

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА**

Фізико-технічний факультет  
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
КІБЕРФІЗИЧНІ СИСТЕМИ**

Освітня програма Комп'ютерна інженерія  
Галузь знань 12 Інформаційні технології  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Затверджено на засіданні кафедри  
Протокол № 12 від “30” червня 2023 р.

Івано-Франківськ – 2023 рік

## ЗМІСТ

1. Загальна інформація
2. Анотація до курсу
3. Мета та цілі курсу
4. Компетентності
5. Результати навчання
6. Організація навчання курсу
7. Система оцінювання курсу
8. Політика курсу
9. Рекомендована література

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	Кіберфізичні системи
<b>Рівень вищої освіти</b>	Другий рівень вищої освіти
<b>Викладач (-і)</b>	доцент, кандидат технічних наук Грига Володимир Михайлович
<b>Контактний телефон викладача</b>	0342596007
<b>Е-mail викладача</b>	<a href="mailto:volodymyr.gryga@pnu.edu.ua">volodymyr.gryga@pnu.edu.ua</a>
<b>Формат дисципліни</b>	Семестровий
<b>Обсяг дисципліни</b>	6 кредитів
<b>Посилання на сайт дистанційного навчання</b>	<a href="http://www.d-learn.pnu.edu.ua/">http://www.d-learn.pnu.edu.ua/</a>
<b>Консультації</b>	відповідно до графіку індивідуальних консультацій, який розміщений на інформаційному стенді кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
<b>2. Анотація до курсу</b>	
<p>Дисципліна «Кіберфізичні системи» належить до переліку дисциплін вільного вибору за освітнім рівнем «магістр», що пропонуються в рамках циклу професійної та практичної підготовки студентів за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія». Вона забезпечує формування у студентів науково-дослідницьких і професійно-орієнтованих компетенцій. Предметом вивчення навчальної дисципліни є засвоєння основних принципів створення і функціонування програмно-апаратних комплексів кіберфізичних систем збору, обробки, передачі і аналізу даних та освоєння методів дослідження їх основних системних характеристик.</p> <p>Силабус навчальної дисципліни «Кіберфізичні системи» складений відповідно до освітньо-професійної програми «Комп'ютерна інженерія» підготовки магістрів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».</p>	
<b>3. Мета та цілі курсу</b>	
<p><b>Мета:</b> вивчення магістрами основних принципів, проблем і напрямів розвитку кіберфізичних систем, засвоєння основних принципів їх проектування з метою формування професійних знань в області розробки проектних рішень та вирішення складних задач в галузі; закріплення студентами навиків програмування сучасних апаратних мікропроцесорних платформ та різних інформаційно-вимірювальних сенсорів.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни магістр повинен</p> <p><b>знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- базові принципи КФС;</li> <li>- архітектуру та основні компоненти кіберфізичних систем;</li> <li>- основні етапи проектування кіберфізичних систем;</li> <li>- основні засоби розробки кіберфізичних систем та їх відлагодження;</li> <li>- організацію інформаційно-вимірювальних каналів КФС;</li> <li>- існуючі технології КФС та Інтернету речей;</li> <li>- засоби криптографічного захисту інформації в КФС;</li> <li>- основні конфігурації та структурні об'єкти КФС: давачі, контролери та актуатори;</li> <li>- протоколи бездротової передачі даних в КФС та системах Інтернету речей;</li> <li>- сенсорні бездротові системи і протоколи далекого зв'язку;</li> <li>- моделі хмарного розміщення даних в КФС та системах Інтернету речей;</li> <li>- системи збору і бездротової передачі даних на основі сучасних мікроконтролерів.</li> </ul> <p><b>вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формувати вимоги до розробки КФС та приладів і пристроїв Інтернету речей;</li> <li>- проектувати кіберфізичні системи для збору, обробки та передачі інформації;</li> <li>- розробляти алгоритми для моделей КФС;</li> </ul>	

- використовувати мікропроцесорні та мікроконтролерні пристрої при вирішенні поставлених завдань керування пристроями збору, обробки та передачі даних в інтелектуальних системах;
- використовувати засоби програмування мікропроцесорних і мікроконтролерних макетів та хмарного середовища Arduino IoT;
- розробляти програмне забезпечення для обміну даними між віддаленими пристроями в КФС та системах Інтернету речей;
- організовувати взаємодію між апаратними і програмними засобами з використанням комунікаційних протоколів, поєднуючи їх в єдину систему;
- оцінювати і вибирати методи і моделі розробки, впровадження, експлуатації апаратних і програмних засобів та управління ними на всіх етапах життєвого циклу;
- проводити самостійні дослідження технічних характеристик в області КФС;
- організовувати передачу даних із використанням інтерфейсів: I2C, SPI та UART;
- використовувати модуль Node Mcu ESP8266 для проектування систем керування розумними пристроями та в моніторингових системах.

#### 4. Компетентності

##### Загальні компетентності

ЗК2. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.

##### Спеціальні (фахові) компетентності

СК2. Здатність розробляти алгоритмічне та програмне забезпечення, компоненти комп'ютерних систем та мереж, Інтернет додатків, кіберфізичних систем з використанням сучасних методів і мов програмування, а також засобів і систем автоматизації.

СК6. Здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем і мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема з метою підвищення їх ефективності.

#### 5. Результати навчання

РН9. Розробляти програмне забезпечення для вбудованих і розподілених застосувань, мобільних і гібридних систем.

РН11. Приймати ефективні рішення з питань розроблення, впровадження та експлуатації комп'ютерних систем і мереж, аналізувати альтернативи, оцінювати ризики та імовірні наслідки рішень.

#### 6. Організація навчання курсу

##### Обсяг курсу

Вид заняття	Загальна кількість годин
лекції	30
семінарські заняття / практичні / <b>лабораторні</b>	30
самостійна робота	120

##### Ознаки курсу

Семестр	Спеціальність	Курс (рік навчання)	Нормативний / вибірковий
II	123 Комп'ютерна інженерія	1	вибіркова

##### Тематика курсу

Тема, план	Форма заняття	Література	Кількість годин	Вага оцінки	Термін виконання
------------	---------------	------------	-----------------	-------------	------------------

#### Змістовий модуль 1. Базові принципи та архітектури КФС. Хмарні технології в КФС.

<b>Тема 1.</b> Історія розвитку та застосування кіберфізичних систем (КФС). Основні	лекція	[1-16]	2	0,5	Згідно розкладу
---	--------	--------	---	-----	-----------------

складові КФС. Класифікація компонентів КФС їх види та принципи роботи.					
<b>Тема 2.</b> Базові принципи, узагальнена структура та проблеми створення КФС. Оцінка складності кіберфізичних систем.	лекція	[1-16]	2	0,5	Згідно розкладу
<b>Тема 3.</b> Апаратно-програмна платформа для створення прикладних кіберфізичних систем. Інтелектуальні самоорганізовані системи.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 4.</b> Засоби криптографічного захисту інформації в кіберфізичних системах. Процесори криптографічного захисту інформації. Методи і засоби побудови пристроїв для формування цифрового підпису.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 5.</b> Персональні бездротові мережі. Протоколи бездротової передачі даних в кіберфізичних системах та системах IoT. Основні протоколи бездротового зв'язку в Інтернеті речей: NB-IoT, ZigBee, GSM, Wi-Fi, Bluetooth. Фізичні основи, основні параметри і умови застосування.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 6.</b> Сенсорні бездротові системи і протоколи далекого зв'язку LPWAN. Протоколи бездротового зв'язку в Інтернеті речей: LoRa/LoRaWAN, 6LoWPAN.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 7.</b> Огляд відомих хмарних сервісів та їх характеристик. Моделі хмарного розміщення даних. Види хмарних сервісів.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 8.</b> Класифікація моделей обслуговування в хмарних сервісах. Засоби розробки КФС на основі хмарних технологій. Передача та обробка даних у хмарному середовищі	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу

Arduino IoT.					
Модульний контроль 1			16	7	Згідно розкладу
<b>Змістовий модуль 2. Технології КФС. Реалізація КФС на базі мікропроцесорних пристроїв.</b>					
<b>Тема 9.</b> Технології КФС. Платформи і засоби накопичення, візуалізації і обробки даних в кіберфізичних системах. Завдання накопичення, обробки і візуалізації даних в кіберфізичних системах.	лекція	[1-16]	2	0,5	Згідно розкладу
<b>Тема 10.</b> Автоматизація та інтелектуалізація процесу проектування кіберфізичних систем.	лекція	[1-16]	2	0,5	Згідно розкладу
<b>Тема 11.</b> Класифікація та основні характеристики вимірювальних перетворювачів. Сенсорні пристрої. Інтелектуальні давачі. Джерела живлення.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 12.</b> Основні типи давачів різних фізичних величин, поняття дискретності і похибки вимірювань в кіберфізичних системах. Цифрові та аналогові інтерфейси в КФС.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 13.</b> Загальна структура, функціональні блоки та система команд сучасних мікроконтролерів, основні відмінності в підходах в роботі у порівнянні з традиційними ПК при створенні КФС.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 14.</b> Системи збору і бездротової передачі даних на основі мікроконтролерів ATmega, STM32, ESP32 Node MCU та nRF52. Інтерфейси SPI, I2C, UART, вбудовані АЦП і ЦАП мікроконтролерів.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
<b>Тема 15.</b> Методи та засоби проектування блоків КФС із застосуванням ПЛІС.	лекція	[1-16]	2	1	Згідно розкладу
Модульний контроль 2			14	6	Згідно розкладу
<b>Лабораторні роботи</b>					
<b>Тема 1.</b> Використання	Лаб.	[1-16]	2	2	Згідно розкладу

інтерфейсу I2C, UART для з'єднання макетних модулів Arduino UNO та Arduino Nano, ESP-01 та їх програмування в середовищі Arduino IDE. Налаштування хмарного середовища Arduino IoT.	робота				
<b>Тема 2.</b> Проектування підсистеми визначення рухомих об'єктів розумного будинку з використанням плати Arduino Nano та сенсора руху HC-SR501 з подальшою передачею та обробкою даних у хмарному середовищі Arduino IoT.	Лаб. робота	[1-16]	2	2	Згідно розкладу
<b>Тема 3.</b> Проектування підсистеми ідентифікації об'єктів доступу до приміщення з використанням плати Arduino UNO та модуля радіочастотної ідентифікації RC522 з подальшою передачею та обробкою даних у хмарному середовищі Arduino IoT.	Лаб. робота	[1-16]	4	2	Згідно розкладу
<b>Тема 4.</b> Проектування підсистеми клімат-контролю та вентиляції розумного будинку з використанням плати Arduino UNO, сенсора температури і вологості DHT22, вентилятора з подальшою передачею та обробкою даних у хмарному середовищі Arduino IoT.	Лаб. робота	[1-16]	4	2	Згідно розкладу
<b>Тема 5.</b> Проектування підсистеми освітлення розумного будинку з використанням плати Arduino UNO, давача руху HC-SR501, давача відстані HC-SR04, фоторезистора і сервоприводу з подальшою передачею та обробкою даних у хмарному середовищі Arduino IoT.	Лаб. робота	[1-16]	2	2	Згідно розкладу
<b>Тема 6.</b> Проектування підсистеми пожежної сигналізації розумного		[1-16]	4	2	Згідно розкладу

будинку з використанням модуля NodeMcu ESP8266, давача диму MQ-2, давача витоку газу MQ-7 та середовища програмування Arduino IDE. Передача та обробка даних у хмарному середовищі Arduino IoT.	Лаб. робота				
<b>Тема 7.</b> Проектування підсистеми дистанційного керування розумного будинку з використанням безпроводних інтерфесів Bluetooth (HC-06) та Wi-Fi (NodeMcu ESP8266). Передача та обробка даних у хмарному середовищі Arduino IoT.	Лаб. робота	[1-16]	2	2	Згідно розкладу
<b>Тема 8.</b> Проектування автоматизованої системи контролю якості повітря навколишнього середовища на основі апаратної платформи ESP32 з використанням сенсорів визначення летких органічних сполук (CCS811), пилу (GP2Y1010AU0F), вуглекислого газу (MH-Z19B), формальдегіду (ZE08-CH <sub>2</sub> O), температури, тиску та вологості (BME280).	Лаб. робота	[1-16]	4	3	Згідно розкладу
<b>Тема 9.</b> Проектування системи визначення пульсу та насиченості рівня кисню в артеріальній крові людини з використанням біосенсора (MAX86150).	Лаб. робота	[1-16]	4	2	Згідно розкладу
<b>Тема 10.</b> Вивчення системи автоматизації проектування Vivado. Розробка типових вузлів для КФС на ПЛІС.	Лаб. робота	[1-16]	2	2	Згідно розкладу
Контроль лабораторних робіт			30	25	
<b>Самостійна робота студентів</b>					
<b>Тема 1.</b> Використання кіберфізичних систем у промисловості, виробництві, енергетичній сфері та військовій галузі. Екосистема КФС та систем	Само- стійна робота	[1-16]	8	0,5	Впродовж семестру



Інтернету речей. Корисність мережі та закон Меткалфа-Бекстрома. Четверта індустріальна революція.					
<b>Тема 2.</b> Концептуальні моделі КФС та способи їх побудови. Принципи проектування електронних систем на базі мікроконтролерів і швидкого прототипування кіберфізичних систем. Засоби моделювання кіберфізичних систем.	Само- стійна робота	[1-16]	8	0,5	Впродовж семестру
<b>Тема 3.</b> Основні можливості, компоненти і принципи застосування вбудованих операційних систем в платформах Інтернету речей. Сенсорні та комунікаційні мережі в КФС. Високопродуктивні комп'ютерні системи.	Само- стійна робота	[1-16]	8	0,5	Впродовж семестру
<b>Тема 4.</b> Методи та засоби захисту вимірювальної інформації від несанкціонованого доступу. Протидія мережевому несанкціонованому доступу.	Само- стійна робота	[1-16]	8	0,5	Впродовж семестру
<b>Тема 5.</b> Стандарт Bluetooth 802.15.1. Різновиди стандартів WiFi. Бібліотеки в середовищі Arduino IDE для роботи з WiFi. Стандарти ZigBee. Передача даних через інтерфейс IrDA.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру
<b>Тема 6.</b> Характеристики NB-LTE. Пропріетарна мережа LoRa. Організація обміну даними в протоколі MQTT. HTTP протоколи. Web-сокети. Передача даних та прийом пакетів.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру
<b>Тема 7.</b> Моделі розгортання хмарного середовища. Публічний хмарний сервіс IBM Cloud. Граничні обчислення. Топології граничних обчислень.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру
<b>Тема 8.</b> Використання технологій Big Data в КФС та системах Інтернету речей.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру

Обсяги даних. Швидкість обробки даних. Аналітика хмарних обчислень. Система правил дії та потокова обробка.					
Контроль самостійної роботи			64	6	Згідно розкладу
<b>Тема 9.</b> Системи передавання даних в каналах КФС. Види інформаційних каналів в кіберфізичних системах їх математичні моделі та характеристики.	Само- стійна робота	[1-16]	8	0,5	Впродовж семестру
<b>Тема 10.</b> Побудова реальних об'єктів з використанням 3D-друку. Основні технологічні операції: проектування, слайсінг, друк. Формалізація кіберфізичних систем в умовах динамічно мінливого середовища.	Само- стійна робота	[1-16]	8	0,5	Впродовж семестру
<b>Тема 11.</b> Сенсорні пристрої. Термопари і давачі температури. Різновиди сенсорів. MEMS давачі тиску. Перетворення енергії радіохвиль та тепла.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру
<b>Тема 12.</b> Фотоелектричні давачі. Відновлення живлення. Перетворення сонячної енергії. Використання сховищ енергії. Іоністори. Радіоактивні джерела живлення.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру
<b>Тема 13.</b> Основи роботи з мікропроцесорними та мікроконтролерними системами збору, обробки та передачі даних. Вбудоване програмне забезпечення для систем збору, обробки і передачі даних з використанням сучасних мікроконтролерів у КФС.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру
<b>Тема 14.</b> Обчислювальні ресурси КФС. Аналогові і цифрові інтерфейси та їх характеристики. Платформ-конструктори, засоби машинного навчання і	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру

статистичного аналізу. Моделювання кіберфізичних систем.					
<b>Тема 15.</b> Приклади проектування елементів КФС на базі ПЛІС у космічній, військовій та промислових галузях.	Само- стійна робота	[1-16]	8	1	Впродовж семестру
Контроль самостійної роботи			56	6	Згідно розкладу
Підсумковий контроль (екзамен)				50	

### 7. Система оцінювання курсу

Загальна система оцінювання курсу

*Поточний контроль* здійснюється під час проведення лекційних, лабораторних, індивідуальних занять і має на меті перевірку знань студентів з окремих тем навчальної дисципліни та рівня їх підготовленості до виконання конкретної роботи. Оцінки у національній шкалі («відмінно» - 5, «добре» - 4, «задовільно» - 3, «незадовільно» - 2), отримані студентами, виставляються у журналах обліку відвідування та успішності академічної групи.

*Модульний контроль* (сума балів за окремий змістовий модуль) проводиться (виставляється) на підставі оцінювання результатів знань студентів після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля.

Завданням модульного контролю є перевірка розуміння та засвоєння певного матеріалу (теми), вироблення навичок проведення розрахункових робіт, вміння вирішувати конкретні ситуативні задачі, самостійно опрацьовувати тексти, здатності осмислювати зміст даної частини дисципліни, уміння публічно чи письмово подати певний матеріал.

*Семестровий (підсумковий) контроль* проводиться у формі екзамену.

*Екзамен* – форма підсумкового контролю, яка передбачає перевірку розуміння студентом теоретичного та практичного програмного матеріалу з усієї дисципліни, здатності творчо використовувати здобуті знання та вміння, формувати власне ставлення до певної проблеми тощо.

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
80 – 89	<b>B</b>	добре	
70 – 79	<b>C</b>		
60 – 69	<b>D</b>	задовільно	
50 – 59	<b>E</b>		
26 – 49	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання

	0-25	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни
Вимоги до письмової роботи	Підсумкова письмова робота виконується у формі тестових завдань з вибором правильної відповіді. Кількість тестових завдань – 25.			
Лабораторні заняття	<p>Після узагальнення (вступного слова) викладач дає відповіді на окремі теоретичні запитання, які виникли в студентів у процесі підготовки до заняття. Зазвичай з кожної теми лекційного курсу на практичні заняття виносять індивідуалізовані теми комплексного характеру, які дають змогу студенту ширше застосувати здобуті знання та підготуватися до самостійного виконання домашнього завдання.</p> <p>Для перевірки рівня засвоєння навчального матеріалу студенти виконують тестові завдання.</p> <p>До початку лабораторної роботи студент має отримати допуск на основі усної співбесіди. На лабораторній роботі кожен студент отримує інструкцію до виконання. Після завершення роботи студент оформляє і захищає звіт з результатами роботи.</p>			
Умови допуску до підсумкового контролю	<p>Студент допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав сумарно 25 балів і вище.</p> <p>Студент не допускається до складання екзамену, якщо впродовж семестру він за змістові модулі набрав менше 25 балів. У цьому випадку студенту у відомості робиться запис "не допущений" і виставляється набрана кількість балів. Допускається, як виняток, з дозволу декана факультету за заявою, погодженою з відповідною кафедрою, одноразове виконання студентом додаткових видів робіт з навчальної дисципліни (відпрацювання пропущених занять, перекладання змістових модулів, виконання індивідуальних завдань тощо) для підвищення оцінок за змістові модулі.</p> <p>Напередодні екзамену викладач подає доповідну декану про недопуск студентів академічної групи (груп). Відмітка про недопуск у відомості робиться при наявності розпорядження декана.</p>			
<b>8. Політика курсу</b>				
<p>Студент зобов'язаний відвідувати заняття відповідно до встановленого розкладу, не запізнюватися, мати відповідний зовнішній вигляд. У разі відсутності через хворобу надається відповідна довідка.</p> <p>Пропущена лекція відпрацьовується студентом самостійно, як короткий конспект за темою заняття.</p> <p>Пропущена лабораторна робота виконується студентом самостійно вдома або в комп'ютерному класі, результати оцінюються викладачем.</p> <p>У випадку, коли студент приймав участь у програмі мобільності, можливе врахування отриманих оцінок в іншому навчальному закладі за умови відповідності навчальних планів.</p> <p>Можливе зарахування результатів неформальної освіти згідно з Положенням про порядок зарахування результатів неформальної освіти у ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».</p> <p><b>Політика академічної поведінки і етики</b></p> <p>Студент повинен бути толерантним і поважати думку інших.</p> <p>Заперечення повинні формулюватися тільки в коректній формі.</p> <p>Плагіат та академічна недобросовісність несумісні з принципами діяльності ЗВО.</p>				

Не допускається підказування та списування під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного чи підсумкового контролю.

Не допускається користування телефонами та будь-якими іншими електронними засобами під час здачі будь-яких робіт поточного, рубіжного, чи підсумкового контролю.

## 9. Рекомендована література

### Базова

1. Грудзинський Ю.Є. Технології сучасних кібер-фізичних систем: Навчальний посібник [Електронний ресурс]: – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 327 с.
2. R. G. Sanfelice. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach // Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. — CRC Press, 2016.
3. Lee E.A., Seshia S.A. Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition. MIT Press, 2017. 585 p.  
[https://ptolemy.berkeley.edu/books/leeseshia/releases/LeeSeshia\\_DigitalV2\\_2.pdf](https://ptolemy.berkeley.edu/books/leeseshia/releases/LeeSeshia_DigitalV2_2.pdf)
4. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку / Вісник “Комп’ютерні системи та мережі”. – Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2014. - С. 154–161.
5. Мельник А.О., Мельник В.А., Глухов В.С., Сало А.М. Кіберфізичні системи: багаторівнева організація та проектування. – Магнолія, 2023. – 238 с.
6. Бочкарьов О.Ю., Голембо В.А. Парамуд Я.С., Яцук В.О. Кіберфізичні системи: технології збору даних. – Магнолія, 2023. – 176 с.
7. Matviienko J. Satisfying STEM Education Using the Arduino / Jurii Matviienko // The 8th International Conference on Future Computer and Communication (ICFCC 2016). – Hong Kong: ICFCC – P. 205-210.
8. Jan Poesse Wireless challenges in the Ageing in Place Environment / Philips Research, 2015 – 37 с.
9. Jan Poesse Wireless challenges in the Ageing in Place Environment / Philips Research, 2015 – 37 с.
10. Бабак В.П., Бабак С.В., Єременко В.С. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / 2-е вид., перероб. і доп.-К.: Університет новітніх технологій; НАУ, 2017. -496с.

### Допоміжна

11. Бучма І.М. Мікропроцесорні пристрої Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 236 с.
12. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. — doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 — P. 367—372.
13. Kyung Sup Kwak. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard" [Electronic resource] / Kyung Sup Kwak, Sana Ullah, Nia-mat Ullah // 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010), 7—10 Nov., 2010. — Rome, Italy. — DOI: 10.1109/ISABEL.2010.5702867.
14. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. — doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 — P. 367—372.
15. IEEE 802.11 ad: directional 60 GHz communication for multi-Gigabit-per-second

Wi-Fi / Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A. B., Knightly, E. W., Perahia, E., & Widmer, J. C. // IEEE Communications Magazine. — 2014. — 52 (12). — Pp. 132—141.

16. IEEE 802.11 ad: A standard for TV white space spectrum sharing / Flores, A. B., Guerra, R. E., Knightly, E. W., Eccle-sine, P., & Pandey, S. // IEEE Communications Magazine. — 2013. — 51 (10). — Pp. 92—100.

**Викладач**



**Грига В.М.**