



Технологічне обладнання адитивних процесів

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>Конструювання та дизайн машин</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС, 120 год., лекції – 36 год., лабораторні – 18 год., практичні – 18 год., СРС 48 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<i>За розкладом на сайті університету. http://rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф. Саленко Олександр Федорович e-mail: Salenko2006@gmail.com Лабораторні: к.т.н., доц. Джулій Дмитро Юрійович Кафедра: Корпус КПІ 22, кімната 109, тел. (044) 204-82-55 e-mail: dzhulii.dmytro@ill.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>Classroom</i>

Програма навчальної дисципліни

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

На сучасному етапі розвитку сучасної технології науково технічний прогрес знаходить своє відображення в якісних змінах знарядь праці, продуктах праці, у впровадженні нових автоматизованих технологічних процесів як у системах матеріального виробництва так і у системах управління різних рівнів. В результаті з'являються нові вироби й технології, змінюється номенклатура послуг, що надаються підприємствам, установам та фізичним особам, виникають принципово нові економічні об'єкти. Відбувається подальше зростання складності технічних об'єктів і систем, розширюється коло їх інформаційної взаємодії, збільшується невизначеність поведінки технічних систем в умовах швидкозмінного зовнішнього середовища. Всі ці явища вимагають швидкого, адекватного реагування шляхом створення нових складних виробів у малих обсягах (практично одиничне виробництво), для яких адитивні процеси є найбільш ефективним засобом.

Широке поширення цифрових технологій в області проектування (CAD), моделювання та розрахунків (CAE) і механічного оброблення (CAM) стимулювало вибуховий характер розвитку технологій 3D-друку, і в даний час вкрай складно вказати область матеріального виробництва, де в тій чи іншій мірі не використовувалися б 3D-принтери. Цифрові 3D-технології відкрили унікальні можливості відтворення найскладніших просторових форм, об'єктів та інженерних конструкцій, механізмів.

Аддитивні технології (від англійського Additive Fabrication) - узагальнена назва технологій, які передбачають виготовлення виробу за даними цифрової моделі (або CAD-моделі) методом пошарового додавання (add, англ. - додавати, звідси і назва) матеріалу.

Як показує інженерна практика, спеціалістам, задіяним у створенні та експлуатації складних технічних систем, конче необхідні знання у галузі методів і прийомів проведення наукових досліджень складних технічних систем, внаслідок чого можуть бути виявлені порушення сталості в роботі таких систем, оцінена надійність функціонування в тих чи інших умовах, визначені напрямки удосконалення елементів, вузлів, компонентів та підсистем складних технічних систем.

Тож вивчення основ зазначених технологій, їх дослідження методами прямого та непрямого експериментів, направлених на встановлення закономірностей функціонування та забезпечення надійності адитивного процесу поліпшить конкурентні переваги фахівця спеціальності 131–прикладна механіка, зробить його більш затребуваним на сучасному ринку.

Метою дисципліни є засвоєння матеріалу та набуття досвіду застосування системного підходу для розв'язування інженерних завдань, використання поверхневого та твердотілого моделювання для створення 3-D моделей деталей і вузлів, підвищити ефективність використання комп'ютерної техніки для моделювання технічних об'єктів та систем шляхом відтворення каркасного, твердотілого та поверхневого моделювання деталей. Вивчення існуючого та створення нового обладнання для адитивних процесів та вивчення основ адитивного виробництва.

Предмет навчальної дисципліни – теоретичне, комп'ютерне та експериментальне забезпечення та дослідження сучасних науково-технічних проблем прикладної механіки і вирішення задач динаміки, міцності, оптимізації, ресурсу, надійності та безпеки конструкцій і машин, композитних структур, пристроїв і агрегатів;

Дисципліна "Технологічне обладнання адитивних процесів" відноситься до вибіркової дисципліни циклу професійної підготовки, і вона самостійно не формує компетентностей, проте здатна підсилювати компетентності та результати навчання, які забезпечують нормативні освітні компоненти.

Вивчення дисципліни сприяє підсиленню наступних компетентностей:

Загальні компетентності

ЗК13. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

Фахові компетентності

ФК3. Здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання нових технологій і технічних засобів

ФК 25. Здатність проектувати вироби машинобудування з урахуванням сучасних трендів у сфері дизайну, оцінювати їх естетичність, ергономічність та технологічність.

Завершитись навчання має наступними програмними результатами:

РН 22. Виявляти вплив основних технологічних процесів виготовлення і складання деталей, механізмів і машин на формування техніко-економічних показників та якість продукції.

РН 23. Вирішувати практичні завдання з вибору типових технологічних процесів та реалізації технологічних операцій з вибором заготовки, технологічного обладнання, оснащення та інструменту, встановленням технічно обґрунтованих норм часу та формуванням комплексу технологічної документації.

РН 30. Знати і вміти при створенні моделей вузлів та приводів технологічного обладнання, механізмів та машин за заданими параметрами використовувати модулі спеціалізованих автоматизованих розрахунків та комп'ютерної симуляції інтерактивного проектування CAD/CAE систем.

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

Дисципліна "Основи адитивного виробництва" базується на наступних дисциплінах:

- Матеріалознавство;
- Комп'ютерні технології проектування та дизайну. Частина 1. Основи тривимірного моделювання;
- Загальна фізика;
- Механіка матеріалів і конструкцій;

– Технологія конструкційних матеріалів.

У свою чергу дисципліна "Основи адитивного виробництва" може бути корисною для подальшої підготовки з дисциплін:

– Комп'ютерні технології проектування та дизайну. Частина 4. Технічний дизайн у машинобудуванні;

– Дипломне проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

- | | |
|--------|---|
| Тема 1 | Термінологія та класифікація адитивних процесів |
| Тема 2 | Адитивні машини. Принципи машин BED Deposition and Direct Deposition |
| Тема 3 | Машини і обладнання для вирощування металевих виробів. |
| Тема 4 | Адитивні технології та порошкова металургія |
| Тема 5 | Комп'ютерна томографія та контроль готових виробів |
| Тема 6 | Застосування FDM-процесу для виготовлення моделей і деталей машинобудування |
| Тема 7 | Дослідження процесів вирощування виробів із закладними елементами |
| Тема 8 | Методи параметричної оптимізації структурно-складних технічних систем |
| Тема 9 | Надійність процесу 3-Д друку |

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основна література

1. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування : навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 105 с. Режим доступу: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Manzhilev_2021_105.pdf

Додаткова література

1. 3-D Printing Manufacturing Process is Here; Independent global forum for the Unmanned Aircraft Systems community, UAS Vision [Електронний ресурс]. – URL: <http://www.uasvision.com>.
2. Khoshnevis B. et al. Metallic part fabrication using Selective Inhibition Sintering (SIS). Department of Industrial and Systems Engineering University of South California, Los Angeles, CA 90089, USA.
3. Sabina L. Campanelli et. Al. Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting Process. Polytechnic of Bari, Department of Management and Mechanical Engineering, Viale Japigia, 182 Italy
4. Techel A. et al. Laser Additive Manufacturing of Turbine Components, Precisely and Repeatable. Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology (IWS), интернет-издание Laser Institute of America.
5. Gibson I. Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing / I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker., 2015. – 498 с. – (Second Edition).

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

На лекціях подається теоретичний матеріал та наводяться приклади конструювання обладнання для адитивного виробництва та основи адитивних процесів отримання готових виробів. Під час лекційних занять розглядаються наступні питання:

- Конструкції обладнання для адитивного виробництва;
- Основи адитивних процесів;
- Особливості матеріалів, що застосовуються для адитивного виробництва;

– Програмне забезпечення для адитивного виробництва.

Основними завданнями циклу **практичних занять** є поглиблення теоретичних знань, набуття навичок роботи з програмним забезпеченням для підготовки та виконання процесів адитивного виробництва.

Основні теми практичних занять пов'язані з програмним забезпеченням для адитивного виробництва.

Лабораторні роботи

На лабораторних роботах студенти опановують методики проектування адитивного обладнання та технологічні особливості процесів адитивного виробництва. Лабораторні роботи, розроблені та запропоновані студентам, мають індивідуальний, дослідницький характер.

Теми лабораторних робіт діляться на групи:

- Конструктивні особливості обладнання для адитивного виробництва;
- Залежність параметрів якості 3Д друківаних деталей від технологічних умов адитивного виробництва.

6. Самостійна робота студента

Години, відведені на самостійну роботу студента, призначені для опанування навчальної дисципліни, зокрема, підготовка до виконання робіт на практичних заняттях; підготовка до лекцій та лабораторних робіт, а також підготовка до модульної контрольної роботи та заліку.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Відвідування занять

Відвідування лекцій чи відсутність на них, не оцінюється. Проте, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Відвідування лабораторних робіт є обов'язковим. У разі відсутності студента на лабораторній роботі, у тому числі і за станом здоров'я, йому необхідно пропущену роботу відпрацювати. На одному занятті (2 год.) можна відпрацювати лише одну пропущену лабораторну роботу. Звіт з лабораторних робіт захищається на останньому лабораторному занятті до початку заліку.

Відвідування практичних занять є вельми бажаним, оскільки на цих заняттях вирішуються типові задачі адитивного виробництва. Також студенти мають можливість проконсультуватися з викладачем по всіх питаннях з дисципліни. Як правило, на останньому практичному занятті захищаються звіти з практичних робіт. Захист звіту з практичних робіт можливий і раніше, але обов'язково до початку заліку з дисципліни.

Відвідування модульних контрольних робіт є обов'язковим. Якщо студент пропустив МКР з поважних причин, наприклад, за станом здоров'я, то за наявності підтверджуючого документа (довідки) він може протягом тижня написати пропущену контрольну роботу. В іншому випадку МКР не оцінюється. Перескладання модульної контрольної роботи на вищу оцінку не передбачено.

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень. Детальніше: НАКАЗ №НОН/228/2022 ВІД 21.07.2022 "Про затвердження нової редакції положення про апеляції в КПІ ім. Ігоря Сікорського", https://document.kpi.ua/2022_НОН-228.

Академічна доброчесність

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)

Поточний контроль: лабораторні роботи, модульні контрольні роботи, експрес опитування за темою заняття.

Календарний контроль: провадиться 2 раз на семестр за встановленим графіком як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: залік.

Рейтингова оцінка R студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- виконання лабораторних робіт $r1$;
- виконання практичних робіт $r2$;
- модульну контрольну роботу $r3$;
- залік $r4$.

Додатково PCO передбачає можливість нарахування заохочувальних та штрафних балів.

Лабораторні роботи (r1)

Ваговий бал однієї лабораторної роботи – 5 балів. Мінімальна кількість балів, яка повинна бути набраною, щоб лабораторна робота вважалась зарахованою складає 3 бали, тобто 60% від максимальної кількості за одну роботу (табл. 1).

Таблиця 1

Рейтингові бали за одну лабораторну роботу

Бали	Критерії оцінювання
5,0	Робота виконана повністю, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.
4,5	Робота виконана з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності.
4,0	Робота виконана з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань.
3,5	Робота виконана з помилками, є відповіді лише на частину запитань.
3,0	Робота виконана із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.
0,0	Робота не виконана, звіт не представлений.

Мінімальна кількість балів за всі лабораторні роботи:

$$r1_{min} = 3 \text{ бали} \times 6 = 18 \text{ балів.}$$

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи:

$$r1_{max} = 5 \text{ балів} \times 6 = 30 \text{ балів.}$$

Звіт з лабораторних робіт захищається на передостанньому лабораторному занятті до початку заліку за курсом.

Звіт з практичних робіт (r2)

Звіт з практичних робіт вміщує усі завдання, видані викладачем. Максимальна кількість балів за завдання нараховується за його правильне та своєчасне виконання. Терміни виконання завдань встановлюються викладачем на практичних заняттях. Оцінювання звіту здійснюється відповідно до таблиці 2.

Таблиця 2

Рейтингові бали за звіт з практичних робіт

Бали	Критерій оцінювання
-------------	----------------------------

30	Завдання виконані, зауважень немає, є відповіді на всі запитання.
27	Завдання виконані з несуттєвими зауваженнями, у відповідях трапляються неточності.
24	Завдання виконані з зауваженнями, є відповіді на більшість запитань.
21	Завдання виконані з помилками, є відповіді лише на частину запитань.
18	Завдання виконані із значними помилками, є відповіді лише на окремі питання.
0,0	Завдання не виконані, звіт не представлений.

Максимальна кількість балів становить:

$$r_2 = 30 \text{ балів.}$$

мінімальна кількість балів за звіт з практичних робіт складає не менше 60% від максимальної кількості:

$$r_{2min} = 0,6 \times 30 = 18 \text{ балів.}$$

Модульна контрольна робота

Робочим навчальним планом передбачено проведення однієї модульної контрольної роботи (МКР) в обсязі 2 год. МКР відбувається у вигляді двох контрольних робіт по 1 годині кожна. Контрольна робота-1 виконується за темами 1 – 4. Контрольна робота-2 виконується за темами 5 – 9.

Одна контрольна робота складається з кількох завдань. Завдання оновлюються кожного семестру. Ваговий бал однієї контрольної роботи – 20 балів.

Оцінювання контрольної роботи здійснюється відповідно до таблиці 3.

Таблиця 3

Рейтингові бали за одну контрольну роботу

Бали	Критерій оцінювання
20	Вірна відповідь більш, ніж на 95 % питань
18	Вірна відповідь більш, ніж на 85 % питань
16	Вірна відповідь більш, ніж на 75 % питань
14	Вірна відповідь більш, ніж на 65 % питань
12	Вірна відповідь більш, ніж на 60 % питань
0	Вірна відповідь менш, ніж на 60 % питань або студент був відсутній

Максимальна кількість балів за дві контрольні роботи відповідно складає:

$$r_2 = 20 \text{ балів} \times 2 = 40 \text{ балів}$$

Штрафні та заохочувальні бали

Загальний рейтинг з дисципліни включає штрафні та заохочувальні бали, які додаються до суми вагових балів усіх контрольних заходів.

Нарахування штрафних балів не передбачено.

Заохочувальні бали можуть нараховуватися за виконання творчих робіт: робота у наукових гуртках з підготовкою матеріалів доповідей або статей для публікації, участь у наукових і науково-практичних конференціях і семінарах, олімпіадах з дисципліни, конкурсах робіт, рефератів та оглядів наукових праць, аналіз сучасної нормативно-правової бази з дисципліни у країні та її відповідність вимогам міжнародних стандартів тощо. Кількість нарахованих балів залежить від отриманих результатів.

Загальна сума заохочувальних балів не може перевищувати 10% від рейтингової шкали, тобто $100 \times 0,1 = 10$ балів.

Умови календарного контролю

Календарний контроль з навчальної дисципліни (освітнього компонента) проводиться, як правило, на 7-8 та 14-15 тижнях кожного семестру. Умовою отримання позитивної оцінки з календарного контролю з навчальної дисципліни є значення поточного рейтингу здобувача не

менше, ніж 50 % від максимально можливого на час проведення такого контролю. Результати календарного контролю заносяться у модуль "Календарний контроль" Електронного кампусу.

Критерії залікового оцінювання

Рейтингова система оцінювання складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю, заохочувальних та штрафних балів. Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни в семестрі.

Необхідною умовою допуску до заліку є виконання та захист всіх лабораторних робіт.

Рейтингова оцінка доводиться до здобувачів на передостанньому занятті з дисципліни в семестрі. Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідно до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи.

У цьому випадку бали, отримані за індивідуальну роботу залишаються, а бали отримані за модульні контрольні роботи скасовуються.

Максимальна кількість балів, отриманих за залікову контрольну роботу, складає 40 балів:

$$r_4 = 40 \text{ балів.}$$

Критерій залікового оцінювання визначається як сума якості відповідей на кожне завдання білета за табл. 4.

Таблиця 4

Кількість балів за одне завдання білета

Бали	Критерій оцінювання
40	Відмінна відповідь (не менше 95% інформації), можливі несуттєві зауваження та неточності
36	Дуже добра відповідь (не менше 85% інформації), помилок немає, відповідь на переважну більшість питань, творче мислення
32	Добра відповідь (не менше 75% інформації), помилок немає, відповідь на більшість питань, окремі недоліки
28	Задовільна відповідь (не менше 65% інформації) є зауваження, відповідь на частину питань
24	Достатня відповідь (не менше 60% інформації), суттєві помилки, відповідь на окремі питання.
0,0	Відповідь невірна або менше 60% інформації, або вона відсутня

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни

За результатами заходів поточного контролю з дисципліни, заохочувальних балів

- без залікової контрольної роботи:

$$R = r_1 + r_2 + r_3 = 30 + 30 + (20 + 20) = 100 \text{ балів}$$

- із заліковою контрольною роботою:

$$R = r_1 + r_2 + r_4 = 30 + 30 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Для отримання відповідної оцінки з дисципліни студент має набрати певну кількість балів, згідно з таблицею перерахунку (табл. 5).

Таблиця 5

Таблиця перерахунку рейтингових балів в оцінки

Рейтингова оцінка здобувача	Університетська шкала оцінок
-----------------------------	------------------------------

	рівня здобутих компетентностей
95 – 100	Відмінно
85 – 94	Дуже добре
75 – 84	Добре
65 – 74	Задовільно
60 – 64	Достатньо
Менше 60 балів	Незадовільно
Не виконані умови допуску до семестрового контролю	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус) склав:

Професор кафедри конструювання машин, доктор
технічних наук

Олександр САЛЕНКО

Доцент кафедри конструювання машин, кандидат
технічних наук

Дмитро ДЖУЛІЙ

Ухвалено кафедрою конструювання машин

(Протокол №6 від 15.12.2021 р.)

Погоджено методичною комісією навчально-
наукового механіко-машинобудівного інституту

(Протокол №5 від 17.12.2021 р.).