



ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ СИСТЕМ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти *Третій (доктор філософії)*

Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>123 Комп'ютерна інженерія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерна інженерія</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна), заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредитів 90 годин, лекцій 18 годин, практичні 18 годин Самостійна робота 54</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>Згідно розкладу на весняний семестр поточного навчального року за адресою https://schedule.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н, професор, Клименко Ірина Анатоліївна Практичні : д.т.н, професор, Клименко Ірина Анатоліївна klymenko.iryina@iit.kpi.ua</i>
Розміщення курсу	<i>На платформі дистанційного навчання «Сікорський»: https://classroom.google.com/c/NTczMjM1Njc0OTEw?cjc=77wukw5</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліна «Проектування високопродуктивних систем» спрямована на опанування студентами методів та засобів підвищення ефективності функціонування високопродуктивних комп'ютерних систем універсального та спеціального призначення, зокрема вбудованих систем, розроблення інтерфейсів та протоколів взаємодії їх компонентів, в тому числі, на основі технологій локальних та глобальних комп'ютерних мереж та Інтернет речей. Сучасний тренд дисципліни пов'язаний з парадигмою Інтернет речей (IoT) та технологіями Edge Computing, які є невід'ємною частиною екосистеми високопродуктивних обчислень і розподілених обчислювальних систем, зокрема в контексті обробки великих даних на границі мережі IoT, в тому числі з використанням засобів штучного інтелекту.

Метою викладання дисципліни «Проектування високопродуктивних систем» є надання студентам ґрунтовних знань і практичних навичок у створенні високопродуктивних комп'ютерних систем (HPC) для ефективної обробки великих обсягів даних та виконання складних обчислень. Це охоплює:

- вивчення теоретичних основ проектування і підвищення ефективності таких систем;
- освоєння способів оцінки продуктивності та техніко-економічних показників;
- розвиток навичок у розробці апаратного забезпечення та програмного середовища для HPC на сучасній елементній базі.

Предметом дисципліни «**Проектування високопродуктивних систем**» є опанування сучасних методів, технологій та архітектурних рішень для створення та підвищення ефективності високопродуктивних комп'ютерних систем (HPC). Вона охоплює аспекти побудови систем універсального та спеціалізованого призначення, а також принципи створення апаратних засобів і програмного забезпечення для обробки великих обсягів даних та виконання складних обчислень у реальному часі. Дисципліна також акцентує увагу на технологіях IoT та Edge Computing, інтеграції засобів штучного інтелекту для обробки даних на границі мережі IoT, що є важливою складовою сучасної екосистеми високопродуктивних обчислень та розподілених систем.

Здобувачі наукового ступеня доктора філософії після засвоєння вибіркової навчальної дисципліни мають набуті такі загальні та фахові компетентності:

ЗК4 - здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері комп'ютерної інженерії на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

ФК1 - здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у комп'ютерній інженерії та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з комп'ютерної інженерії та суміжних галузей.

ФК5 - здатність ефективно застосовувати методи аналізу, математичне моделювання, виконувати натурні та обчислювальні експерименти при проведенні наукових досліджень у сфері комп'ютерної інженерії.

ФК9 - здатність до використання традиційних та новітніх інформаційно-комунікаційних технологій, сучасних комп'ютерних систем, програмного забезпечення, засобів й наукового обладнання в комп'ютерній інженерії.

У відповідності до вищезазначеного, набуті загальні та фахові компетенції дадуть наступні результати навчання:

ПРН07 - Застосовувати загальні принципи та методи математики, інформатики та інших наук, а також сучасні методи та інструменти, цифрові технології та спеціалізоване 12 програмне забезпечення для провадження досліджень у сфері комп'ютерної інженерії.

ПРН11 - Здійснювати дослідження та проектування технічних та програмних складових високопродуктивних комп'ютерних систем на підставі знання тенденцій розвитку сучасних комп'ютерних систем.

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

Для успішного оволодіння дисципліною необхідні знання та навички в напрямках:

Архітектура комп'ютерних систем – розуміння основ роботи процесорів, багаторівневої пам'яті, шин і компонентів апаратної частини.

Математичні основи інформатики – зокрема, теорія алгоритмів, дискретна математика, комбінаторика та теорія ймовірностей, що використовуються в оптимізації обчислювальних процесів.

Програмування та розробка ПЗ для вбудованих систем – досвід роботи з мовами програмування C/C++, Python, а також знання основ розробки для систем реального часу та вбудованих платформ.

Основи операційних систем та управління процесами – знання про багатозадачність, розподіл ресурсів, управління пам'яттю, віртуалізацію, що важливо для налаштування та оптимізації HPC.

Паралельні та розподілені обчислення – досвід у програмуванні паралельних процесів, розподілених обчислювальних середовищ, зокрема, знання про технології MPI, OpenMP чи CUDA.

Основи мережових технологій та IoT – розуміння принципів передачі даних, протоколів зв'язку в мережах IoT та Edge Computing, що допоможе інтегрувати комп'ютерні системи з різними сенсорами та пристроями для обміну інформацією.

Пререквізити дисципліни – дисципліни ОНП «Іноземна мова для наукової діяльності» та «Організація науково-інноваційної діяльності в комп'ютерній інженерії».

Постреквізити дисципліни – «Тенденції розвитку сучасних комп'ютерних систем», підготовка до захисту дисертаційної роботи.

Компетентності, знання та вміння, отримані в рамках вивчення даної дисципліни, можуть бути застосовані для отримання обґрунтованих результатів досліджень та підвищення наукового рівня дисертаційних робіт.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Вступ .

Тема 1.1. Основні поняття та визначення. Тенденції розвитку сучасних НРС в умовах IV Індустріальної революції. Огляд основних понять і термінів, пов'язаних з високопродуктивними обчислювальними системами (НРС), та аналіз ключових тенденцій і викликів, що з'являються в умовах Четвертої індустріальної революції, зокрема автоматизація, цифровізація та використання штучного інтелекту.

Тема 1.2. Інтернет речей (IoT). Розвиток комунікаційної інфраструктури НРС з використанням технологій Інтернету речей. Вплив парадигми IoT на сучасні обчислювальні системи, розвиток інфраструктури для з'єднання пристроїв і сенсорів, інтеграція IoT з НРС для забезпечення ефективного збирання, обробки та аналізу даних в реальному часі.

Розділ 2. Основи продуктивності обчислювальних систем та мережного оточення

Тема 2.1. Основні концепції продуктивності обчислювальних систем: вимірювання та ключові метрики. Аналіз основних показників, таких як швидкодія, час відгуку, пропускна здатність та інші метрики.

Тема 2.2. Огляд компонентів сучасних обчислювальних систем (процесор, пам'ять, шини) та їх вплив на загальну продуктивність. Особливості багатоядерних та паралельних систем. Вивчення впливу основних апаратних компонентів на ефективність роботи системи, зокрема багатоядерності і паралелізму.

Тема 2.3. Вплив мережевої інфраструктури на швидкість передачі даних, пропускну здатність та загальну продуктивність. Оцінка впливу мережевої архітектури і мережових параметрів на продуктивність обчислень.

Тема 2.4. Методи та інструменти оцінки продуктивності: моніторинг та налагодження систем. Огляд інструментів і підходів до вимірювання продуктивності, моніторингу стану системи та усунення потенційних вузьких місць.

Тема 2.5. Вплив обробки великих даних на продуктивність обчислювальних систем і мереж. Дослідження викликів, пов'язаних з аналізом великих обсягів даних, і того, як це впливає на продуктивність системи.

Тема 2.6. Особливості роботи обчислювальних систем і мереж у задачах реального часу та їхній вплив на продуктивність. розгляд специфіки роботи систем, де потрібна мінімальна затримка і швидка реакція, а також вимог до продуктивності в умовах реального часу.

Розділ 3. Методи підвищення ефективності високопродуктивних систем

Тема 3.1. Методи та засоби вдосконалення архітектури високопродуктивних комп'ютерних систем (НРС). Інноваційні підходи до побудови архітектури НРС для підвищення ефективності.

Тема 3.2. Проектування спеціалізованих НРС на основі багатоядерних процесорів. Унікальні аспекти

розробки НРС, що використовують сучасні багатоядерні процесори.

Тема 3.3. Оптимізація взаємодії між компонентами НРС. Аналіз методів та засобів для підвищення ефективності комунікації в НРС-системах.

Тема 3.4. Розподіл задач між процесорами, оптимізація паралельних обчислень та багатопоточність. Техніки ефективного розподілу обчислень і підтримки багатопоточних процесів.

Тема 3.5. Підвищення надійності НРС. Методи та інструменти для забезпечення високої надійності та безперервності роботи НРС.

Тема 3.6. Вдосконалення мережевої інфраструктури із застосуванням технологій IoT. Інтеграція IoT в НРС для підвищення ефективності обміну даними.

Тема 3.7. Підходи до підвищення ефективності обчислювальних процесів безпосередньо на вузлах. Технологія Edge Computing для підвищення ефективності обчислень на вузлах НРС в екосистемі IoT.

Розділ 4. Методи проектування апаратних засобів НРС на основі технології SoC.

Тема 4.1. Використання апаратних прискорювачів на основі програмованих логічних матриць (FPGA) та спеціалізованих інтегральних схем (ASIC) – дослідження технологій FPGA та ASIC для застосування в спеціалізованих високопродуктивних обчисленнях.

Тема 4.2. Реконфігуровні комп'ютерні системи. Розгляд методів проектування НРС, які дозволяють динамічно змінювати конфігурацію апаратного забезпечення для адаптації до різних обчислювальних завдань.

Тема 4.3. Програмні та апаратні засоби багаторівневого розпаралелювання обчислень у НРС-системах на базі технології SoC. Аналіз засобів розпаралелювання обчислень на різних рівнях (процесорному, на рівні обчислювальних ядер тощо) у контексті SoC-технологій.

Розділ 5. Моделювання продуктивності НРС систем.

Тема 5.1. Цілі розробки моделей продуктивності – аналіз призначення та необхідності моделей продуктивності для оцінки ефективності високопродуктивних систем.

Тема 5.2. Методи створення моделей продуктивності для прогнозування поведінки системи. Розгляд підходів до побудови моделей, які передбачають реакцію системи на різні навантаження.

Тема 5.3. Оцінка впливу затримки та пропускну здатності мереж на продуктивність. Вплив мережевих характеристик на загальну ефективність НРС.

Тема 5.4. Імітаційне моделювання для оцінки продуктивності. Розгляд методів імітаційного моделювання для тестування та оцінки продуктивності системи.

Тема 5.5. Інструменти та фреймворки для імітаційного моделювання. Огляд популярних програмних засобів і фреймворків, які застосовуються для моделювання НРС-систем.

Тема 5.6. Застосування моделей для оптимізації продуктивності системи. Використання моделей продуктивності для вдосконалення роботи системи та покращення її ефективності. *CPN Tools*, програмне забезпечення для моделювання, симуляції та аналізу систем.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Кулаков, Ю. О. Комп'ютерні мережі [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Комп'ютерні системи та мережі» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія / Кулаков Ю. О. ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 18,3 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 247 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/51465>
2. Жураковський Б.Ю Технології створення інтернету речей. Комп'ютерний практикум. Навчальний посібник [Електронний ресурс] / Б. Ю. Жураковський, Н.В. Федорова, Є.В. Гаврилко, І. О. Зенів, // КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2021. – 128 с. Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/46169>

3. Таранюк В.А., Каплунов А.В., Писарчук О.А., Клименко І.А. Тестування та контроль якості (QA) вбудованих систем: лабораторний практикум. навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» / Електронні текстові дані (1 файл: 5.44 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 75 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/52162>.
4. Клименко І.А., Нікольський С.С. Progressive IoT platform based on edge computing technology. Вісник Хмельницького Національного Університету, серія: технічні науки. – 2023. – 4(323). – С. 211 – 217. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2023-323-4-211-217>
5. A. Haidai and I. Klymenko, "Method of Load Balancing in Distributed Three-Layer IoT Architecture", *Inf. Comput. and Intell. syst. j.*, no. 4, pp. 60–68, Oct. 2024. <https://doi.org/10.20535/2786-8729.4.2024.311595>
6. R. Serebriakov, V. . Tkachenko, and I. . Klymenko, "Integration of Blockchain Technology into the Internet of Things (Overview)", *Inf. Comput. and Intell. syst. j.*, no. 4, pp. 99–113, Oct. 2024. <https://doi.org/10.20535/2786-8729.4.2024.311745>
7. Клименко І.А. Методи та засоби підвищення ефективності обробки інформації в реконфігуровних комп'ютерних системах на базі ПЛІС. автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти / Клименко Ірина Анатоліївна. – Київ, 2017. – 50 с.

Додаткова література

1. Гайдай А.Р., Нікольський С.С., Ткаченко В.В., Клименко І.А. The architectural concept of the monitoring system on the basis on a neuron module iot data analytics. Interdepartmental scientific and technical journal «Adaptive automatic control systems». – 2022. – № 41. – pp. 111 – 123. <https://doi.org/10.20535/1560-8956.41.2022.271355>
2. Клименко І.А., Нікольський С.С. Вбудована IoT платформа для дистанційного керування дорожнім рухом в IoT інфраструктурі Smart City. Вимірювальна техніка та метрологія: міжвід. наук.-техніч. зб. – 2023. – 3(86). – С. 31 – 38. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2023.03.031>
3. Wei Yu, Fan Liang, Xiaofei He and all. A Survey on the Edge Computing for the Internet of Things, *IEEE, Special Section On Mobile Edge Computing, 2017*, - pp. 6900 – 6919. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2778504>, https://www.researchgate.net/publication/321383222_A_Survey_on_the_Edge_Computing_for_the_Internet_of_Things
4. Didier El Baz "IoT and the Need for High Performance Computing" Published in: 2014 International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things, IEEE, - 2015, <https://doi.org/10.1109/IKI.2014.8>, https://www.researchgate.net/publication/268870278_IoT_and_the_Need_for_High_Performance_Computing
5. Nios® II Processor Reference Guide (intel.com). – 2023. – Режим доступу: <https://www.intel.com/content/www/us/en/docs/programmable/683836/current/introduction.html>
6. Quartus II Handbook Version 13.1 [Електронний ресурс]. – Intel, 2013. Режим доступу: <https://www.intel.de/content/www/de/de/content-details/653796/quartus-ii-handbook-version-13-1.html>.

4.3. Інформаційні ресурси

1. Курс відеолекцій – <https://bbb.comsys.kpi.ua/rooms/iry-ibb-u2m-b8f/join>
2. Дистанційні курси на платформі дистанційного навчання «Сікорський» в середовищі Google Workspace for Education: Проектування високопродуктивних систем. <https://classroom.google.com/c/NTczMjM1Njc0OTew?cjc=77wukw5>

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Мета лабораторних робіт – придбання вмінь та навиків застосування на практиці принципів проектування та дослідження ефективності НРС та їх окремих функціональних вузлів. Для виконання лабораторних робіт використовуються системи автоматичного проектування. Тематика лабораторних робіт:

Лабораторна робота 1. Проектування ОС. Розробка протоколів синхронізації обміну даними між вузлами НРС. Дослідження відмовостійкості обчислювальної системи, що управляється потоком даних.

Лабораторна робота 2. Розроблення користувацьких програм для комунікації FPGA з вбудованим процесорним ядром ARM Cortex A9

Лабораторна робота 3. Програмування вбудованої системи на базі процесорного ядра NIOS II INTEL.

Лабораторна робота 4. Розроблення користувацьких програм для комунікації вузлів Інтернет речей на базі вбудованого процесорного ядра ARM Cortex Av7 (Cortex A9)

Лабораторна робота 5. Тестування мережного оточення вбудованої системи IoT

Лабораторна робота 6. Розроблення моделі системи IoT для розумного міста.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Види самостійної роботи (54 години):

- підготовка до аудиторних занять, (0,5 годин x 18 лекцій = 9 годин);
- підготовка та оброблення проведення розрахунків за даними, отриманими під час виконання лабораторної роботи, розв'язок практичних задач, вивчення літературних джерел за темою лабораторної роботи (18 годин);
- підготовка доповіді з результатами виконання лабораторної роботи, опрацювання літературних джерел (8 – 10 годин)
- підготовка до виконання поточного тесту (4 години);
- підготовка до іспиту (12 – 13 годин).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Для досягнення мети навчальної дисципліни слід зосередитись в лекційному матеріалі на методах дослідження НРС та їх компонентів. Особливу увагу необхідно приділити особливостям проектування комп'ютерних систем із застосуванням сучасної елементної бази, в тому числі, багатоядерних процесорних ядер та програмованих логічних інтегральних схем.

Для виконання лабораторної роботи та поточного тесту встановлюються дедлайни. Виконання лабораторної роботи в рамках встановлених термінів оцінюються додатковими бонусними балами (2 бали), виконання поза термінами унеможливають отримання бонусних балів.

Поточний тест виконується самостійно на виконання тесту встановлюються дедлайни, витримання яких оцінюються додатковими бонусними балами (2 бали). Поточний тест проводиться за лекційним матеріалом, включає матеріали лекцій і питання, які задані на самостійне вивчення. Поточний тест не перескладаються.

Виконання лабораторної роботи і презентація результатів лабораторної роботи є обов'язковими для допуску до екзамену. Для допуску до семестрового контролю студент може

отримати за виконання лабораторної роботи (від 30 до 50 балів) та за тест – від 6 до 10 балів. Таким чином мінімальна оцінка для допуску до семестрового контролю складає 36 балів, максимальна – 60 балів.

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

Поточний контроль:

Виконання та презентація за темою лабораторної роботи

Протягом семестру студенти виконують 1 лабораторну роботу. Задля формування індивідуальної траєкторії навчання з відповідністю до тематики наукових досліджень студентам пропонуються на вибір завдання до лабораторних робіт із запропонованого списку.

Максимальна кількість балів за кожну практичну роботу: 10 балів.

Бали нараховуються за:

- Виконання лабораторної роботи з реалізацією результатів у вигляді програмного або апаратного забезпечення – 30 балів,
 - опис архітектури системи – 6 балів,
 - формулювання задачі та завдання на розробку – 6 балів,
 - розроблення моделі оцінки продуктивності – 6 балів,
 - розрахунки продуктивності та ефективності розроблюваної системи – 6 балів,
 - висновки та оцінка результатів – 6 балів.
- Презентація або публікація статті : 20 балів.

Всього за лабораторну роботу (максимальна кількість балів) – 50 балів.

Поточний тести за темами лекційних занять

Лекційні заняття супроводжуються поточним тестом

Максимальна кількість балів за кожен експрес-тест: 10 балів.

Тест проводиться за допомогою електронного тестування в Google Form.

Календарний контроль:

Перший календарний контроль включає поточний тест, другий презентацію з результатами виконання лабораторної роботи або публікацію статті.

Семестровий контроль:

Семестровий контроль включає екзамен – 40 балів.

Розрахунок розміру шкали (R) рейтингу:

Семестровий контроль:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R = R_c + R_E,$$

де R_c – сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру (практичні, МКР), $R_c = 50 + 10 = 60$ балів;

R_E – ваговий бал екзамену, $R_E = 40$ балів.

Розмір рейтингової шкали з кредитного модуля складає:

$$R = R_c + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Календарна атестація студентів (на 8 та 14 тижнях семестрів) з дисципліни проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше **50%** від максимально можливого на час атестації, студент вважається задовільно атестованим. В іншому випадку в атестаційній відомості виставляється «не атестовано».

Екзамен проводиться у вигляді тесту в електронних формах, білет складається з тестових завдань та двох відкритих питань. Кожне відкрите питання завдання оцінюється 0 – 10 балів:

Критерії оцінювання відкритих питань екзаменаційної роботи:

10 – дана правильна та змістовна відповідь у термінах предметного середовища;

9 – дана змістовна відповідь у термінах предметного середовища, але з незначними помилками;
 8 - дана правильна але неповна відповідь у термінах предметного середовища запитання;
 7 - дана правильна але неповна відповідь у термінах предметного середовища запитання, наявні незначні помилки;
 6 – дана неповна відповідь у термінах предметного середовища з деякими помилками;
 0 – немає відповіді або відповідь неправильна.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено, д.т.н, доцент, професор кафедри ОТ Клименко Ірина Анатоліївна.

Ухвалено кафедрою обчислювальної техніки (протокол № 15 від 29.05.2024р.).

Погоджено методичною комісією ФІОТ (протокол № 10 від 21.06.2024 р.).