тема 2.2. Матеріали, які використовуються для FDM-друку</u> Класифікація матеріалів, які використовуються для FDM-друку. Стандартні матеріали, галузі їх використання, режими друку. Інженерні матеріали, галузі їх використання, режими друку [1-3].	4
6.	<u>Тема 2.3. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за FDM технологією</u> Висота шару, усадка та деформація, опорні конструкції та орієнтація деталей, особливості друку виступаючих частин, мостів та отворів [1-2].	4
7.	<u>Тема 2.4. Підготовка моделі та управляючої програми</u> Підготовка CAD моделей: файл STL. Використання слайсера. Розташування моделей, налаштування підтримок. Налаштування друку двома екструдерами. [1, 2].	4
8.	Розділ 2. Основні технології адитивного виробництва <u>Тема 2.5. Процес фотополімеризації</u> Основи хімії фотополімерів. Процес SL на основі векторного сканування. Технології та обладнання фотополімеризації з масками [1, 3].	4
9.	Розділ 2. Основні технології адитивного виробництва <u>Тема 2.6. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за SLA технологією</u> Висота шару, усадка та деформація, опорні конструкції та орієнтація деталей, особливості друку виступаючих частин, мостів та отворів [1-2].	4
10.	<u>Тема 2.7. Технології порошкового адитивного виробництва.</u> Параметри та моделювання порошкового АВ. Оброблення порошку.	4

	Варіанти технології та комерційні машини. Переваги та недоліки процесу [1, 3]	
11.	<u>Тема 2.8. Вимоги до конструкцій виробів, які виготовляються за SLS технологією</u> Висота шару, усадка та деформація, опорні конструкції та орієнтація деталей, особливості друку виступаючих частин, мостів та отворів [1-2].	4
12.	<u>Тема 2.9. Технології розпилення матеріалів та зв'язуючої речовини.</u> Еволюція друку, як процес адитивного виробництва. Матеріали. Основи обробки матеріалів. Комерційні машини. Переваги та недоліки процесу. Особливості процесу нанесення зв'язуючої речовини [1, 3]	4
13.	<u>Тема 2.10. Технології з'єднання листових матеріалів.</u> Склеювання та адгезійне склеювання. Особливості процесу утворення з'єднання. Матеріали. Термічне з'єднання. Механічне закріплення. Ультразвукове адитивне виробництво [1, 3]	4
14.	Розділ 3. Реалізація адитивних технологій <u>Тема 3.1. Особливості проектування конструкцій, які виготовляються за допомогою АТ</u> Проектування конструкцій деталей для полімерного адитивного виробництва. Проектування конструкцій деталей для металевих адитивного виробництва. Генеративний дизайн та решітчасті структури [1, 2, 3].	4
15.	Розділ 3. Реалізація адитивних технологій <u>Тема 3.2. Адитивні технології в ливарному виробництві</u> Технології лиття металів з використанням синтез-моделей та синтез-форм. Технології та машини для синтезу піщаних ливарних форм. Лиття полімерів з використанням синтезованих майстер-моделей [2].	4
16.	Розділ 3. Особливості використання адитивних технологій <u>Тема 3.3. Використання адитивних технологій для швидкого отримання прототипів</u> Галузь застосування. Обладнання і технології. Точність і якість поверхні [2, 3, 4].	4
17.	<u>Тема 3.4. Технології адитивного виробництва металевих деталей</u> Матеріали. Процеси групи Bed Deposition на прикладі SLM. Процеси групи Direct Deposition на прикладі DED [2, 5].	2
18.	<u>Тема 3.5. Роль адитивних технологій в Індустрії 4.0</u> Загальні відомості щодо Індустрії 4.0. Пряме числове виробництво. Ринок адитивних технологій. Перспективи розвитку адитивних технологій [2, 3, 4].	4
	Всього:	66

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- *правила відвідування занять (як лекцій, так і практичних/лабораторних) регламентується: «Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/39>; «Положення про систему внутрішнього забезпечення якості вищої освіти в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/121>;*
- *правила поведінки на заняттях (активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення телефонів, використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-*

диску викладача чи в інтернеті тощо) регламентується «Положення про організацію освітнього процесу в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/39>, ;

- правила захисту лабораторних робіт; кожен студент особисто здає лабораторні роботи;
- правила захисту індивідуальних завдань; кожен студент особисто здає індивідуальні роботи ;
- в даному кредитному модулі наявні тільки заохочувальні бали, які студент може отримати на добровільній основі виконуючі певний перелік додаткових завдань пов'язаних з тематикою кредитного модуля;
- політика дедлайнів та перескладань, регламентується «Положення про поточний, календарний та семестровий контроль результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/32>, «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/37> ;
- політика щодо академічної доброчесності регламентується «Положення про систему запобігання академічного плагіату в КПІ ім. Ігоря Сікорського» <https://osvita.kpi.ua/node/47>; положенням «Положення про вирішення конфліктних ситуацій в КПІ ім. Ігоря Сікорського» https://osvita.kpi.ua/2020_7-170;

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

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом Таблиця 8.1.

Семестр	Всього	Розподіл за семестрами та видами занять				МКР	РГР	Залік
		Лек.	Прак.	Лаб.	СРС			
4	120	36	0	36	66	-	-	+

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

8.1. Практичні роботи (r1)

Ваговий бал однієї практичної роботи становить 20 балів (табл.8.2). Максимальна кількість балів за всі практичні роботи: $r1 = 4 \text{ роботи} \times 20 \text{ бали} = 80 \text{ балів}$.

Максимальна кількість заохочувальних +3 бали за всі практичні заняття.

Рейтингові бали за одну практичну роботу Таблиця 8.2

Бали	Критерій оцінювання
20	Зауважень до звіту нема, є відповіді на всі запитання
18	Несуттєві зауваження до звіту, відповіді на більшість запитань
16	Зауваження до отриманих результатів, відповідь на частину питань
14	Звіт має помилки, відповіді лише на окремі питання
12	Робота виконана, отримано вірні результати, але не захищено.
0,00	Робота не виконана, звіт відсутній

8.2. Модульний контроль (r2)

Модульна контрольна робота виконується протягом двох академічних годин і має на меті перевірку теоретичних знань студентів. Ваговий бал МКР становить 20 балів (табл. 8.3).

$r2 = 20 \text{ балів}$.

Бали	Критерій оцінювання
20	Вірна відповідь більш ніж на 90 % питань
18	Вірна відповідь на 90 % питань
16	Вірна відповідь на 80 % питань
14	Вірна відповідь на 70 % питань
12	Вірна відповідь на 60 % питань
0,0	Вірна відповідь менш ніж на 60 % питань або студент був відсутній без поважної причини

8.3. Штрафні та заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає тільки заохочувальні бали (табл.8.4). Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати $50 \times 0,1 = (+ 5)$ балів.

Заохочувальні бали Таблиця 8.4

Дія	Бали
Участь у модернізації практичних робіт	плюс 2 бали
Удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни	плюс 3.. .5 балів
Застосування оригінального підходу при вирішенні задач	плюс 1 бал

8.4. Умови рубіжної атестації

Не передбачено

8.5. Критерії оцінювання заліку

Залік виставляється на останньому занятті за розкладом відповідно до балів, набраних студентом протягом семестру.

8.6. Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (Rd):

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$Rd = Rc = r1 + r2 = 80 \text{ пр} + 20 \text{ мкр} = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою. Таблиця 8.5

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Менше 36	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- залік з дисципліни «Технології швидкого прототипування» виставляється відповідно до рейтингових балів, набраних студентом протягом семестру (див. п. 8)
- зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою розглядається в індивідуальному порядку

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доц, Лашина Ю.В.

Ухвалено кафедрою Технології машинобудування (протокол № 1 від 29.08.2022)

Погоджено Методичною комісією НН ММІ (протокол № 1 від 30.08.2022)