

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою факультету
комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки

_____ 2023 р., протокол № __

Голова Вченої ради

_____ Олексій ГРОМОВИЙ

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «Вбудовані системи керування в мехатроніці»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Схвалено на засіданні кафедри
робототехніки, електроенергетики та
автоматизації

ім. проф. Б.Б. Самотокіна

_____ 25 лютого 2023 р., протокол № 1

Завідувач кафедри

_____ Андрій ТКАЧУК

Гарант освітньо-професійної програми

_____ Олександр ПІДТИЧЕНКО

Розробники: старший викладач кафедри робототехніки, електроенергетики та
автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна БОГДАНОВСЬКИЙ Мартін

Житомир
2022 – 2023 н.р.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 2

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітній ступінь	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів - 3	Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»	Нормативна (нормативна, за вибором)	
Модулів – 2	Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		2023	2023
Загальна кількість годин - 90		Семестр	
		2	2
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних -3 самостійної роботи – 4	Освітній ступінь «бакалавр»	Лекції	
		24 год.	4 год.
		Практичні	
		- год.	- год.
		Лабораторні	
		24 год.	4 год.
		Самостійна робота	
		42год.	82 год.
Вид контролю: екзамен			

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – 53 % аудиторних занять, 47 % самостійної та індивідуальної роботи;

для заочної форми навчання – 7 % аудиторних занять, 93 % самостійної та індивідуальної роботи.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 3

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою навчальної дисципліни є ознайомлення студентів із основними проектування вбудованих систем управління мехатронними об'єктами як кіберфізичних систем. Розглядається повний, замкнений цикл процесу прийняття рішення: моделювання — проектування — аналіз. Окреслюються сучасні підходи теорії неперервного та дискретного управління, засоби автоматизованого моделювання, структурно-параметричного аналізу характеристик вбудованих систем, динамічні властивості та паралельні моделі обчислень. Проектування вбудованих систем із урахуванням архітектури процесора та пам'яті з упором на побудову інформаційно-обчислювальних систем реального часу. Аналіз вбудованих систем на базі специфікацій інваріантності, часової логіки, кількісного аналізу, оптимізації роботи, безпеки та конфіденційності.

Завданнями вивчення навчальної дисципліни є: розтлумачення парадигми та сучасних методів проектування вбудованих систем управління для мехатронних пристроїв та систем. Ознайомитись з методами та засобами математичного моделювання процесів неперервного та дискретного характеру, попередньої оцінки динамічних властивостей систем, композиції кінцевих автоматів, особливостей реалізації паралельних обчислень в медедовищах моделювання MATLAB/Simulink та LabVIEW. Розгляд будови та реалізації вбудованих мікропроцесорів та архітектури пам'яті, багатозадачності та планування процесів у режимі реального часу. Метою є навчити студентів впроваджувати системи, обдумуючи традиційні рівні абстракції, наприклад апаратне та програмне забезпечення, обчислення та фізичні процеси. Методи аналізу роботи систем спираючись на інваріантності та часову логіку, еквівалентність та вдосконалення існуючих моделей в задачах структурної оптимізації, аналіз кількісних властивостей вбудованого програмного забезпечення, визначення меж ресурсів споживаних програмами, безпеки та конфіденційності для проектування вбудованих систем, включаючи криптографічні примітиви, безпеку протоколів, безпеку програмного забезпечення, безпечний потік інформації, дублюючі канали та захист датчиків. Зміст навчальної дисципліни направлений на формування наступних **компетентностей**, визначених стандартом вищої освіти зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»:

K11. Здатність застосовувати знання математики, в обсязі, необхідному для використання математичних методів для аналізу і синтезу систем автоматизації.

K12. Здатність застосовувати знання фізики, електротехніки, електроніки і мікропроцесорної техніки, в обсязі, необхідному для розуміння процесів в системах автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологіях.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 4

К13. Здатність виконувати аналіз об'єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування.

К14. Здатність застосовувати методи системного аналізу, математичного моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій.

К15. Здатність обґрунтовувати вибір технічних засобів автоматизації на основі розуміння принципів їх роботи аналізу їх властивостей, призначення і технічних характеристик з урахуванням вимог до системи автоматизації і експлуатаційних умов; налагоджувати технічні засоби автоматизації та системи керування.

К19. Здатність вільно користуватись сучасними комп'ютерними та інформаційними технологіями для вирішення професійних завдань, програмувати та використовувати прикладні та спеціалізовані комп'ютерно-інтегровані середовища для вирішення задач автоматизації.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних **програмних результатів** навчання за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»:

ПРО6. Вміти застосовувати методи системного аналізу, моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних та імітаційних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій.

ПРО11. Вміти виконувати роботи з проектування систем автоматизації, знати зміст і правила оформлення проектних матеріалів, склад проектної документації та послідовність виконання проектних робіт з врахуванням вимог відповідних нормативно-правових документів та міжнародних стандартів.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Загальна характеристика процесу проектування кіберфізичних систем.

Тема 1. Динамічні властивості та моделі неперервних та дискретних кіберфізичних систем.

Основні поняття та визначення кіберфізичних систем, етапи проектування вбудованих систем управління. Розгляд усталених методів моделювання динаміки фізичних систем неперервної поведінки. Рівняння динаміки Ньютонна. Поняття функціонального блоку та складові властивості систем: причинно-наслідкові, системи з пам'яттю та без пам'яті, лінійна та часова інваріантність та стабільність. Управління за зворотнім зв'язком.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 5

Методи моделювання дискретних систем, які краще відображають поведінку програмного забезпечення. Поняття простору стану, кінцевого автомату, графова модель відображення станів системи. Автомати із розширеним станом. Недетерміновані кінцеві автомати, властивості їх спостережності та керованості. Моделювання властивостей системи як кінцевого автомату.

Тема 2. Гібридні вбудовані системи управління.

Об'єднання класів моделей, спільне моделювання дискретної та безперервної поведінки в рамках гібридних систем. Узгодженню іманентно паралельної природи фізичного світу з іманентно послідовним світом програмного реалізації управління. Модальні методи представлення кінцевих автоматів із узагальненою природою неперервних та дискретних процесів. Класифікація гібридних систем. Зміст синхронної композиції проектування як один із способів досягнення паралельної композиції. Асинхронна композиція кінцевого автомату. Ієрархічні кінцеві автомати.

Тема 3. Моделі паралельних обчислень.

Семантика паралельних обчислень, правила МоС. Структура моделей паралельних обчислень. Синхронно-реактивні моделі. Моделі обчислень потоків даних, принципи організації потоку та його синхронізації. Динаміка потоку даних. Метод структурування потоку даних. Мережі процесів обчислень Кана. Часові моделі розподілу обчислень: тригерні, дискретні та неперервні системи. Практика реалізації паралельних обчислень.

Тема 4. Моделі периферійних пристроїв вбудованих систем.

Проектування вбудованих систем, з акцентом на техніки, які використовуються для створення паралельного вбудованого програмного забезпечення в реальному часі. Обговорення датчиків та виконавчих механізмів з наголосом на тому, як їх моделювати. Типові моделі сенсорів та виконавчих механізмів. Моделювання чутливості, квантування, шуму та гармонійної дисторсії сигналів. Характеристики MEMS сенсорів вбудованих систем: тиску, положення, орієнтації, прискорення, звуку та інші. Характеристики та моделі виконавчих механізмів: світлодіоди, двигуни постійного струму з ШИМ та зворотнім зв'язком.

Змістовий модуль 2. Апаратна та програмна реалізація вбудованих систем.

Аналіз характеристик роботи та безпеки.

Тема 1. Мікропроцесори вбудованих систем та пам'ять.

Проектування вбудованих процесорів, з наголосом на паралелізм апаратного забезпечення та його значення для програмістів. Типи мікропроцесорних архітектур та їх особливості, мікроконтролери, програмовані логічні контролери, сигнальні та графічні процесори. Організація паралельних обчислень, конвеєру. Паралелізм мікро інструкцій CISC та RISC

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 6

мікропроцесорів. Супер масштабованість та VLIW архітектура. Мультиядерные архітектури мікропроцесорів. Типи пам'яті мікропроцесорних систем та їх ієрархія. Поняття карти пам'яті, гарвардська та нейманівська архітектура. Організація буферу та кешу, файли реєстрів, методи доступу до пам'яті. Стек пам'яті та адресація. Динамічна пам'ять. Модель роботи з пам'яттю у мові високого рівня C.

Тема 2. Операції введення-виведення даних у вбудованих системах.

Проблеми поєднання та взаємовплив кіберфізичних компонентів систем. Апаратне забезпечення операцій введення-виведення (I/O). Широко-імпульсна модуляція (ШІМ). Шина I/O загального призначення GPIO. Послідовні та паралельні інтерфейси та їх характеристики, шини даних. Концепція організації доступу до шини даних. Організація переривань та виключень. Контролери переривань та моделювання переривань.

Тема 3. Організація багатозадачності вбудованих систем.

Реалізація механізмів середнього рівня, які використовуються в програмному забезпеченні для забезпечення одночасне виконання послідовного коду. Концепція та приклад реалізації мультизадачності вбудованих систем. Програмування мовою послідовних інструкцій C. Організація та використання потоків. Кооперативна мультизадачність та режим очікування. Таймери мікропроцесора. Взаємне виключення процесів, тупикові виключення. Моделі узгодження пам'яті. Проблеми організації багатопоточності. Обчислення та передача даних. Поняття планувальника задач та його специфікація, організація систем реального часу. Моделі організації планувальника задач та їх виконання. Оцінка монотонності планувальника, часові діаграми. Алгоритм планування (планувальник) Джексона. Планування з пріоритетом та взаємним виключенням. Планування мультизадачності в багатопроцесорних системах.

Тема 4. Аналіз та верифікація роботи вбудованих систем.

Аналіз вбудованих систем з акцентом на методах для визначення бажаної та небажаної поведінки та перевірки відповідності реалізації форм відповідно до специфікації проектування. Часова логіка та формальна нотація поведінки I/O та еволюцію часового стану системи. Нотація може бути використана для визначення однозначно бажаної та небажаної поведінки. Характеристика та формалізми інваріантності та лінійної часової логіки роботи. Приклади використання формалізмів. Специфікація моделей, оцінка еквівалентності та удосконалення. Оцінка еквівалентності та місткості мов програмування. Метод симуляції. Оцінка досяжності результатів та верифікація даних, абстрагування результатів. Кількісні показники методи аналізу придатності систем, графоаналітичний підхід. Криптографічні методи захисту передачі та валідації даних. Цифровий підпис. Мережевий протокол захисту. Захист програмного забезпечення. Захист сенсорів та виконавчих механізмів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 7

4. Структура (тематичний план) навчальної дисципліни

Змістові модулі і теми	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	Вс ьог о	Ле кці ї	Ла бо рат ор ні	Пр акт ич ні	Сам ості йна робо та	Вс ьог о	Ле кці ї	Ла бо рат ор ні	Пр акт ич ні	Са мо сті йн а ро бот а
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Змістовний модуль 1. Загальна характеристика процесу проектування кіберфізичних систем										
Тема 1. Динамічні властивості та моделі неперервних та дискретних кіберфізичних систем	12	3	4	-	5	12	1	2	-	12
Тема 2. Гібридні вбудовані системи управління	14	3	4	-	4	14	-	-	-	11
Тема 3. Моделі паралельних обчислень	20	3	-	-	5	20	1	-	-	16
Тема 4. Моделі периферійних пристроїв вбудованих систем	14	3	4	-	4	14	-	-	-	15
Разом змістовний модуль 1	42	12	12	-	18	60	2	2	-	54
Змістовний модуль 2. Апаратна та програмна реалізація вбудованих систем. Аналіз характеристик роботи та безпеки										
Тема 1. Мікропроцесори вбудованих систем та пам'ять	16	3	-	-	6	16	1	-	-	14
Тема 2. Операції введення-виведення даних у вбудованих системах	14	3	4	-	6	14	1	2	-	14
Тема 3. Організація багатозадачності вбудованих систем	14	3	4	-	6	14	-	-	-	14
Тема 4. Аналіз та верифікація роботи вбудованих систем	16	3	4	-	6	16	-	-	-	16
Разом змістовний модуль 2	48	12	12	-	24	60	2	2	-	58
ВСЬОГО	90	24	24	-	42	90	4	4	-	82

5. Теми лабораторних занять

2 семестр (24 год.)

1. Дослідження динаміки руху малої мехатронної колісної платформи в MATLAB/Simulink.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1 Арк 10 / 8	

2. Дослідження детермінованого кінцевого автомату контролю напрямку та швидкості руху в MATLAB/Stateflow.
3. Організація операцій прийому/передачі даних з використанням плати для відлагодження STM32 NUCLEO-F446RE.
4. Організація потоків та переривань на базі плати для відлагодження STM32 NUCLEO-F446RE.
5. Організація послідовної передачі даних за RS232 між STM32 NUCLEO-F446RE та SCADA верхнього рівня управління, створеного у LabVIEW.
6. Налаштування та перевірка безпеки передачі даних у комп'ютерній мережі із елементами IoT.

6. Завдання для самостійної роботи

Самостійна робота студента є невід'ємною частиною процесу навчання, що спрямована на оволодіння студентом додаткових знань у вільний від аудиторного навантаження час. З урахуванням розподілу загального навчального часу, структура та зміст тем самостійного вивчення підібрані з позиції доповнення предметної області знань з метою поглиблення у навчальний процес.

Перелік тем для самостійної роботи.

1. Теорія та методологія побудови спеціалізованих систем управління.
2. Апарат теорії графів та систем. Різновиди та класифікація. Мережі Петрі.
3. Архітектури мережевих спеціалізованих комп'ютерних систем.
4. Функціональні об'єкти глобальної моделі спеціалізованих систем управління.
5. Системні властивості об'єктів управління спеціалізованих систем.
6. Інформаційні методи формування цифрових та технологічних даних.
7. Метричні моделі передачі даних в комп'ютерних системах.
8. Критерії ефективності та доцільність проєктованих рішень.

7. Методи навчання

Навчальний процес побудований на сполученні лекційних і лабораторних занять з самостійною роботою студентів.

Лекційні заняття призначені для теоретичного ознайомлення та узагальнення складних розділів курсу, що визначають основний матеріал та проблемні питання.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 9

Лабораторні заняття призначені для закріплення на практиці методів розрахунку та математичного і комп'ютерного моделювання теплових систем, а також формування в студентах навичок і вмінь самостійного і творчого мислення при розв'язуванні практичних задач.

Розділи самостійного вивчення, призначені для ознайомлення з розширеним матеріалом дисципліни, з метою розвитку критичного мислення та досягнення спеціальних питань та проблем, що оформляються реферативною роботою.

8. Методи контролю

Кредитна модульна робота проводиться у вигляді письмової аудиторної роботи. До складу роботи входять теоретичні питання та практичні завдання у формі задач.

Кінцевим видом контролю є залік, що проводиться у письмовій формі за завданнями, сформованими з теоретичних і практичних питань до модулів.

9. Розподіл балів

У накопичувальній заліково-екзаменаційній відомості структура балів для оцінювання навчальних досягнень студентів має наступну структуру: 40 балів за виконання і здачу лабораторних робіт, 10 балів на поточний контроль за всіма змістовними модулями (опитування), 20 балів за модульні контрольні роботи, 30 балів на складання заліку.

Екзамен

Поточне тестування та самостійна робота						Екзамен	Сума
модуль 1			модуль 2				
О	ЛР	МКР	О	ЛР	МКР	30	100
5	20	10	5	20	10		

О – опитування; І – індивідуальне завдання; МКР – модульна контрольна; ЛР – лабораторні роботи

Шкала оцінювання

За шкалою	Екзамен	Залік	Бали
A	Відмінно	Зараховано	90-100
B	Добре	Зараховано	82-89
C			74-81
D	Задовільно	Зараховано	64-73
E			60-63
FX	Незадовільно	Не зараховано	35-59

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.10- 05.01/151.00.1/Б/ОК26 -2023
	Екземпляр № 1	Арк 10 / 10

F		Не зараховано	0-34
---	--	---------------	------

10. Рекомендована література

Основна література

1. E. A. Lee and S. A. Seshia. Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, MIT Press, 2017.
2. EL HAMI A., POUGNET P. (eds), Embedded Mechanationic Systems 2: Analyses of Failures, Modeling, Simulation and Optimization (2nd edition), ISTE Press, London, and Elsevier, Oxford, 2019.
3. Основи проектування спеціалізованих мікроконтролерних та вбудованих комп'ютерних систем для засобів суднової і промислової автоматизації : навч. посібник / В. С. Блінцов [та ін.]. Ч. 1 / Нац. ун-т кораблебудування ім. адм. Макарова . — Київ : Кондор, 2014. — 348 с.
4. Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем. Навчальний посібник. Тернопіль, ТзОВ "Терно-граф". 2010. – 392с.

Допоміжна література

5. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
6. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Човнюк Ю.В. Мехатроніка. Навчальний посібник. – К., 2012. - 357 с.

11. Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. <https://www.mathcad.com/en/blogs/complete-beginners-guide-ptc-mathcad>
[Електронний ресурс] - COMPLETE BEGINNERS GUIDE TO PTC MATHCAD
2. <https://nl.mathworks.com/help/matlab/getting-started-with-matlab.html>
[Електронний ресурс] - Get Started with MATLAB