



ОСНОВИ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 (G8) Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредитів /120 год.: лекції – 36 години, практичні роботи – 36 годин, СРС – 48 години</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: Ph. D., асистент Втерковський Михайло Ярославович, e-mail: m.vterkovskiy@gmail.com Лабораторні: Ph. D., асистент Втерковський Михайло Ярославович, e-mail: m.vterkovskiy@gmail.com,</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Аддитивні технології (АТ), або тривимірний друк (3D), визначають нову еру в промисловості, що дозволяє створювати складні геометрії виробів без використання традиційних форм і шаблонів. Це забезпечує значну гнучкість у проєтуванні, дозволяючи інженерам і дизайнерам реалізовувати більш інноваційні рішення, які раніше вважалися нездійсненними. Багато галузей, від авіабудування до медицини, вже активно впроваджують аддитивні технології. Завдяки тому, що матеріал формується пошарово, а не обробляється з блоку, можна мінімізувати відходи і знизити загальні витрати на виробництво. Це, в свою чергу, може позитивно впливати на екологію, зменшуючи обсяги відходів та енергозатрат. Активне використання АТ в прототипуванні дозволяє компаніям швидше виходити на ринок з новими продуктами. Це дозволяє значно скоротити цикл розробки, проводячи тестування без необхідності інвестицій у дорогі інструменти. Знання в цій сфері надає студентам переваги в їхній подальшій кар'єрі, відкриваючи нові можливості в дослідженнях, розробках і виробництві.

Мета дисципліни навчити студентів основам принципів та процесів аддитивного виробництва (АВ). Розуміння технологічних та проєктних аспектів, що впливають на вибір аддитивних технологій для вирішення конкретних інженерних завдань, зокрема у галузях машинобудування, авіації, медицини і дизайну. А також розвиток фахових компетентностей (ФК) спеціальності, які полягають у:

- Здатності застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань.
- Здатності забезпечувати якість матеріалів та виробів
- Здатності застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем.
- Здатності використовувати практичні інженерні навички для вирішення професійних завдань.
- Здатності використовувати методи адитивних технологій для конструювання виробів та вибору технологій їх одержання.

Предмет навчальної дисципліни «Основи адитивних технологій» – основні принципи та процеси адитивного виробництва з акцентом на зв'язок між вибором матеріалів та відповідною технологією адитивного виробництва в залежності від інженерної та проєктної задачі.

У процесі вивчення дисципліни студент набуває таких **результатів навчання** як:

- Розуміння будови металевих, неметалевих, композиційних та функціональних матеріалів та обирати оптимальні методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибрати матеріали для виробів різного призначення.
- Володіння методами забезпечення та контролю якості матеріалів.
- Знання основних груп матеріалів та здатність обґрунтовано здійснювати їх вибір для конкретного використання.
- Розуміння принципів адитивного виробництва деталей з полімерів, металів і сплавів та кераміки.
- Уміння обґрунтувати вибір матеріалу і схеми виготовлення виробів за їх призначенням.

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

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни «Основи адитивних технологій»:

- Інженерна та комп'ютерна графіка
- Фізика.

Знання англійської мови буде перевагою під час вивчення дисципліни.

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни необхідні як для поглибленого вивчення нормативних дисциплін, так і для вивчення дисциплін сертифікатної програми «Тривимірне комп'ютерне моделювання», «Сучасні методи консолідації» та «Матеріали адитивного виробництва»

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1 – Вступ до курсу

Тема 1. Історія та розвиток адитивних технологій.

Тема 2. Визначення та принципи адитивного виробництва.

Розділ 2 – Основні типи адитивних технологій (АТ)

Тема 3. Загальна класифікація типів АТ.

Тема 4. Методи тривимірного друку: FDM та SLA.

Тема 5. Методи тривимірного друку: SLS (вибіркове (селективне) лазерне спікання – СЛС)

Тема 6. Методи тривимірного друку: SLM (вибіркове (селективне) лазерне плавлення – СЛМ).

Розділ 3 – Основні матеріали для адитивних технологій (АТ)

Тема 7. Загальна інформація про полімери, термопласти, металічні та керамічні матеріали для тривимірного друку. Основні вимоги до матеріалів.

Тема 8. Види пластику та армованого термопластику для тривимірного друку.

Тема 9. Металеві матеріали для тривимірного друку.

Тема 10. Використання металевих матеріалів в тривимірного друці для медичної індустрії. Сплави на основі Титану.

Тема 12. Друк керамічними та металокерамічними матеріалами.

Розділ 4 – Основи процесу проектування створення деталей для тривимірного друку та технологічні аспекти тривимірного друку.

Тема 13. Типи програмного забезпечення для створення тривимірного моделей. Спільні та відмінні риси різних CADсистем. Підготовка та оптимізація моделей для АТ.

Тема 14. Налаштування параметрів друку. Контроль якості процесу тривимірного друку.

Розділ 5. – Застосування адитивних технологій.

Тема 15. Використання у промисловості, медицині, автомобільній та аерокосмічній галузі. Прототипування та малосерійне виробництво.

Розділ 6. – Екологічні та економічні аспекти АТ.

Тема 16. Вплив на довкілля та сталий розвиток. Переробка і повторне використання матеріалів.

Тема 17. Витрати на виробництво та економічна ефективність. Порівняння з традиційними методами виробництва.

Розділ 7. – Перспективи розвитку адитивних технологій:

Тема 18. Інновації та нові матеріали. Майбутнє адитивного виробництва в промисловості.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базові:

1. 3D друк в умовах біомедичного використання [Електронний ресурс] : конспект лекцій з дисципліни «3D друк в умовах біомедичного використання» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Б. В. Єфременко. – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 56 с.
2. Адитивні технології : навч. посіб. / Т. Р. Ганєєв, І. О. Прибисько, М. М. Руденко, І. О. Петренко. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 105 с.
3. Пупань Л. І. Постпроцеси адитивних технологій : навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Л. І. Пупань. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – 91 с.
4. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування : навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 105 с.

Додаткові:

5. Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges / Tuan D. Ngo, Alireza Kashani, GabrieleImbalzano // Composites Part B: Engineering. – 2018. – Vol. 143. – P. 172–196.
6. Current Status and Prospects of Polymer Powder 3D Printing Technologies / Yue Wang, Zhiyao Xu, DingdiWu // Materials. – 2020. – Vol. 10. – 19 p.

7. *Powders for powder bed fusion : a review / Silvia Vock, Burghardt Klöden, Alexander Kirchner // Progress in Additive Manufacturing. – 2019. – Vol. 4. – P. 383–397.*

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

5.1. Лекційні заняття

Лекції	Опис
1	Вступ. Система оцінювання. Знайомство з викладачем та аудиторією. Предмет і зміст дисципліни. Історія та розвиток адитивних технологій. Визначення і принципи адитивного виробництва.
2	Типи адитивних технологій: Загальна класифікація типів АТ. Методи тривимірного друку: FDM та SLA.
3	Методи тривимірного друку: SLS (вибіркове (селективне) лазерне спікання – СЛС).
4	Методи тривимірного друку: SLM (вибіркове (селективне) лазерне плавлення – СЛМ).
5-6	Загальна інформація про полімери, термопласти, металічні та керамічні матеріали для тривимірного друку. Основні вимоги до матеріалів. Види пластику та армованого термопластику для тривимірного друку.
7	Тематична контрольна робота №1.
8	Металеві матеріали для тривимірного друку.
9	Використання металевих матеріалів в тривимірному друці для медичної індустрії. Сплави на основі Титану.
10	Використання металевих матеріалів в тривимірному друці для медичної індустрії. Сплави на основі Титану.
11	Друк керамічними та металокерамічними матеріалами.
12	Типи програмного забезпечення для створення тривимірних моделей. Спільні та відмінні риси різних CADсистем. Підготовка та оптимізація моделей для АТ.
13	Налаштування параметрів друку. Контроль якості процесу тривимірного друку.
14	Використання АТ у промисловості, медицині, автомобільній та аерокосмічній галузі. Прототипування та малосерійне виробництво.
14	Тематична контрольна робота №2.
15	Вплив АТ на довкілля та сталий розвиток. Переробка і повторне використання матеріалів.
16	Витрати на виробництво та економічна ефективність. Порівняння з традиційними методами виробництва.
17	Інновації та нові матеріали. Майбутнє адитивного виробництва в промисловості.
18	Залік

5.2. Лабораторні заняття (комп'ютерні практикуми)

Практичні заняття	Опис
1-2	Друк різними типами пластику. Розрахунок необхідних геометричних параметрів зразків з метою подальшого дослідження. Друк експериментальних зразків.
3-4	Визначення щільності та механічних властивостей надрукованих зразків. Оформлення звіту та захист практичної роботи.
5-6	Ознайомлення з основним обладнанням для тривимірного друку металевими матеріалами. Розрахунок необхідних геометричних параметрів зразків з метою подальшого дослідження.
7	Аналіз результатів тематичної контрольної роботи №1. Робота над типовими помилками.

9-10	Екскурсія на виробництво. Дослідження отриманих експериментальних зразків.
11	Оформлення звіту та захист практичної роботи.
12-13	Ознайомлення з основним обладнанням для тривимірного друку керамічними матеріалами. Порівняння характеристик зразків, отриманих тривимірним друком з різних керамічних порошків.
14	Оформлення звіту та захист практичної роботи.
15	Аналіз результатів тематичної контрольної роботи №2. Робота над типовими помилками.
16	Вплив різних параметрів друку на властивості отриманих матеріалів. Середовища для моделювання та слайсингу.
17	Дослідження характеристик отриманих експериментальних зразків. Оформлення звіту
18	Захист практичної роботи. Підведення підсумків практичних робіт.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента (48 годин.) складається з:

- підготовки до практичних робіт, яка полягає у виконанні самостійного завдання на закріплення пройденної теми – 36 год;
- підготовки до тематичних контрольних робіт – 6 год;
- підготовки до заліку – 6 год.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять.

Відвідування лекційних занять є не обов'язковим, але бажаним. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опанувати теоретичні знання безпосередньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції.

Відвідування практичних занять є обов'язковим. Допускаються пропуски практичних занять студентами через поважні причини.

Правила поведінки на заняттях.

На усіх заняттях, лекційних і практичних, вітається відключення звукових сигналів телефонів.

Під час проведення практичних занять у очному режимі в лабораторіях №044-9 та №104-9 корпусі студенти повинні суворо дотримуватись правил техніки безпеки.

Перескладання тематичної контрольної роботи проводиться за взаємною домовленістю студентів і викладача.

Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ "КПІ ім. ІгоряСікорського" відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті НН ІМЗ ім. Є. О. Патона.

Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

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

- **Поточний контроль:** завдання з практичних робіт, тематичні контрольні роботи.

- **Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог навчального процесу.
- **Семестровий контроль:** залік
- Кожне практичне заняття оцінюється в 10 балів та сумарно складається з оцінки за допуску до практичного заняття, виконання практичної роботи та захисту практичної роботи. Максимальна кількість отриманих балів за виконання практичних робіт 80 балів. З врахуванням критерія вагового критерію студент може отримати за виконання віх практичних завдань 64 бали.

$$O_{\text{семестр}} = 0,8 \sum O_{\text{ПР}} + 0,5 O_{\text{ТКР1}} + 0,5 O_{\text{ТКР2}}$$

Поточний контроль.

Система вимог, які викладач ставить перед студентом: Робота на практичному занятті оцінюється максимально у 20 балів. Задача студента полягає у засвоєнні теоретичної інформації та виконання практичного завдання згідно інструкції викладача та інформації, зазначеної в навчальному посібнику (протоколі до практичної роботи).

Календарний контроль.

Календарний контроль (КК) проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Максимальна оцінка за тематичну контрольну роботу становить 36 балів. Для позитивного оцінювання 1-го КК студенту необхідно виконати практичні роботи №1–№2 щонайменше на 20 балів, та написати тематичну контрольну роботу мінімум на 18 балів. Для позитивного оцінювання 2-го КК студенту необхідно отримати мінімум по 20 балів за завдання практичної роботи №3 та написати тематичну контрольну роботу №2 щонайменше на 18 балів.

Залік.

Умовою допуску до заліку є виконання та захист усіх практичних робіт, ТКР.

Мінімальним позитивним є рейтинг, який розраховується як середнє значення суми усіх виконаних завдань, і складає не менше 60 балів, за умови отримання за практичні заняття щонайменше 32 балів із 64 максимально можливих.

Студенти, що набрали упродовж семестру не менше 60 балів мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу, але у цьому випадку попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів тільки залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.

Залікова контрольна робота проводиться письмово. На проведення залікової контрольної роботи виділяється 2 академічні години часу. Залікова контрольна робота складається із 3 теоретичних питань, та одного практичного завдання, кожне із теоретичних питань оцінюється максимально у 20 балів. Практичне завдання оцінюється максимум у 40 балів. Сумарна максимальна оцінка складає 100 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
<i>100-95</i>	<i>Відмінно</i>
<i>94-85</i>	<i>Дуже добре</i>
<i>84-75</i>	<i>Добре</i>
<i>74-65</i>	<i>Задовільно</i>
<i>64-60</i>	<i>Достатньо</i>
<i>Менше 60</i>	<i>Незадовільно</i>
<i>Не виконані умови допуску</i>	<i>Не допущено</i>

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".*
- *Перелік питань, що виносяться на контрольну роботу наведено у Додатку А;*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: *асистент каф. ВТМ та ПМ, Ph. D., асистент Втерковський Михайло Ярославович*

Ухвалено *кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії (протокол № 9 від 14.02.2025 р.)*

Погоджено *Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 6/25 від 19.02.2025 р.)*

Перелік запитань, які виносяться на тематичні контрольні роботи та залікову контрольну роботу:

1. Основні етапи розвитку адитивних технологій.
2. Переваги адитивних технологій.
3. Застосування адитивних технологій.
5. Різниця між лазерними та струменевими технологіями.
7. Стереолітографія.
8. Селективне лазерне спікання
9. Струменева полімеризація
10. Полімерні матеріали та нейлон як матеріали для тривимірного друку.
11. Металеві матеріали (основна інформація).
12. Друк пластиком: основні матеріали.
13. Класифікація видів тривимірного друку, які використовують полімери та композити, як вихідні матеріали.
14. Схематичне зображення перших установок для тривимірного друку пластиком та основні вузли установки.
15. Рідкофазні методи друку металом.
16. Твердофазні методи друку металом.
17. Види вихідних матеріалів для друку металом. Спільні та відмінні риси.
18. Методи «наплавлення» металом.
19. Використання методів порошкової металургії в адитивних технологія.
20. Метод SLS. Вихідні матеріали, принцип методу.
21. Метод SLM. Вихідні матеріали, принцип методу.
22. Основні складові будь якого обладнання для лазерного спікання (плавлення) металом. Основні функції кожної з складових.
23. Властивості сплаву Ti_6Al_4V .
24. Спікання керамічних матеріалів: основні методи.