



Технології оброблення на верстатах з числовим програмним керуванням

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 – Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>G9 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Конструювання та дизайн машин</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЕКТС, 120 год., Лекції – 18 год., лабораторні – 54 год., СРС 48 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, МКР</i>
Розклад занять	<i>За розкладом на сайті університету: http://roz.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор доцент кафедри КМ, к.т.н., Івановський Олексій Анатолійович Лабораторні: к.т.н., Івановський Олексій Анатолійович ivanovskiy.oleksii@edu.kpi.ua ,
Розміщення курсу	Ресурс «Електронний кампус»

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Технології оброблення на верстатах з числовим програмним керуванням» є нормативною для підготовки бакалаврів за освітньою програмою «Конструювання та дизайн машин».

Дана дисципліна передбачає вивчення принципів побудови та функціонування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), технологічних процесів механічної обробки деталей, систем координат, методів програмування обробки, сучасних систем керування верстатами та засобів автоматизації виробництва.

Метою дисципліни «Технології оброблення на верстатах з числовим програмним керуванням» є формування у студентів знань та практичних навичок, необхідних для проєктування, підготовки та реалізації технологічних процесів механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК, а також використання сучасних засобів автоматизованого виробництва у професійній діяльності.

Вивчення дисципліни спрямоване на вирішення таких професійних завдань:

- проєктування технологічних процесів механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК;
- вибір технологічного обладнання, різального інструменту та режимів різання;
- розробка керуючих програм для фрезерних, токарних та багатокоординатних верстатів з ЧПК;
- використання сучасних систем числового програмного керування для автоматизації виробничих процесів;
- забезпечення точності та якості виготовлення деталей машин;
- застосування засобів комп'ютерного моделювання та симуляції процесів обробки;

- виконання налагодження та контролю роботи верстатів з ЧПК;
- аналіз та оптимізація технологічних процесів механічної обробки;
- використання сучасних CAD/CAM-систем при підготовці виробництва;
- застосування професійних знань і навичок під час вирішення інженерних та виробничих завдань;
- адаптація до сучасних технологій цифрового виробництва та автоматизованих виробничих систем;
- аналіз виробничих ситуацій, постановка технологічних завдань та вибір ефективних шляхів їх вирішення.

Вивчення навчальної дисципліни **«Технології оброблення на верстатах з числовим програмним керуванням»** дозволить студентам отримати знання щодо сучасних технологій механічної обробки, принципів роботи верстатів з ЧПК, методів програмування та керування виробничими процесами, а також набути практичних навичок розроблення та впровадження керуючих програм для виготовлення деталей машин в умовах сучасного автоматизованого виробництва.

Після засвоєння дисципліни студент повинен:

- знати будову та принципи роботи верстатів з ЧПК;
- знати системи координат та особливості програмування обробки деталей;
- знати основи технологічної підготовки виробництва для верстатів з ЧПК;
- вміти розробляти керуючі програми для механічної обробки деталей;
- вміти обирати інструмент та режими різання для конкретних технологічних операцій;
- вміти використовувати сучасні системи ЧПК та CAD/CAM-засоби;
- вміти виконувати налагодження та перевірку програм обробки;
- вміти аналізувати якість і точність виготовлення деталей;
- бути здатним застосовувати сучасні цифрові технології в машинобудівному виробництві.

У результаті вивчення дисципліни студент набуде наступних компетентностей:

Загальні компетентності

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК9. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

Завершитись навчання повинно наступними програмними результатами:

РН1. Вибирати та застосовувати для розв'язання задач прикладної механіки придатні математичні методи.

РН8. Знати і розуміти основи інформаційних технологій, програмування, практично використовувати прикладне програмне забезпечення для виконання інженерних розрахунків, обробки інформації та результатів експериментальних досліджень.

РН11. Розуміти принципи роботи систем автоматизованого керування технологічним обладнанням, зокрема мікропроцесорних, вибирати та використовувати оптимальні засоби автоматизації.

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

Дана дисципліна забезпечує такі дисципліни, як «Механіка матеріалів і конструкцій. Курсова робота», «Теорія механізмів і машин», «Теорія механізмів і машин. Курсова робота», «Деталі машин і основи конструювання», «Деталі машин і основи конструювання. Курсовий проект» та інші дисципліни професійної підготовки відповідно до освітніх програм.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи числового програмного керування

Тема 1.1. Вступ до систем ЧПК

- Історія розвитку ЧПК.
- Принципи програмного керування верстатами.
- Класифікація систем ЧПК.
- Сучасні виробники систем керування.

Тема 1.2. Будова верстата з ЧПК

- Конструкція фрезерного верстата.
- Шпиндельний вузол.
- Напрямні та ШВП.
- Серводвигуни.
- Вимірювальні системи.

Розділ 2. Основи теорії автоматичного керування

Тема 2.1. Автоматичні системи керування

- Поняття автоматичного керування.
- Відкриті та замкнені системи.
- Зворотний зв'язок.
- Структурна схема системи керування верстатом.

Тема 2.2. Сервоприводи та датчики

- Принцип роботи сервоприводу.
- Енкодери та лінійні шкали.
- Контроль положення осей.

Тема 2.3. Похибки та їх компенсація

- Похибки позиціонування.
- Люфт.
- Температурні деформації.
- Компенсація похибок.

Розділ 3. Система ЧПК Heidenhain

Тема 3.1. Інтерфейс Heidenhain TNC

- Панель керування.
- Режими роботи.
- Меню системи.

Тема 3.2. Координатні системи

- Машинна система координат.
- Робоча система координат.
- Абсолютне та відносне програмування.

Тема 3.3. Базування та нульові точки

- Machine Zero.
- Reference Point.
- Workpiece Zero.

Розділ 4. Програмування в системі Heidenhain

Тема 4.1. Основи програмування

- Структура програми.
- Блоки програми.
- Команди переміщення.

Тема 4.2. Лінійна та кругова інтерполяція

- Команди L.
- Команди CC та C.
- Побудова контурів.

Тема 4.3. Інструментальна система

- Таблиця інструментів.
- Корекція довжини інструмента.
- Корекція радіуса інструмента.

4. Навчальні матеріали та ресурси

1. **Ковальов В. А., Гаврушкевич А. Ю., Гаврушкевич Н. В.** Обладнання автоматизованого виробництва: Верстати з числовим програмним керуванням : практикум. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 115 с. – Режим доступу:
[ELA КПІ – Верстати з числовим програмним керуванням: Практикум](#)
2. **Ковальов В. А., Гаврушкевич А. Ю., Гаврушкевич Н. В.** Обладнання автоматизованого виробництва: Програмування в системі Heidenhain TNC 640 : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 80 с. – Режим доступу:
ELA КПІ – Програмування в системі Heidenhain TNC 640
3. **Ковальов В. А., Гаврушкевич А. Ю., Гаврушкевич Н. В.** Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням : навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
4. **Аніщенко М. В.** Системи числового програмного керування : підручник. – Харків : Факт, 2024. – 416 с.
5. **Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В.** Технології для верстатів з числовим програмним керуванням : навчальний посібник. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 116 с.

Наведена література знаходиться в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://ela.kpi.ua/>) та в мережі Internet.

Навчальний контент

1. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

На лекціях подається теоретичний матеріал та наводяться приклади розв'язування основних тематичних задач. Під час лекційних занять розглядаються наступні питання:

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Тема 1.1. Вступ до систем ЧПК. Історія розвитку та класифікація систем ЧПК. Лекція 1. Історія розвитку числового програмного керування. Принципи програмного керування верстатами. Переваги та недоліки верстатів з ЧПК. Класифікація верстатів та систем ЧПК. Сучасні виробники систем керування (Heidenhain, Siemens, Fanuc, Fagor).
2	Тема 1.2. Будова верстата з ЧПК. Лекція 2. Конструкція фрезерних та токарних верстатів з ЧПК. Шпиндельний вузол. Напрямні кочення та ковзання. Шарико-гвинтові передачі. Серводвигуни. Вимірювальні системи та датчики положення.
3	Тема 2.1. Автоматичні системи керування. Лекція 3. Поняття автоматичного керування. Відкриті та замкнені системи керування. Зворотний зв'язок. Структурна схема системи керування верстатом з ЧПК. Принцип роботи системи позиціонування осей.

4	Тема 2.2. Сервоприводи та датчики. Лекція 4. Будова сервоприводу. Енкодери та лінійні шкали. Контроль положення та швидкості осей. Похибки позиціонування. Методи компенсації похибок у системах ЧПК.
5	Тема 3.1. Інтерфейс системи Heidenhain TNC. Лекція 5. Загальна характеристика систем Heidenhain. Панель керування. Режими роботи верстата. Меню та навігація. Структура програм та файлів.
6	Тема 3.2. Координатні системи та базування. Лекція 6. Машинна система координат. Робоча система координат. Абсолютне та відносне програмування. Базові точки верстата та деталі. Machine Zero, Reference Point, Workpiece Zero.
7	Тема 4.1. Основи програмування в Heidenhain. Лекція 7. Структура керуючої програми. Формат програмування Klartext. Лінійні переміщення. Команди позиціонування. Подача та частота обертання шпинделя.
8	Тема 4.2. Лінійна та кругова інтерполяція. Лекція 8. Інтерполяція в системах ЧПК. Команди L, C, CC. Побудова контурів. Програмування прямих ділянок, дуг та кіл.
9	Тема 4.3. Інструментальна система. Лекція 9. Таблиця інструментів. Геометричні параметри інструменту. Корекція довжини та радіуса. Вибір інструментів для механічної обробки.

Лабораторні роботи

Тематика лабораторних робіт:

№ №	Назва і зміст	З якою темою пов'язана
1	. Ознайомлення з верстатами з числовим програмним керуванням та системами ЧПК.	1.1
2	Дослідження конструкції верстата з ЧПК та його основних вузлів.	1.2
3	Дослідження структури автоматичної системи керування верстатом з ЧПК.	2.1
4	Вивчення роботи сервоприводів, енкодерів та систем зворотного зв'язку.	2.2
5	Ознайомлення з інтерфейсом системи керування Heidenhain TNC та режимами роботи верстата.	3.1
6	Визначення координатних систем та встановлення базових точок верстата і деталі.	3.2

7	Робота в режимі JOG. Переміщення осей в абсолютній та відносній системах координат.	3.2
8	Створення керуючої програми лінійних переміщень у системі Heidenhain.	4.1
9	Програмування кругової інтерполяції та оброблення простих контурів.	4.2
10	Налаштування інструментів та введення корекцій довжини і радіуса	4.3

2. Самостійна робота студента

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

Перелік завдань для виконання в межах часу самостійної роботи наведено в п. 9.

Політика та контроль

3. 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 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;
- З метою вивчення дисципліни під час лекційних та практичних занять необхідно використовувати підручники, посібники, практикувати навички розв'язування реальних задач. Проведення індивідуального консультування відбувається протягом курсу навчання.
- Для успішного засвоєння курсу слід передбачається тісний взаємозв'язок всіх видів занять - лекційних, лабораторних та індивідуальних. Теоретичний матеріал, викладений на лекційних заняттях є основою для вирішення завдань, що виконуються на лабораторних заняттях. Це дозволяє поглибити знання з кожної теми.

- Захист лабораторних робіт відбувається після виконання всіх завдань отриманих на заняттях. Включає в себе як звіт по практичній частині так і відповіді на теоретичні питання.

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

Поточний контроль: лабораторні роботи, модульна контрольна робота.

Календарний контроль: провадиться 2 рази 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 r_1 ;
- модульних контрольних робіт r_2 ;
- залік r_3 .

Додатково PCO передбачає можливість нарахування заохочувальних та штрафних балів.

Лабораторні роботи r_1

Необхідною умовою допуску до лабораторної роботи є наявність протоколу. Ваговий бал однієї лабораторної роботи становить 2,4 бали. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи: $r_1 = 25 \text{ робіт} \times 2,4 \text{ бали} = 60 \text{ балів}$.

Рейтингові бали за одну лабораторну роботу

Оцінка	Бали	Критерій оцінювання
A	2,4	Зауважень до звіту нема, є відповіді на всі запитання
B	2,2	Несуттєві зауваження до звіту, відповіді на більшість запитань
C	1,9	Зауваження до отриманих результатів, відповідь на частину питань
D	1,7	Звіт має помилки, відповіді лише на окремі питання
E	1,4	Робота виконана, отримано вірні результати, але не захищено.

F_x	0	Робота не виконана, звіт відсутній
-------	---	------------------------------------

Модульний контроль r_2

Робочим навчальним планом передбачено проведення однієї модульної контрольної роботи (МКР) в обсязі 2 год. МКР відбувається у вигляді чотирьох контрольних робіт по півгодини кожна. Контрольна робота-1 виконується за розділами 1, 2. Контрольна робота-2 виконується за розділами 3 і 4. Контрольна робота-3 виконується за розділом 5. Контрольна робота-4 виконується за розділом 6.

Одна контрольна робота складається з тестів які складаються з 20 питань та завдань. Завдання оновлюються кожного семестру. Ваговий бал однієї контрольної роботи – 10 балів.

Максимальна кількість балів за чотири контрольні роботи складає: $r_2 = 10 \text{ балів} \times 4 \text{ контр.роботи} = 40 \text{ балів}$.

Рейтингові бали за одну КР

Оцінка	Бали	Критерій оцінювання
A	10	Вірна відповідь більш ніж на 90 % питань
B	9	Вірна відповідь на 90 % питань
C	8	Вірна відповідь на 80 % питань
D	7	Вірна відповідь на 70 % питань
E	6	Вірна відповідь на 60 % питань
F_x	0	Вірна відповідь менш ніж на 60 % питань або студент був відсутній

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 рубіжної атестації

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, написання рубіжних тестів.

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:

$$r_3 = 40 \text{ балів.}$$

Критерій залікового оцінювання визначається як сума якості відповідей на всі завдання білета:

Кількість балів за всі 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:

$$R = r1 + r2 = 60 + 40 = 100 \text{ балів}$$

- із заліковою контрольною роботою:

$$R = r1 + r3 = 60 + 40 = 100 \text{ балів}$$

Для отримання відповідної оцінки з дисципліни студент має набрати певну кількість балів, згідно з таблицею перерахунку:

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

5. Додаткова інформація з дисципліни

Для перевірки студентами отриманих знань і навичок їм пропонуються наступні завдання для виконання в межах часу самостійної роботи:

- Пояснити принцип роботи верстата з числовим програмним керуванням та визначити його основні переваги порівняно з універсальними верстатами.
- Навести класифікацію верстатів з ЧПК та охарактеризувати особливості їх застосування в машинобудуванні.
- Описати основні вузли фрезерного верстата з ЧПК та їх призначення.
- Пояснити принцип роботи сервоприводів та систем зворотного зв'язку у верстатах з ЧПК.
- Розкрити поняття машинної та робочої систем координат, пояснити їх відмінності.
- Пояснити призначення базових точок верстата: Machine Zero, Reference Point та Workpiece Zero.
- Порівняти абсолютний та відносний способи програмування координат і навести приклади їх використання.
- Розробити просту траєкторію руху інструмента для обробки прямокутного контуру із зазначенням координат точок переміщення.
- Пояснити принцип лінійної та кругової інтерполяції в системах ЧПК.
- Навести приклади використання інструментальних корекцій та пояснити їх вплив на точність оброблення.
- Визначити режими різання для фрезерування деталі із заданого матеріалу за довідковими даними.
- Розробити алгоритм оброблення деталі, що містить операції свердління, фрезерування паза та контурного оброблення.

- Проаналізувати можливі причини виникнення похибок під час оброблення на верстатах з ЧПК та запропонувати способи їх усунення.
- Пояснити порядок перевірки та симуляції керуючої програми перед запуском на верстаті. Розробити фрагмент керуючої програми в системі Heidenhain для оброблення заданого контуру деталі та виконати його аналіз.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри КМ , к.т.н., Івановським Олексієм Анатолійовичем

