



Затверджено
 Декан факультету інформаційних технологій
 Тетяна ГОВОРУЩЕНКО

_____ 2024 р.

СИЛАБУС

Навчальна дисципліна Технології кіберфізичних систем та цифрових двійників

Освітньо-професійна програма Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Рівень вищої освіти Перший (бакалаврський)

Загальна інформація

Позиція	Зміст інформації
Викладач(і)	Федула Микола Васильович
Профайл викладача	https://akit.khmnpu.edu.ua/fedula-mykola-vasylovych/
Е-mail викладача(ів)	mailfm2000@gmail.com
Контактний телефон	
Сторінка дисципліни в ІСУ	https://msn.khmnpu.edu.ua/course/view.php?id=6486
Консультації	Очні: понеділок, 4-а пара, 4-316; середа, 4-а пара, 4-316; он-лайн: за необхідністю та попередньою домовленістю

Характеристика дисципліни

Статус дисципліни	Форма навчання	Курс	Семестр	Загальний обсяг		Кількість годин						Курсовий проєкт	Курсова робота	Форма семестрового контролю	
				Кредити ЄКТС	Години	Аудиторні заняття				Індивідуальна робота студента	Самостійна робота, в т.ч. ІРС			залік	іспит
						Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні Заняття						
О	Д			4	120	54	18	36			66			+	

Анотація навчальної дисципліни

Дисципліна «Технології кіберфізичних систем та цифрових двійників» є однією із фахових дисциплін і займає провідне місце у підготовці фахівців освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» за освітньо-професійною програмою «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Основний зміст навчальної дисципліни: основи систем автоматизації проєктувальних робіт; принципи роботи із об'єктами систем автоматизації проєктувальних робіт; автоматизоване проєктування електричних принципових схем; імітаційне моделювання у системах автоматизації проєктувальних робіт; автоматизоване проєктування друкованих плат; автоматичне розведення друкованих доріжок; автоматизоване проєктування механічних конструкцій; формування складальних креслень; експорт та імпорт проєктів.

Пререквізити – проєктування систем автоматизації та системи автоматизації проєктувальних робіт, проєктування багаторівневих систем керування і збору даних, людино-машинний інтерфейс та програмування систем реального часу, основи комп'ютерно-інтегрованих технологій, систем автоматизованого проєктування та 3D-моделювання.

Кореквізити – методологія та організація наукових досліджень, теорія керування та проєктування систем сонячної енергетики.

Мета і завдання дисципліни

Мета дисципліни. Формування особистості фахівця, здатного виконувати розробку автоматизованих систем та комп'ютерно-інтегрованих технологій з використанням систем автоматизації проєктувальних робіт.

Завдання дисципліни. Формування практичних навичок з автоматизованого проєктування вузлів систем автоматизації на основі комп'ютерно-інтегрованих технологій, з використанням відповідних пакетів прикладних програм.

Студент, який успішно завершив вивчення дисципліни, повинен: створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережових технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв; застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки для розв'язування складних задач професійної діяльності; застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами; аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації; застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв; розробляти і використовувати цифрові двійники компонентів та кіберфізичних систем керування розумних мереж, технологій цифрової трансформації розподілених систем генерації та накопичення електроенергії на основі мікромереж.

компетентності:

Інтегральна – Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки у професійній діяльності та/або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності та характеризується комплексністю та невизначеністю умов і вимог;

ЗК1 – Здатність проведення досліджень на відповідному рівні;

ЗК2 – Здатність генерувати нові ідеї (креативність);

ЗК3 – Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ФК1 – здатність здійснювати автоматизацію складних технологічних об'єктів та комплексів, створювати кіберфізичні системи на основі інтелектуальних методів управління та цифрових технологій з використанням баз даних, баз знань, методів штучного інтелекту, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв;

ФК3 – здатність застосовувати методи моделювання та оптимізації для дослідження та підвищення ефективності систем і процесів керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами;

ФК4 – здатність аналізувати виробничо-технологічні системи і комплекси як об'єкти автоматизації, визначати способи та стратегії їх автоматизації та цифрової трансформації;

ФК5. Здатність інтегрувати знання з інших галузей, застосовувати системний підхід та враховувати нетехнічні аспекти при розв'язанні інженерних задач та проведенні наукових досліджень.

ФК7 – здатність застосовувати спеціалізоване програмне забезпечення та цифрові технології для розв'язання складних задач і проблем Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

ФК10 – Здатність розробляти цифрові двійники компонентів та кіберфізичних систем керування розумних мереж, технологій цифрової трансформації розподілених систем генерації та накопичення електроенергії на основі мікромереж.

програмні результати навчання:

ПРН1. Створювати системи автоматизації, кіберфізичні виробництва на основі використання інтелектуальних методів управління, баз даних та баз знань, цифрових та мережових технологій, робототехнічних та інтелектуальних мехатронних пристроїв.

ПРН3. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у сфері Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки для розв'язування складних задач професійної діяльності;

ПРН4. Застосовувати сучасні підходи і методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами;

ПРН7. Аналізувати виробничо-технічні системи у певній галузі діяльності як об'єкти автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації та цифрової трансформації.

ПРН8. Застосовувати сучасні математичні методи, методи теорії автоматичного керування, теорії надійності та системного аналізу для дослідження та створення систем автоматизації складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами, кіберфізичних виробництв.

ПРН14. Розробляти і використовувати цифрові двійники компонентів та кіберфізичних систем керування розумних мереж, технологій цифрової трансформації розподілених систем генерації та накопичення електроенергії на основі мікромереж.

Тематичний план дисципліни і календар його виконання.

Таблиця 3 – Тематичний план дисципліни

№ тижня	Тема лекції	Тема лабораторної роботи	Самостійна робота студентів		
			Зміст	Год.	Література
1	2	3	4	5	6
1	Структура кіберфізичних систем. Характеристики кіберфізичних систем.	-	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №1.	4	[1] с.7-8, [3] с.8-18
2	Класифікація кіберфізичних систем.	Лабораторна робота (далі ЛР) 1. Вивчення структури та характеристик кіберфізичних систем на базі пакету програм muSCADA.	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №1.	2	[1] с.8-9, [2]
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №2.	4	[1] с.9-12
3	Теорія кіберфізичних систем.	ЛР 2. Створення кіберфізичних систем для керування лабораторними функціональними пристроями на базі пакету muSCADA..	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №2.	4	[1] с.14-18, [3] с.16-19
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №3.	4	[1] с.20-24, [3] с.22-43, [6] с.60-68
4	Методи реалізації кіберфізичних систем.	ЛР 3. Дослідження характеристик динаміки процесів у кіберфізичних системах засобами пакету muSCADA	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №3.	4	[1] с.24-29, [3] с.40-45
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №4.	4	[1] с.29-34, [3] с.45-62
5	Технології кіберфізичних систем.	ЛР 4. Дослідження кіберфізичних систем з хаотичною динамікою засобами пакетів програм muSCADA та MATLAB Online (basic).	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до тестового контролю.	4	[1] с.35-45, [2]
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №4.	4	[1] с.45-62
6	Структура цифрових двійників. Характеристики цифрових двійників.	ЛР 5. Вивчення структури та характеристик цифрових двійників з	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №5.	4	[1] с.62-64,76-84,122-123, [2], [3] с.111-131,

		використання пакетів програм mySCADA та MATLAB Online (basic).			[5] с.107-133,197-230, [8] с.171-185
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №5.	4	[1] с.122-131, [11] с.4-12
7	Теорія цифрових двійників. Методи реалізації та технології цифрових двійників.	ЛР 6. Розробка цифрових двійників лабораторних функціональних пристроїв	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №6.	4	[4] с.69-139,183-257, [5] с.141-230, [12] розділ 5
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №6. Підготовка до контрольної роботи.	4	[4] с.139-183,257-415, [9] розділ 2
8	Властивості кіберфізичних систем з цифровими двійниками.	ЛР 7. Розробка кіберфізичних систем керування обладнанням з використанням цифрових двійників.	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №7.	4	[2], [6] с.16-21
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №7.	4	[6] с.16-24
9	Методи інтеграції кіберфізичних систем та цифрових двійників у сучасних веб-середовищах та промислових мережах.	ЛР 8. Мережева інтеграція кіберфізичних систем та цифрових двійників. Розробка спеціалізованих веб-додатків.	Опрацювання лекційного матеріалу. Підготовка до лабораторної роботи №8.	4	[1] с.87-96, [2], [7] с.33-40
		-	Опрацювання лекційного матеріалу. Опрацювання результатів лабораторної роботи №8. Підготовка до підсумкового контрольного заходу.	4	[1] с.96-117, [7] с.47-68, [10] с.4-63

Політика дисципліни.

Організація освітнього процесу в Університеті відповідає вимогам положень про організаційне і навчально-методичне забезпечення освітнього процесу, освітній програмі та навчальному плану. Студент зобов'язаний відвідувати лекції і лабораторні заняття згідно з розкладом, не запізнюватися на заняття, виконувати усі види робіт з дисципліни за графіком. Пропущене лабораторне заняття студент зобов'язаний опрацювати у повному обсязі і відвідувати перед викладачем не пізніше, ніж за тиждень до чергової атестації. До лабораторних занять студент має підготуватися за відповідною темою і проявляти активність в процесі виконання роботи.

Критерії оцінювання результатів навчання.

Кожний вид роботи з дисципліни оцінюється за чотирибальною шкалою. Семестрова підсумкова оцінка визначається як середньозважена з усіх видів навчальної роботи, виконаних і зданих позитивно з урахуванням коефіцієнта вагомості.

Оцінка, яка виставляється за лабораторне заняття, складається з таких елементів: усне опитування студентів перед допуском до виконання лабораторної роботи; знання теоретичного матеріалу з теми; якість оформлення звіту; вільне володіння студентом спеціальною термінологією і уміння професійно обґрунтувати прийняті рішення; своєчасний захист лабораторної роботи.

Термін захисту лабораторної роботи вважається своєчасним, якщо студент захистив її на наступному після виконання роботи занятті. Пропущене лабораторне заняття студент зобов'язаний відпрацювати не пізніше, ніж за два тижні до кінця теоретичних занять у семестрі. Засвоєння студентом теоретичного матеріалу з дисципліни оцінюється під час поточних контрольних заходів.

Оцінювання знань студентів здійснюється за такими критеріями:

Оцінка за національною шкалою	Узагальнений критерій
Відмінно	Студент глибоко і у повному обсязі опанував зміст навчального матеріалу, легко в ньому орієнтується і вміло використовує понятійний апарат; уміє пов'язувати теорію з практикою, вирішувати практичні завдання, впевнено висловлювати і обґрунтовувати свої судження. Відмінна оцінка передбачає грамотний, логічний виклад відповіді (як в усній, так і у письмовій формі), якісне зовнішнє оформлення роботи. Студент не вагається при видозміні запитання, вміє робити детальні та узагальнюючі висновки. При відповіді допустив дві-три несуттєві <i>похибки</i> .
Добре	Студент виявив повне засвоєння навчального матеріалу, володіє понятійним апаратом, орієнтується у вивченому матеріалі; свідомо використовує теоретичні знання для вирішення практичних задач; виклад відповіді грамотний, але у змісті і формі відповіді можуть мати місце окремі неточності, нечіткі формулювання закономірностей тощо. Відповідь студента має будуватися на основі самостійного мислення. Студент у відповіді допустив дві-три <i>несуттєві помилки</i> .
Задовільно	Студент виявив знання основного програмного матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання та практичної діяльності за професією, справляється з виконанням практичних завдань, передбачених програмою. Як правило, відповідь студента будується на рівні репродуктивного мислення, студент має слабкі знання структури курсу, допускає неточності і <i>суттєві помилки</i> у відповіді, вагається при відповіді на видозмінене запитання. Разом з тим набув навичок, необхідних для виконання нескладних практичних завдань, які відповідають мінімальним критеріям оцінювання і володіє знаннями, що дозволяють йому під керівництвом викладача усунути неточності у відповіді.
Незадовільно	Студент виявив розрізнені, безсистемні знання, не вміє виділяти головне і другорядне, допускається помилок у визначенні понять, перекручує їх зміст, хаотично і невпевнено викладає матеріал, не може використовувати знання при вирішенні практичних завдань. Як правило, оцінка "незадовільно" виставляється студенту, який не може продовжити навчання без додаткової роботи з вивчення дисципліни.

Структурування дисципліни за видами робіт і оцінювання результатів навчання

Аудиторна робота								Самостійна, індивідуальна робота		Підсумковий контроль
Сьомий семестр										
Лабораторні роботи №:								Контрольні заходи:		Підсумковий контрольний захід
1	2	3	4	5	6	7	8	КР	ТК	Залік
ВК: 0,3								0,15	0,15	0,4

Умовні позначення: КР – контрольна робота; ВК – ваговий коефіцієнт; ТК – тестовий контроль, ПКЗ – підсумковий контрольний захід

Оцінювання тестових завдань

Тематичний тест для кожного студента складається з двадцяти п'яти тестових завдань, кожне з яких оцінюється одним балом. Максимальна сума балів, яку може набрати студент, складає 25.

Оцінювання здійснюється за чотирибальною шкалою.

Відповідність набраних балів за тестове завдання оцінці, що виставляється студенту:

Сума балів за тестові завдання	1–13	14–16	17–22	23–25
Оцінка за 4-бальною шкалою	2	3	4	5

Правильні відповіді студент записує у талоні відповідей. Студент може також пройти тестування і в онлайн режимі у модульному середовищі для навчання MOODLE.

При отриманні негативної оцінки тест слід перездати до терміну наступного контролю.

Підсумкова семестрова оцінка за інституційною шкалою і шкалою ЄКТС встановлюється в автоматизованому режимі після внесення викладачем усіх оцінок до електронного журналу. Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС наведені у таблиці.

Співвідношення вітчизняної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС

Оцінка ЄКТС	Інституційна інтервальна шкала балів	Вітчизняна оцінка, критерії		
A	4,75–5,00	5	Зараховано	Відмінно – глибоке і повне опанування навчального матеріалу і виявлення відповідних умінь та навиків
B	4,25–4,74	4		Добре – повне знання навчального матеріалу з кількома незначними помилками
C	3,75–4,24	4		Добре – в загальному правильна відповідь з двома-трьома суттєвими помилками
D	3,25–3,74	3		Задовільно – неповне опанування програмного матеріалу, але достатнє для практичної діяльності за професією
E	3,00–3,24	3		Задовільно – неповне опанування програмного матеріалу, що задовольняє мінімальні критерії оцінювання
FX	2,00–2,99	2	Незараховано	Незадовільно – безсистемність одержаних знань і неможливість продовжити навчання без додаткових знань з дисципліни
F	0,00–1,99	2		Незадовільно – необхідна серйозна подальша робота і повторне вивчення дисципліни

Залік виставляється, якщо середньозважений бал, який отримав студент з дисципліни, знаходиться в межах від 3,00 до 5,00 балів. При цьому за вітчизняною шкалою ставиться «зараховано», а за шкалою ЄКТС – буквене позначення оцінки, що відповідає набраній студентом кількості балів.

Контрольні питання з дисципліни.

1. Дайте визначення цифрового двійника.
2. Дайте визначення апроксимації.
3. Що називається математичною моделлю фізичної системи?
4. Назвіть основні типи похибок числових методів.
5. Дайте визначення відносної похибки.
6. Дайте визначення абсолютної похибки.
7. Яке значення фізичної величини називають умовно істинним?
8. Приведіть математичний вираз середньоквадратичної похибки.
9. Дайте визначення сигналу.
10. Який сигнал називається дискретним?
11. Який сигнал називається неперервним?
12. Який сигнал називається квантованим?
13. Який сигнал називається цифровим?
14. Дайте визначення кроку дискретизації.
15. Приведіть і поясніть формулу числового диференціювання за методом Ейлера.
16. Приведіть і поясніть формулу числового інтегрування за методом Ейлера.
17. Приведіть і поясніть вираз дискретної згортки.
18. Зворотна дискретна згортка.
19. Дискретне перетворення Фур'є.
20. Зворотне дискретне перетворення Фур'є.
21. Дайте визначення інтерполяції.
22. Лінійна інтерполяція.
23. Сплайнова інтерполяція.
24. Дайте визначення екстраполяції.
25. Лінійна екстраполяція.
26. Сплайнова екстраполяція.
27. Числове інтегрування із використанням інтерполяції.
28. Числове інтегрування за методом Ейлера.
29. Числове інтегрування за методом трапецій.
30. Числове інтегрування за методом Сімпсона.
31. Представлення моделі у просторі станів.
32. Сформулюйте і поясніть задачу Коші.
33. Порядок розв'язування диференціальних рівнянь з використанням методу Ейлера.
34. Порядок розв'язування диференціальних рівнянь з використанням інтерполяції.
35. Вирішувачі MATLAB.

36. Зворотна дискретна згортка.
37. Дискретне перетворення Фур'є.
38. Зворотне дискретне перетворення Фур'є.
39. Дайте визначення інтерполяції.
40. Лінійна інтерполяція.
41. Сплайнова інтерполяція.
42. Дайте визначення екстраполяції.
43. Лінійна екстраполяція.
44. Сплайнова екстраполяція.
45. Числове інтегрування із використанням інтерполяції.
46. Числове інтегрування за методом Ейлера.
47. Числове інтегрування за методом трапецій.
48. Числове інтегрування за методом Сімпсона.
49. Представлення моделі у просторі станів.
50. Задача безумовної оптимізації.

Рекомендована література

Основна література

1. Мельник А.О. (ред.) Кіберфізичні системи: технології збору даних. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 250 с.
2. Цифрові двійники для промислового застосування: Біла книга Industrial Internet Consortium. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 60 с.
3. Яцишин С.П., Мідик А.В. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2021. – 180 с.
4. Цифровий двійник: контроль, ефективність, безпека. – Київ: SmartEAM, 2021. – 45 с.
5. Цифрові двійники: що це за технологія і як вона допоможе відновити Україну. – Київ: PSM7, 2023. – 30 с.
6. Технологічні драйвери цифрової трансформації: цифрові двійники. – Київ: КНЕУ, 2021. – 25 с.
7. Цифровий двійник: Як штучний інтелект формує майбутнє. – Київ: Probesto, 2024. – 20 с.
8. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення. – Львів: Наукові журнали та конференції ISTCMTM, 2018. – 34-38 с.
9. Цифрові двійники - Centre 4.0 ДІН КРІ. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 15 с.
10. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення. – Львів: Наукові журнали та конференції ISTCMTM, 2018. – 34-38 с.

Додаткова

11. Цифрові двійники для промислового застосування. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 60 с.
12. Цифровий двійник: Як штучний інтелект формує майбутнє. – Київ: Probesto, 2024. – 20 с.
13. Цифрові двійники: що це за технологія і як вона допоможе відновити Україну. – Київ: PSM7, 2023. – 30 с.
14. Технологічні драйвери цифрової трансформації: цифрові двійники. – Київ: КНЕУ, 2021. – 25 с.
15. Цифровий двійник: контроль, ефективність, безпека. – Київ: SmartEAM, 2021. – 45 с.
16. Fedula M.V. The Improvement of Energy Harvesting Efficiency of Constant Current Source / Martynyuk, V. V.; Kosenkov, V. D.; Fedula, M., V. // Problemele energeticii regionale. Iss. 1-2, 2019, pp. 74-83.
17. Науково-прикладні методи компенсації пікового навантаження електромереж на основі суперконденсаторів та сонячних модулів: Монографія / В. В. Мартинюк, М. В. Федула, Г. А. Ільчук, Р. Ю. Петрусь // Хмельницький: Видавництво «Нілан-ЛТД», 2017. – 143 с.

Розробники



к.т.н., доцент Микола ФЕДУЛА

Погоджено:

Зав каф. АКІТтаР



д.т.н., професор Валерій МАРТИНЮК

Гарант ОП

д.т.н., професор Валерій МАРТИНЮК