

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ФІТ _____

Тетяна ГОВОРУЩЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Теорія, проектування та моделювання спеціалізованих комп'ютерних систем

Назва дисципліни

Галузь знань – F Інформаційні технології
Спеціальність – F7 Комп'ютерна інженерія
Рівень вищої освіти – Другий (магістерський)
Освітньо-наукова програма – Комп'ютерна інженерія та програмування
Обсяг дисципліни – 5 кредитів ЄКТС, **Шифр дисципліни** – ОНП.08
Мова навчання – українська
Статус дисципліни: обов'язкова (науково-дослідної підготовки)
Факультет – Інформаційних технологій
Кафедра – Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Форма здобуття освіти	Курс	Семестр	Загальний обсяг		Кількість годин						Курсовий проєкт	Курсова робота	Форма семестрового контролю	
					Аудиторні заняття					Самостійна робота, у т.ч. ІРС			Залік	Іспит
			Кредити ЄКТС	Години	Разом	Лекції	Лабораторні роботи	Практичні заняття	Семінарські заняття					
Д	2	3	5	150	50	16	18	16		100				+
Разом ДФН			5	150	50	16	18	16		100				1

Робоча програма складена на основі освітньо-наукової програми «Комп'ютерна інженерія та програмування» за спеціальністю F7 «Комп'ютерна інженерія»

Робоча програма складена _____
 Підпис автора(ів) канд. техн. наук, доцент Андрій НІЧЕПОРУК
 Науковий ступінь, вчене звання, Ім'я, ПРІЗВИЩЕ автора(ів)

Схвалена на засіданні кафедри _____
 Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Протокол від 18.08 2025 № 1. Зав. кафедри _____
 Підпис Ольга ПАВЛОВА
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Робоча програма розглянута та схвалена вченою радою факультету інформаційних технологій

Голова вченої ради факультету _____
 Підпис Тетяна ГОВОРУЩЕНКО
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Хмельницький 2025

ЛИСТ ПОГОДЖЕННЯ

Посада	Назва кафедри	Підпис	Ініціали, прізвище
Завідувач кафедри, ДФ, доц.	Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем		Ольга ПАВЛОВА
Гарант освітньо-наукової програми, д-р.техн. наук., проф.	Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем		Олег САВЕНКО

3. Пояснювальна записка

Дисципліна «Теорія, проектування та моделювання спеціалізованих комп'ютерних систем» є однією із дисциплін науково-дослідної підготовки і займає провідне місце у підготовці здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, очної (денної) (далі – денної) форми здобуття вищої освіти, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія та програмування» в межах спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія».

Пререквізити – Іноземна мова за професійним спрямуванням (ОЗП.01); Філософські проблеми наукового пізнання (ОЗП.02); Методологія та організація наукових досліджень (ОЗП.04); Комп'ютерні системи штучного інтелекту (ОФП.01); Технології проектування програмних систем (ОФП.02); Технології проектування програмних систем, курсовий проєкт (ОФП.03); Теорія і проектування комп'ютерних та кіберфізичних систем і мере (ОФП.04); Теорія і технології проектування спеціалізованих операційних систем (ОФП.07)

Кореквізити – Науково-дослідна практика (ОФП.09); Кваліфікаційна робота (ОФП.10)

Відповідно до освітньої програми дисципліна сприяє забезпеченню:

компетентностей: Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми в галузі комп'ютерної інженерії або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог (ІК); здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу (ЗК2); здатність проводити дослідження на відповідному рівні (ЗК3); здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел (ЗК4); здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми (ЗК6); здатність до визначення технічних характеристик, конструктивних особливостей, застосування і експлуатації програмних, програмно-технічних засобів, комп'ютерних систем та мереж різного призначення (ФК1); 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 проектування (ФК2); здатність проєктувати комп'ютерні системи та мережі з урахуванням цілей, обмежень, технічних, економічних та правових аспектів (ФК3); здатність будувати та досліджувати моделі комп'ютерних систем та мереж (ФК4); здатність використовувати та впроваджувати нові технології, включаючи технології розумних, мобільних, зелених і безпечних обчислень, брати участь в модернізації та реконструкції комп'ютерних систем та мереж, різноманітних вбудованих і розподілених додатків, зокрема, з метою підвищення їх ефективності (ФК6); здатність ідентифікувати, класифікувати та описувати роботу програмно-технічних засобів, комп'ютерних систем, мереж та їхніх компонентів (ФК10); здатність обирати ефективні методи розв'язування складних задач комп'ютерної інженерії, критично оцінювати отримані результати та аргументувати прийняті рішення (ФК11); здатність використовувати методи аналізу, ідентифікації й синтезу комп'ютерних систем та мереж, кіберфізичних систем, засобів Інтернету речей та IT-інфраструктур (ФК12)

програмних результатів навчання: застосовувати загальні підходи пізнання, методи математики, природничих та інженерних наук до розв'язання складних задач комп'ютерної інженерії (ПРН1); знаходити необхідні дані, аналізувати та оцінювати їх (ПРН2); будувати та досліджувати моделі комп'ютерних систем і мереж, оцінювати їх адекватність, визначати межі застосовності (ПРН3); застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у сфері комп'ютерної інженерії, необхідні для професійної діяльності, оригінального мислення та проведення досліджень, критичного осмислення проблем інформаційних технологій та на межі галузей знань (ПРН4); аналізувати проблематику, ідентифікувати та формулювати конкретні проблеми, що потребують вирішення, обирати ефективні методи їх вирішення (ПРН6); вирішувати задачі аналізу та синтезу комп'ютерних систем та мереж (ПРН7); застосовувати знання технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації програмно-технічних засобів комп'ютерних систем та мереж для вирішення складних задач комп'ютерної інженерії та дотичних проблем (ПРН8); здійснювати пошук інформації в різних джерелах для розв'язання задач комп'ютерної інженерії, аналізувати та оцінювати цю інформацію (ПРН10); приймати ефективні рішення з питань розроблення, впровадження та експлуатації комп'ютерних систем і мереж, аналізувати альтернативи, оцінювати ризики та імовірні наслідки рішень (ПРН11); планувати і виконувати наукові дослідження в сфері комп'ютерної інженерії, формулювати і перевіряти гіпотези, обирати методики та інструменти, аналізувати результати, обґрунтовувати висновки (ПРН14).

Мета дисципліни. Формування у здобувачів вищої освіти компетентностей, необхідних для розв'язання складних спеціалізованих задач у сфері комп'ютерної інженерії, набуття знань з теорії, проектування та моделювання спеціалізованих комп'ютерних систем з використанням сучасних архітектур, зокрема SoC, методів системного аналізу та оптимізації, а також підготовка до проведення дослідницької та/або інноваційної діяльності.

Предмет дисципліни. Теоретичні основи, методи, засоби та архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем, включаючи системи на кристалі Cyclone V, одноплатні комп'ютерні системи, процесори різного призначення, вбудовані системи, системи реального часу, а також інструменти моделювання, опису апаратури та дослідження програмно-апаратних комплексів.

Завдання дисципліни. Формування практичних навичок проектування та моделювання спеціалізованих комп'ютерних систем, використання сучасних архітектур, створення та дослідження структурно-часових і граф-алгоритмічних моделей, застосування мов опису апаратури (VHDL, Verilog) та засобів автоматизації проектування, аналізу ефективності і стійкості систем.

Результати навчання. Після вивчення дисципліни студент повинен: знати сучасні архітектури та тенденції розвитку спеціалізованих комп'ютерних систем; уміти проєктувати, досліджувати та моделювати їх програмно-апаратні комплекси; володіти методами аналізу й синтезу структур і моделей руху даних; застосовувати системи на кристалі та інші програмно-апаратні засоби для реалізації обчислювальних модулів, систем керування та вбудованих

рішень; використовувати мови опису апаратури та САПР для створення схем і модулів спеціалізованих комп'ютерних систем; виконувати обчислювальні та експериментальні дослідження, інтерпретувати результати та обґрунтовувати ефективність розроблених рішень; реалізовувати захист спеціалізованих систем від кібератак та враховувати закони економічної доцільності під час проектування.

4. Структура залікових кредитів дисципліни

	Кількість годин, відведених на:			
	лекції	лабораторні заняття	практичні заняття	СРС
Тема 1. Теоретичні основи та архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем	8			
Тема 2. Проєктування, моделювання та дослідження програмно-апаратних комплексів спеціалізованих комп'ютерних систем	8			
Разом за семестр:	16	18	16	100

5. Програма навчальної дисципліни

5.1 Зміст лекційного курсу

Номер лекції	Перелік тем лекцій, їх анотації	Кількість годин
	<i>Тема 1. Теоретичні основи та архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем</i>	
1	Загальні положення проектування комп'ютеризованих систем. Теорія та методологія побудови систем. Вплив зміни параметрів на стійкість системи. Стани та потоки. Рівні системи. Розподілені комп'ютерні системи. Спеціалізовані комп'ютерні системи. Літ.: [1-10]	2
2	Ієрархія спеціалізованих комп'ютерних систем та архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем. Тенденції розвитку архітектур спеціалізованих комп'ютерних систем. Сучасні архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем Processing-in-Memory (PIM), Near-Data Computing та chiplet-архітектури. Центральні процесори, графічні процесори, приголомшлива паралельність (Embarrassingly parallel), Спеціалізовані процесори для ШІ/МН, Тензорні процесори (TPU), Нейронні процесори (NPU), Спеціалізовані ШІ-акселератори, Цифрові сигнальні процесори (DSP), Мікроконтролери та вбудовані системи, Системи реального часу, Одноплатні комп'ютери (SBC), Мережеві процесори, Квантові процесори, нейроморфні процесори, оптичні процесори, Спеціалізовані ASIC/FPGA. Літ.: [1-9]	2
3	Системні об'єкти, системні функції, функціональні об'єкти комп'ютеризованих систем. Глобальна модель комп'ютеризованої системи. Формалізація опису характеристик системних об'єктів КСУ. Системні характеристики процесора. Системні характеристики даних. Кодові матриці дискретних базисів. Характеристики моделей об'єктів управління. Літ.: [2, 4, 10]	2
4	Архітектура тензорних блоків обробки TPU від Google: спеціалізовані обчислення для ШІ у складі сучасних SoC. TPU на рівні окремого чипа. Систолічні масиви та конвеєри, компіляція Ahead of Time (AoT) та зменшена залежність від кешів, рівень трюю, архітектура стійки TPUv4, ICI високошвидкісна мережа передачі даних. Оптична комутації (OCS, Optical Circuit Switching) технологія маршрутизації сигналів між чипами. Топології з'єднань: тривимірна тороїдальна сітка, поди, суперподи, XLA. Літ.: [2, 8, 10]	2
	<i>Тема 2. Проектування, моделювання та дослідження програмно-апаратних комплексів спеціалізованих комп'ютерних систем</i>	
5	ПЛИС у проектуванні та моделюванні спеціалізованих комп'ютерних систем. Порівняння ПЛИС з ASIC та CPU/GPU при проектуванні спеціалізованих КС. Проектування та моделювання КС. Функціонування ПЛИС (FPGA). Цифрові ланцюги та логічні вентиля. Таблиці пошуку. Логічні блоки (CLB / Logic Blocks), Роль ПЛИС у побудові нестандартних, критичних, оптимізованих спеціалізованих систем, порівняння із ASIC та CPU/GPU, Автомати станів, Об'єднувати процесор та периферію в одній мікросхемі - SoC (System-On-Chip), Реалізація нейронних мереж на FPGA, Огляд ПЛИС DE1-SoC, Реалізації конвеєрів на ПЛИС. Середовище Quartus, мови опису апаратури VHDL та Verilog Літ.: [5, 6, 7, 10]	2
6	Математичні та формальні моделі у проектуванні спеціалізованих комп'ютерних систем. Математичні та формальні моделі у проектуванні спеціалізованих комп'ютерних систем. Стохастичні процеси. Теоретико-множинні моделі. Диференційні моделі. Марківські моделі. Мережі Петрі. Літ.: [10]	2
7	Моделі руху даних багаторівневих КС. Багаторівнева матрична модель КС. Цикли руху даних багаторівневих КС. Багаторівнева модель "граф – розгалужене дерево". Літ.: [10]	2
8	Закони економічної доцільності КС. Закони фрактальності, Гроша, тах прибутку, закон якості, собівартості. Літ.: [10]	2
Разом за семестр		16

5.2 Зміст лабораторних занять

№ п/п	Тема лабораторного заняття	Кількість годин
	<i>Тема 1. Теоретичні основи та архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем</i>	4
1	Проектування спеціалізованої комп'ютерної системи відеоспостереження на базі Raspberry Pi з функцією виявлення руху Літ.: [2]	2

2	Дослідження впливу ХЛА-компіляції на продуктивність обчислювальних задач у спеціалізованих комп'ютерних системах Літ.: [6]	2
	<i>Тема 2. Проектування, моделювання та дослідження програмно-апаратних комплексів спеціалізованих комп'ютерних систем</i>	14
3	Реалізація послідовної передачі даних в спеціалізованих комп'ютерних системах за допомогою UART протоколу Літ.: [5-7,11]	2
4	Проектування підсистем пам'яті та буферизації даних у спеціалізованих комп'ютерних системах на ПЛІС Літ.: [5-7,11]	2
5	Проектування спеціалізованої комп'ютерної системи керування світлофором на базі ПЛІС Cyclone V із використанням машини станів Літ.: [5-7,11]	2
6	Реалізація та моделювання спеціалізованого обчислювального модуля для матричних обчислень на ПЛІС Cyclone V Літ.: [5-7,11]	2
7	Проектування та моделювання цифрового термодатчика на ПЛІС Cyclone V з використанням П-контролера Літ.: [5-7,11]	2
8	Проектування принципів електричних схем спеціалізованих комп'ютерних систем засобами САПР Літ.: [11]	2
9	Узагальнення матеріалу семестру	2
	Разом за семестр	18

5.3 Зміст практичних занять

№ п/п	Тема практичного заняття	Кількість годин
	<i>Тема 1. Теоретичні основи та архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем</i>	4
1	Проектування спеціалізованої комп'ютерної системи відеоспостереження на базі Raspberry Pi з функцією виявлення руху Літ.: [2]	2
2	Дослідження впливу XLA-компіляції на продуктивність обчислювальних задач у спеціалізованих комп'ютерних системах Літ.: [6]	2
	<i>Тема 2. Проектування, моделювання та дослідження програмно-апаратних комплексів спеціалізованих комп'ютерних систем</i>	14
3	Реалізація послідовної передачі даних в спеціалізованих комп'ютерних системах за допомогою UART протоколу Літ.: [5-7,11]	2
4	Проектування підсистем пам'яті та буферизації даних у спеціалізованих комп'ютерних системах на ПЛІС Літ.: [5-7,11]	2
5	Проектування спеціалізованої комп'ютерної системи керування світлофором на базі ПЛІС Cyclone V із використанням машини станів Літ.: [5-7,11]	2
6	Реалізація та моделювання спеціалізованого обчислювального модуля для матричних обчислень на ПЛІС Cyclone V Літ.: [5-7,11]	2
7	Проектування та моделювання цифрового термодатчика на ПЛІС Cyclone V з використанням П-контролера Літ.: [5-7,11]	2
8	Проектування принципів електричних схем спеціалізованих комп'ютерних систем засобами САПР Літ.: [11]	2
	Разом за семестр	16

5.4 Зміст самостійної (у т.ч. індивідуальної) роботи здобувача вищої освіти

Самостійна робота студентів усіх форм здобуття освіти полягає у систематичному опрацюванні програмного матеріалу з відповідних джерел інформації, підготовці до виконання і захисту лабораторних робіт, тестування. Крім цього до послуг студентів сторінка навчальної дисципліни у Модульному середовищі для навчання, де розміщені Робоча програма дисципліни та необхідні документи з її навчально-методичного забезпечення.

Номер тижня	Вид самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №1, підготовка до виконання лабораторної роботи №1 та практичної роботи №1	6
2	Підготовка до захисту лабораторної роботи №1	6
3	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №2, підготовка до виконання лабораторної роботи №2 та практичної роботи №2	6
4	Підготовка до захисту лабораторної роботи №2	6
5	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №3, підготовка до виконання лабораторної роботи №3 та практичної роботи №3	6
6	Підготовка до захисту лабораторної роботи №3	6
7	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №4, підготовка до виконання лабораторної роботи №4 та практичної роботи №4	6
8	Підготовка до захисту лабораторної роботи №4	6
9	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №5, підготовка до виконання лабораторної роботи №5 та практичної роботи №5	6
10	Підготовка до захисту лабораторної роботи №5	6
11	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №6, підготовка до виконання лабораторної роботи №6 та практичної роботи №6	6
12	Підготовка до захисту лабораторної роботи №6	6
13	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №7, підготовка до виконання лабораторної роботи №7 та практичної роботи №7	6
14	Підготовка до захисту лабораторної роботи №7	6
15	Опрацювання теоретичного матеріалу з лекції №8, підготовка до виконання лабораторної роботи №8 та практичної роботи №8	6
16	Підготовка до захисту лабораторної роботи №8, підготовка до тестування за темами 1-2	10
	Разом семестр:	100

6. Технології та методи навчання

Процес навчання з дисципліни ґрунтується на використанні традиційних та сучасних технологій та методів навчання, зокрема: лекції (з використанням методів візуалізації, проблемного й інтерактивного навчання, мотиваційних прийомів, інформаційно-комунікаційних технологій); лабораторні заняття (з використанням методів комп'ютерного моделювання, методів проєктної діяльності, тренінгових вправ, аналіз проблемних ситуацій, пояснення, дискусія тощо); практичні заняття (майстер-клас, розв'язування ситуаційних завдань, презентацій, тренінгових вправ, дискусій, мозковий штурм); самостійна робота (опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до виконання та захисту лабораторних робіт, поточного та підсумкового контролю) з використанням інформаційно-комп'ютерних технологій та технологій дистанційного навчання.

7. Методи контролю

Поточний контроль здійснюється під час аудиторних лабораторних занять, а також у дні проведення контрольних заходів, встановлених робочою програмою і графіком освітнього процесу, в т.ч. з використанням Модульного середовища для навчання. При цьому використовуються такі методи поточного контролю:

- оцінювання результатів захисту лабораторних робіт;
- тестовий контроль засвоєння теоретичного та практичного матеріалу з тем.

При виведенні підсумкової семестрової оцінки враховуються результати як поточного контролю, так і підсумкового контролю, який проводиться з усього матеріалу дисципліни за білетами, попередньо розробленими і затвердженими на засіданні кафедри. Здобувач вищої освіти, який набрав з будь-якого виду навчальної роботи, суму балів нижчу за 60 відсотків від максимального балу, **не допускається** до семестрового контролю, поки не виконає обсяг роботи, передбачений Робочою програмою. Здобувач вищої освіти, який набрав позитивний середньозважений бал (60 відсотків і більше від максимального балу) з усіх видів поточного контролю і не склав іспит, вважається таким, який **має** академічну заборгованість. Ліквідація академічної заборгованості із семестрового контролю здійснюється у період екзаменаційної сесії або за графіком, встановленим деканатом відповідно до «Положення про контроль і оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти у ХНУ».

8. Політика дисципліни

Політика навчальної дисципліни загалом визначається системою вимог до здобувача вищої освіти, що передбачені чинними положеннями Університету про організацію і навчально-методичне забезпечення освітнього процесу. Зокрема, проходження інструктажу з техніки безпеки; відвідування занять з дисципліни є обов'язковим. За об'єктивних причин (підтверджених документально) теоретичне навчання за погодженням із лектором може відбуватися в он-лайн режимі. Успішне опанування дисципліни і формування фахових компетентностей і програмних результатів навчання передбачає необхідність підготовки до лабораторних занять (вивчення теоретичного матеріалу з теми), активно працювати на занятті, якісно підготувати звіт, захистити результати виконаної роботи, брати участь у дискусіях щодо прийнятих конструктивних рішень при виконанні здобувачами лабораторних робіт тощо.

Здобувачі вищої освіти мають дотримуватися встановлених термінів виконання всіх видів навчальної роботи відповідно до робочої програми навчальної дисципліни. Пропущене лабораторне заняття студент зобов'язаний відпрацювати у встановлений викладачем термін, але не пізніше, ніж за два тижні до кінця теоретичних занять у семестрі.

Засвоєння студентом теоретичного матеріалу з дисципліни оцінюється за результатами тестування, а також за результатами захисту лабораторних робіт.

Здобувач вищої освіти, виконуючи самостійну роботу або індивідуальну роботу з дисципліни, має дотримуватися політики доброчесності (заборонені списування, плагіат (в т.ч. із використанням мобільних девайсів)). У разі виявлення порушення політики академічної доброчесності в будь-яких видах навчальної роботи здобувач вищої освіти отримує незадовільну оцінку і має повторно виконати завдання з відповідної теми (виду роботи), що передбачені робочою програмою. Будь-які форми порушення академічної доброчесності **не допускаються**.

9. Оцінювання результатів навчання студентів у семестрі

Оцінювання академічних досягнень здобувача вищої освіти здійснюється відповідно до «Положення про контроль і оцінювання результатів навчання здобувачів вищої освіти у ХНУ». При поточному оцінюванні виконаної здобувачем роботи з кожної структурної одиниці і отриманих ним результатів викладач виставляє йому певну кількість балів із встановлених Робочою програмою для цього виду роботи. При цьому кожна структурна одиниця навчальної роботи може бути зарахована, якщо здобувач набрав не менше 60 відсотків (мінімальний рівень для позитивної оцінки) від максимально можливої суми балів, призначеної структурній одиниці.

При оцінюванні результатів навчання здобувачів вищої освіти з будь-якого виду навчальної роботи (структурної одиниці) рекомендується використовувати наведені нижче узагальнені критерії:

Таблиця – Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти

Оцінка та рівень досягнення здобувачем запланованих ПРН та сформованих компетентностей	Узагальнений зміст критерія оцінювання
--	--

Відмінно (високий)	Здобувач вищої освіти 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 логічний виклад відповіді мовою викладання (в усній або у письмовій формі), демонструє якісне оформлення роботи і володіння спеціальними приладами та інструментами, прикладними програмами. Здобувач не вагається при видозміні запитання, вміє робити детальні та узагальнюючі висновки, демонструє практичні навички з вирішення фахових завдань. При відповіді допустив дві–три несуттєві похибки .
Добре (середній)	Здобувач вищої освіти 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 правил, закономірностей тощо. Відповідь здобувача вищої освіти будується на основі самостійного мислення. Здобувач вищої освіти у відповіді допустив дві–три несуттєві помилки .
Задовільно (достатній)	Здобувач вищої освіти 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 здобувача вищої освіти будується на рівні репродуктивного мислення, здобувач вищої освіти має слабкі знання структури навчальної дисципліни, допускає неточності і суттєві помилки 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 (недостатній)	Здобувач вищої освіти 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 здобувачеві вищої освіти, який не може продовжити навчання без додаткової роботи з вивчення навчальної дисципліни.

Структурування дисципліни за видами навчальної роботи і оцінювання результатів навчання студентів денної форми здобуття освіти у семестрі

Аудиторна робота								Контрольні заходи	Семестровий контроль	
_____ семестр										
Лабораторні роботи №:								Тестовий контроль:	Іспит	Разом балів
1	2	3	4	5	6	7	8	T1-2		
Кількість балів за вид навчальної роботи (мінімум-максимум)										60-100*
3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	12-20	24-40	
24-40								12-20	24-40	

Примітки: *За набрану з будь-якого виду навчальної роботи з дисципліни кількість балів, нижче встановленого мінімуму, здобувач отримує незадовільну оцінку і має її перездати у встановлений викладачем (деканом) термін. Інституційна оцінка встановлюється відповідно до таблиці «Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС».

Оцінювання результатів захисту лабораторної роботи

Виконана й оформлена відповідно до встановлених Методичними рекомендаціями вимог лабораторна робота комплексно оцінюється викладачем при її захисті з урахуванням таких критеріїв: самостійність та правильність виконання; повнота відповіді та знання теоретичних основ проєктування, моделювання та функціонування спеціалізованих комп'ютерних систем; наявність завдання та мети роботи, опису програмно-апаратної частини (у вигляді програмного коду VHDL/Verilog, алгоритмів або блок-схем), опису архітектури спеціалізованої системи (у вигляді функціональних, структурних або принципів схем, топології друкованих плат, моделей системи у відповідних САПР та середовищах моделювання), схем потоків даних та обробки інформації, результатів проєктування та моделювання (у вигляді скріншотів роботи спеціалізованої системи або її симуляції, часових діаграм, наприклад vwf, графіків продуктивності, таблиць характеристик, аналізу ефективності та порівняння з аналогами, виявлених особливостей функціонування та шляхів оптимізації, обґрунтування архітектурних рішень та логіки роботи спеціалізованої комп'ютерної системи).

Результат виконання і захисту здобувачем вищої освіти кожної лабораторної роботи оцінюється відповідно до таблиці Критеріїв оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти.

У випадку виявлення здобувачем рівня знань, нижчого ніж 60 відсотків від максимального балу, встановленого Робочою програмою для кожної структурної одиниці, лабораторна робота йому **не зараховується** і для її захисту він має детальніше опрацювати матеріал з теми роботи, методику її виконання, виправити грубі помилки та повторно вийти на її захист у призначений для цього викладачем час.

Оцінювання результатів тестового контролю

Кожний з тестів, передбачених Робочою програмою, складається із 42 тестових завдань, кожне з яких є рівнозначним. Відповідно до таблиці структурування видів робіт за тестовий контроль здобувач залежно від кількості правильних відповідей може отримати від 12 до 20 балів.

Розподіл балів в залежності від наданих правильних відповідей на тестові завдання

Кількість правильних відповідей	1-25	26-27	28-29	30-31	32-33	34-35	36-37	38-39	40-41	42
Відсоток правильних відповідей	0-59	61-64	67-69	71-74	76-79	81-83	86-88	90-93	95-97	100
Кількість балів	-	12	13	14	15	16	17	18	19	20

На тестування відводиться 60 хвилин. Студент проходить тестування в он-лайн режимі у Модульному середовищі для навчання. Також, студент може проходити тестування письмово, записуючи правильні відповіді у талоні відповідей. При отриманні негативної оцінки тест слід перездати до терміну *наступного* контролю.

Оцінювання результатів підсумкового семестрового контролю (іспит)

Освітня програма передбачає підсумковий семестровий контроль з дисципліни у формі іспиту, завданням якого є системне й об'єктивне оцінювання як теоретичної, так і практичної підготовки здобувача з навчальної дисципліни. Складання іспиту відбувається за попередньо розробленими і затвердженими на засіданні кафедри білетами. Відповідно до цього в екзаменаційному білеті пропонується поєднання питань як теоретичного (в т.ч. у тестовій формі), так і практичного характеру.

Таблиця – Оцінювання результатів підсумкового семестрового контролю здобувачів денної форми навчання (40 балів для підсумкового контролю)

Види завдань	Для кожного окремого виду завдань		
	Мінімальний (достатній) бал (задовільно)	Потенційні позитивні бали* (середній бал) (добре)	Максимальний (високий) бал (відмінно)
Теоретичне питання № 1	3	4	5
Теоретичне питання № 2	3	4	5
Практичне завдання (проектування підсистеми пам'яті та буферизації даних у спеціалізованих комп'ютерних системах на ПЛІС)	18	24	30
Разом:	24		40

Примітка. *Позитивний бал за іспит, відмінний від мінімального (24 бали) та максимального (40 балів), знаходиться в межах 25-39 балів та розраховується як сума балів за усі структурні елементи (завдання) іспиту.

Для кожного окремого виду завдань підсумкового семестрового контролю застосовуються критерії оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти, наведені вище (Таблиця – Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувача вищої освіти).

Підсумкова семестрова оцінка за інституційною шкалою і шкалою ЄКТС визначається в автоматизованому режимі після внесення викладачем результатів оцінювання у балах з усіх видів навчальної роботи до електронного журналу. Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС наведені нижче у таблиці «Співвідношення».

Семестровий іспит виставляється, якщо загальна сума балів, яку набрав студент з дисципліни за результатами поточного контролю, знаходиться у межах від 60 до 100 балів. При цьому за інституційною шкалою ставиться оцінка «відмінно/добре/задовільно», а за шкалою ЄКТС – буквене позначення оцінки, що відповідає набраній студентом сумі балів відповідно до таблиці Співвідношення.

Таблиця – Співвідношення інституційної шкали оцінювання і шкали оцінювання ЄКТС

Оцінка ЄКТС	Рейтингова шкала балів	Інституційна оцінка (рівень досягнення здобувачем вищої освіти запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни)	
		Залік	Іспит/диференційований залік
A	90-100	Зараховано	Відмінно/Excellent – високий рівень досягнення запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни, що свідчить про безумовну готовність здобувача до подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом
B	83-89		Добре/Good – середній (максимально достатній) рівень досягнення запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни та готовності до подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом
C	73-82		
D	66-72		Задовільно/Satisfactory – Наявні мінімально достатні для подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом результати навчання з навчальної дисципліни
E	60-65		
FX	40-59	Незараховано	Незадовільно/Fail – Низка запланованих результатів навчання з навчальної дисципліни відсутня. Рівень набутих результатів навчання є недостатнім для подальшого навчання та/або професійної діяльності за фахом
F	0-39		Незадовільно/Fail – Результати навчання відсутні

10. Питання для самоконтролю результатів навчання

1. Що таке спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС) і чим вони відрізняються від універсальних?
2. Які фактори визначають стійкість комп'ютеризованої системи?
3. Поясніть роль потоків і станів у функціонуванні складних систем.
4. У чому полягає різниця між централізованими та розподіленими комп'ютерними системами?
5. Які основні етапи методології проектування комп'ютерних систем?
6. Що таке рівні комп'ютерної системи і навіщо вони потрібні?
7. Як класифікують спеціалізовані комп'ютерні системи за ієрархією?
8. Які сучасні тенденції розвитку архітектур СКС?
9. Опишіть архітектуру Processing-in-Memory (PIM) та її переваги.
10. Що таке Near-Data Computing і чим воно відрізняється від PIM?
11. У чому сутність chiplet-архітектури?
12. Чим відрізняється CPU від GPU у контексті паралельних обчислень?
13. Що таке embarrassingly parallel задачі й які приклади їх реалізації?
14. Які основні відмінності між TPU, NPU та GPU?
15. Опишіть принцип роботи цифрових сигнальних процесорів (DSP).
16. Які особливості мікроконтролерів у складі спеціалізованих систем?
17. Чим відрізняються системи реального часу від інших обчислювальних систем?
18. Які задачі вирішують одноплатні комп'ютери (SBC) у спеціалізованих системах?
19. Що таке мережеві процесори та де вони застосовуються?
20. Порівняйте квантові та нейроморфні процесори.
21. Які переваги та обмеження мають оптичні процесори?
22. Що таке ASIC і в яких випадках доцільно їх використовувати?
23. Які переваги FPGA у порівнянні з ASIC при проектуванні СКС?
24. Що таке системні об'єкти й системні функції в комп'ютеризованих системах?
25. Які характеристики визначають модель комп'ютеризованої системи?
26. Які системні характеристики процесора вивчаються під час аналізу СКС?
27. У чому полягає значення характеристик даних для моделювання систем?
28. Що таке кодові матриці дискретних базисів?
29. Які особливості має модель об'єктів управління?
30. Опишіть архітектуру TPU від Google.
31. Що таке FPGA і яке місце вони займають у проектуванні спеціалізованих систем?
32. Порівняйте FPGA з ASIC та CPU/GPU.
33. Які основні функціональні блоки складають FPGA?
34. Що таке логічний блок (CLB) у FPGA?
35. Як працюють таблиці пошуку (LUT) у FPGA?
36. Що таке автомат станів і для чого він використовується в СКС?
37. Поясніть принцип побудови SoC (System-on-Chip).
38. Які переваги має реалізація нейронних мереж на FPGA?
39. Які можливості надає середовище Quartus?
40. Які мови опису апаратури використовуються для FPGA?
41. Поясніть особливості VHDL у порівнянні з Verilog.
42. Що таке конвеєризація обчислень на FPGA?
43. Які підходи існують до оптимізації обчислювальних модулів на FPGA?
44. Опишіть процес реалізації UART-протоколу на FPGA.
45. Як реалізувати підсистему пам'яті на FPGA?
46. Які особливості має проектування контролера світлофора на Cyclone V?
47. Як реалізувати модуль для матричних обчислень на FPGA?
48. Що таке П-контролер і як його реалізувати на FPGA?
49. Які інструменти використовуються для проектування електронних схем СКС?
50. У чому різниця між структурною та поведінковою моделлю у VHDL?
51. Як побудувати похідні моделі на основі матричних моделей руху даних?
52. Що таке параметрична часова модель?
53. У чому сутність структурно-часової моделі?
54. Опишіть методологію побудови граф-алгоритмічної моделі.
55. Що таке багаторівнева матрична модель СКС?
56. Як описати цикли руху даних у багаторівневій системі?
57. Які закони економічної доцільності застосовуються до комп'ютерних систем?
58. У чому полягає закон Гроша?
59. Як застосовується закон фрактальності в аналізі СКС?
60. Які критерії визначають максимізацію прибутку при проектуванні СКС?

11. Навчально-методичне забезпечення

Освітній процес з дисципліни «Комп'ютерні та кіберфізичні системи» повністю і в достатній кількості забезпечений необхідною навчально-методичною літературою в модульному середовищі.

12. Матеріально-технічне та програмне забезпечення дисципліни (за потреби)

Інформаційна та комп'ютерна підтримка: ПК, програмована логічна інтегральна схема Cyclone V, одноплатні комп'ютерні системи Raspberry Pi, мікроконтролерні плати (ESP32, ESP8266), мобільні пристрої, датчики та виконавчі модулі, модулі реле, елементи комутації та живлення, проектор для демонстрацій.

Програмне забезпечення та сервіси: середовища для розробки та налагодження (Quartus, Wokwi), хмарні сервіси (Google Таблиці), офісні програми та доступ до мережі Інтернет.

13. Рекомендована література:

1. R. Kaur, A. Asad, F. Mohammadi. A Comprehensive Review of Processing-in-Memory Architectures for Deep Neural Networks. *Computers*, 2024, 13(7), 174.
2. Alsop J. et al Inclusive-PIM: Hardware-Software Co-design for Broad Acceleration on Commercial PIM Architectures // arXiv:2309.07984. 14 Sep 2023.
3. Nisan N., Schocken S. The Elements of Computing Systems, second edition: Building a Modern Computer from First Principles. 2nd Edition. The MIT Press, 2021. 344 p.
4. Asifuzzaman K. et al A survey on processing-in-memory techniques: Advances and challenges // *Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems*, Vol. 4, July 2023.
5. Villamizar V., Borra V., Li F. Building a fully digital controller with Altera Cyclone FPGA and Nios processor for induction heating application. *Electronics*. 2024
6. Ahmed H. O., Wyatt D. Adaptive Prognostic Malfunction Based Processor for Autonomous Landing Guidance Assistance System Using FPGA. // arXiv preprint. 2024.
7. Ederhion J. et al. Evolution, Challenges, and Optimization in Computer Architecture: The Role of Reconfigurable Systems // arXiv:2412.19234v1 [cs.AR]. 26 Dec 2024.
8. He X., Chen K.-Y., Feng S., Kim H.-S., Blaauw D., Dreslinski R., Mudge T. Squaring the circle: Executing Sparse Matrix Computations on FlexTPU—a TPU-like processor // *Proceedings of the 31st International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques (PACT)*. Chicago, IL, October 2022. P. 148-159.
9. Matthews S. J., Newhall T., Webb K. C. Dive into Systems. No Starch Press, 2022. 816 p. ISBN-10: 1718501366.
10. Главчев М. І. Спеціалізовані комп'ютерні системи [Електронний ресурс]: лекційний курс для студентів спец. 123 – "Комп'ютерна інженерія" усіх форм навчання: презентація / М. І. Главчев; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2024. – Електр. дані – 349 слайдів. URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/85571>
11. Lyulyava D., Duksin N., Duksina I., & Shchepukhin D. Organization of an automated design flow for FPGA and ASIC. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Manufacturing and Materials Applications (SUMMA)*, 2024, pp. 1107–1110. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SUMMA64428.2024.10803753>

14. Інформаційні ресурси

1. Модульне середовище для навчання. URL : <https://msn.khmnu.edu.ua/course/view.php?id=5247>
2. Електронна бібліотека університету. URL: <http://library.khmnu.edu.ua/>
3. Репозитарій ХНУ. URL : <https://elar.khmnu.edu.ua/home>

ТЕОРІЯ, ПРОЄКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Тип дисципліни	Обов'язкова
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Мова викладання	Українська
Семестр	Третій
Кількість призначених кредитів ЄКТС	5,0
Форми здобуття освіти, для яких викладається дисципліна	Очна (денна)

Результати навчання. Після вивчення дисципліни студент повинен: знати сучасні архітектури та тенденції розвитку спеціалізованих комп'ютерних систем; уміти проєктувати, досліджувати та моделювати їх програмно-апаратні комплекси; володіти методами аналізу й синтезу структур і моделей руху даних; застосовувати системи на кристалі та інші програмно-апаратні засоби для реалізації обчислювальних модулів, систем керування та вбудованих рішень; використовувати мови опису апаратури та САПР для створення схем і модулів спеціалізованих комп'ютерних систем; виконувати обчислювальні та експериментальні дослідження, інтерпретувати результати та обґрунтовувати ефективність розроблених рішень; реалізовувати захист спеціалізованих систем від кібератак та враховувати закони економічної доцільності під час проєктування.

Зміст навчальної дисципліни. Теоретичні основи та архітектури спеціалізованих комп'ютерних систем. Загальні принципи проєктування та методологія побудови комп'ютеризованих систем. Ієрархія та класифікація спеціалізованих систем, сучасні архітектурні рішення: центральні та графічні процесори, тензорні та нейронні процесори, DSP, мікроконтролери, системи реального часу, одноплатні комп'ютери, мережеві, квантові, нейроморфні та оптичні процесори, а також спеціалізовані ASIC та FPGA-рішення. Сучасні архітектури: Processing-in-Memory, Near-Data Computing, chiplet-архітектури. Архітектура Cyclone V SoC та її застосування у побудові програмно-апаратних комплексів. Методи формалізації характеристик системних об'єктів, глобальні та граф-алгоритмічні моделі спеціалізованих комп'ютерних систем. Моделі руху даних, структурно-часові та параметричні моделі. Закони економічної доцільності та критерії оптимізації. Проєктування і моделювання на FPGA: цифрові схеми, логічні вентиля, таблиці пошуку, логічні блоки, автомати станів. Реалізація програмно-апаратних систем на базі SoC, використання мов опису апаратури (VHDL, Verilog) та середовища Quartus. Методи дослідження спеціалізованих систем: апаратне та програмне моделювання, побудова і тестування підсистем пам'яті, буферизації, обчислювальних модулів, інтерфейсів обміну даними (UART та ін.). Моделювання продуктивності спеціалізованих систем з використанням XLA-компіляції; застосування САПР для створення принципових схем.

Пререквізити: Іноземна мова за професійним спрямуванням (ОЗП.01); Філософські проблеми наукового пізнання (ОЗП.02); Методологія та організація наукових досліджень (ОЗП.04); Комп'ютерні системи штучного інтелекту (ОФП.01); Технології проєктування програмних систем (ОФП.02); Технології проєктування програмних систем, курсовий проєкт (ОФП.03); Теорія і проєктування комп'ютерних та кіберфізичних систем і мере (ОФП.04); Теорія і технології проєктування спеціалізованих операційних систем (ОФП.07)

Кореквізити: Науково-дослідна практика (ОФП.09); Кваліфікаційна робота (ОФП.10)

Запланована навчальна діяльність: мінімальний обсяг навчальних занять в одному кредиті ЄКТС навчальної дисципліни для другого (магістерського) рівня вищої освіти за денною формою здобуття освіти становить 8 годин на 1 кредит ЄКТС.

Форми (методи) навчання: лекції (з використанням методів візуалізації, проблемного й інтерактивного навчання, мотиваційних прийомів, інформаційно-комунікаційних технологій); лабораторні заняття (з використанням методів комп'ютерного моделювання, методів проєктної діяльності, тренінгових вправ, аналіз проблемних ситуацій, пояснення, дискусія тощо); практичні заняття (майстер-клас, розв'язування ситуаційних завдань, презентацій, тренінгових вправ, дискусій, мозковий штурм); самостійна робота (опрацювання теоретичного матеріалу, підготовка до виконання та захисту лабораторних робіт, поточного та підсумкового контролю) з використанням інформаційно-комп'ютерних технологій та технологій дистанційного навчання.

Форми оцінювання результатів навчання: оцінювання лабораторних робіт; тестування.

Вид семестрового контролю: іспит

Навчальні ресурси:

1. R. Kaur, A. Asad, F. Mohammadi. A Comprehensive Review of Processing-in-Memory Architectures for Deep Neural Networks. Computers, 2024, 13(7), 174.
2. Alsop J. et al Inclusive-PIM: Hardware-Software Co-design for Broad Acceleration on Commercial PIM Architectures // arXiv:2309.07984. 14 Sep 2023.

3. Nisan N., Schocken S. The Elements of Computing Systems, second edition: Building a Modern Computer from First Principles. 2nd Edition. The MIT Press, 2021. 344 p.
4. Asifuzzaman K. et al A survey on processing-in-memory techniques: Advances and challenges // Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems, Vol. 4, July 2023.
5. Villamizar V., Borra V., Li F. Building a fully digital controller with Altera Cyclone FPGA and Nios processor for induction heating application. Electronics. 2024
6. Ahmed H. O., Wyatt D. Adaptive Prognostic Malfunction Based Processor for Autonomous Landing Guidance Assistance System Using FPGA. // arXiv preprint. 2024.
7. Ederhion J. et al. Evolution, Challenges, and Optimization in Computer Architecture: The Role of Reconfigurable Systems // arXiv:2412.19234v1 [cs.AR]. 26 Dec 2024.
8. Модульне середовище для навчання. Доступ до ресурсу: <https://msn.khmnu.edu.ua/course/view.php?id=5247>
9. Електронна бібліотека університету. Доступ до ресурсу: <http://library.khmnu.edu.ua/>

Викладач: канд. техн. наук, доцент Нічепорук А.О.