



ВІДМОВОСТІЙКІ БАГАТОПРОЦЕСОРНІ СИСТЕМИ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	121 Інженерія програмного забезпечення, 123 Комп'ютерна інженерія, 126 Інформаційні системи та технології
Освітня програма	Інженерія програмного забезпечення Комп'ютерна інженерія Інформаційні системи та технології
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна)
Рік підготовки, семестр	2 курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	150 годин. / 5 кредитів ЄКТС. Лекції: 18 год., лабораторні роботи: 18 год., самостійна робота: 114 год.
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Залік
Розклад занять	Згідно розкладу на весняний семестр поточного навчального року (rozklad.kpi.ua)
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лекції: к.т.н., доцент, Павловський Володимир Ілліч, 068-107-55-99 Лабораторні заняття: к.т.н., доцент, Павловський Володимир Ілліч, 068-107-55-99
Розміщення курсу	http://fpm.kpi.ua/archive/dir.do?sys_id=obj_14804

Програма навчальної дисципліни

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

Питання відмовостійкості багатопроцесорних систем (fault-tolerant system) стало актуальним з появою потужних бортових обчислювальних систем побудованих на базі мікропроцесорів та мікроконтролерів.

Особливо воно актуально для галузей, де помилка в роботі системи або тимчасової її простій (що становить часом секунди) обертаються більш ніж значними втратами, а іноді і жертвами. До таких галузей зазвичай відносяться всі галузі, де функціонують автономні і, водночас, складні та потужні об'єкти. Зокрема сюди відносяться авіація, судноплавство, автомобільний транспорт і багато інших.

Таким чином потреба в високонадійних безпечних системах зустрічається там, де мова йде про збої, що тягнуть за собою, катастрофічні наслідки різної природи.

Розробка ВБС або її відмовостійка експлуатація, повинні ґрунтуватися на знаннях і розумінні процесів функціонування відповідних об'єктів та тих видів відмов, ймовірність яких, за даних умов експлуатації пристрою, мають максимально велику ймовірність виникнення.

Основними принципами підвищення відмовостійкості систем є розбиття системи на окремі вузли, резервування та їх поєднання.

Розбиття системи може розглядатися як на апаратному, так і на програмному рівні. Однак при цьому слід особливу увагу приділяти взаємодії частин для забезпечення загальних функцій системи. Такий підхід при правильному проектуванні дозволяє ліквідувати негативний вплив відмови однієї частини системи на інші і продовжувати роботу зі зниженими ресурсами – продуктивності, числа каналів контролю параметрів, управління і регулювання.

Розбиття системи може розглядатися як на апаратному, так і на програмному рівні. Однак при цьому слід особливу увагу приділяти взаємодії частин для забезпечення загальних функцій системи.

На апаратному рівні додатково до розбиття на частини використовують принцип резервування: дублювання і навіть потроєння для найбільш відповідальних систем.

На програмному рівні рекомендується, а часто регламентується, використання принципу багатозадачності. Цьому відповідає використання так операційних систем реального часу. Зокрема це дозволяє проводити обробку одних і тих же даних різними програмами, порівнювати їх результати та виключати спотворення результатів.

Вивчення цієї дисципліни надає комплексне уявлення про різнобічні технології та засоби, що використовуються на кожному рівні проектування та реалізації ВБС і дозволяє достойно представляти себе на вкрай актуальному сегменті IT-ринку праці;

Спеціалісти в галузі аналізу, моделювання, проектування та реалізації ВБС користуються підвищеним попитом на ринку праці, а самі ВБС постійно розвиваються та оновлюються і вимагають від розробника володіння найбільш сучасними IT технологіями.

Метою дисципліни є формування у студентів комплексного уявлення про різнобічні технології та засоби, що використовуються на кожному рівні моделювання, проектування та реалізації ВБС та здатності проектувати і розробляти відмовостійкі багатопроцесорні систем.

Предмет навчальної дисципліни – архітектури і структури відмовостійких багатопроцесорні систем та способи та технічні рішення підвищення їх відмовостійкості.

Вивчення дисципліни "Відмовостійкі багатопроцесорні системи" сприяє формуванню у студентів наступних компетентностей.

1. Загальні компетентності:

- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері комп'ютерної інженерії.
- Здатність презентувати ідеї, інноваційні розробки і результати досліджень як в науковій так і в професійній спільноті.
- Здатність переосмислювати наявне та створювати нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі соціальні, наукові, культурні, етичні та інші проблеми.

2. Фахові компетентності, що узагальнені відповідно до освітніх програм за спеціальностями 121, 123 та 126:

- 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
- Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері комп'ютерній інженерії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
- Здатність отримувати нові наукові результати, які створюють нові знання та становлять оригінальний внесок у розвиток комп'ютерній інженерії та дотичних до неї міждисциплінарних напрямків.
- Здатність відстежувати тенденції розвитку комп'ютерній інженерії та критично переосмислювати наявні технології.

- Здатність до розроблення нових та вдосконалення існуючих моделей, методів, засобів, процесів у сфері комп'ютерній інженерії, які забезпечують розвиток або надають нові можливості технологіям розробки та супроводження комп'ютерних систем та засобів.
- Здатність до застосування сучасних методологій, методів та інструментів комп'ютерній інженерії в науково-педагогічній та науковій діяльності.
- Здатність проводити експериментальні дослідження з моделювання та оцінювання ефективності та безпечності комп'ютерних систем та засобів.

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

- Здійснювати дослідження та застосовувати сучасні інструменти і технології проектування технічних та програмних складових відмовостійких комп'ютерних систем, зокрема систем стійкі до відмов та системи безперервної готовності

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

Пререквізити:

Для успішного засвоєння дисципліни "Відмовостійкі багатопроцесорні системи" необхідно і достатньо мати ґрунтовні знання та вміння в межах Освітньо-професійної програми другого (магістерського) рівня вищої освіти "Комп'ютерні системи та мережі" чи "Системне програмування та спеціалізовані комп'ютерні системи". В тому числі:

- ґрунтовні знання та вміння в межах програми магістра Системне програмування та спеціалізовані комп'ютерні системи;
- знання та розуміння принципів та концепцій сучасних архітектур обчислювальних систем;
- знання та розуміння принципів, концепцій та технологій побудови багатопроцесорних обчислювальних систем;
- знання та розуміння принципів та функціонування операційних систем реального часу;
- знання та розуміння принципів, концепцій та технологій паралельної обробки даних;
- знання та розуміння принципів, концепцій та технологій компонентної організації обчислювальних систем.

Відповідно до освітньої програми необхідно попередньо мати базову математичну підготовку, володіти знаннями з курсів програмування, системне програмування, паралельне програмування, дискретна математика, комп'ютерна логіка, архітектура комп'ютерів

Постреквізити:

• Компетентності та результати навчання отримані в рамках вивчення дисципліни «Відмовостійкі багатопроцесорні системи», можуть бути застосовані для проведення наукових досліджень за темою дисертації, підвищення рівня обґрунтованості результатів досліджень та наукового рівня дисертаційної роботи, що в цілому дозволяє підвищити якість етапу підготовки до захисту дисертаційної роботи.

Дисципліна викладається на завершальному етапі підготовки.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ

Тема 1.1. Багатопроцесорні обчислювальні системи для критично важливих додатків

Тема 1.2. Бортові багатопроцесорні обчислювальні системи

Тема 1.3. Вбудовані багатопроцесорні обчислювальні системи

Тема 1.4. Обладнання телекомунікаційних систем

РОЗДІЛ 2. ПРИЧИНИ, ТИПИ І ВИДИ ВІДМОВ В БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМАХ

Тема 2.1. Причини відмов в багатопроцесорних системах

Тема 2.2. Типи і види відмов в багатопроцесорних системах

РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВІДМОВОСТІЙКИХ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ

Тема 3.1 Вимоги до конфігурації багатопроцесорних систем

Тема 3.2. Вимоги до системного програмного забезпечення багатопроцесорних систем

РОЗДІЛ 4. СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ

Тема 4.1. Пасивна відмовостійкість

Тема 4.2. Активна відмовостійкість

РОЗДІЛ 5. АРХІТЕКТУРИ ВІДМОВОСТІЙКИХ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ

Тема 5.1. Системи високої готовності (High Availability)

Тема 5.2. Системи еластичні до відмов (Fault Resiliency)

Тема 5.3. Системи стійкі до відмов (Fault Tolerance)

Тема 5.4. Системи безперервної готовності (Continuous Availability)

4. Навчальні матеріали та ресурси

4.1. Базова література:

1. Тарарака В. Архітектура комп'ютерних систем. Навчальний посібник. — Житомир : ЖДТУ, 2018. - с.383
2. Ясько, М.М. Навчальний посібник до вивчення курсів “Паралельна обробка даних” та “Мови обчислень та кластерні системи” [Текст] /М.М. Ясько. — Д.: РВВ ДНУ, 2010. — с. 76
3. Додонов О.Г. Введення в теорію живучості обчислювальних систем, Київ, Наукова думка, 1990. — с. 184.
4. Павловський В.І., Торгонський В.В., Аврамченко О.П., Еременко О.М. Мультипроцесорна система обробки та відображення первинної радіолокаційної інформації. Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. — Чернігів:ЧДТУ,2000. - №10.- С. 45-52
5. Павловський В.І., Роговенко А.І. Методи розробки процесорних вузлів, що інтегруються в програмовані логічні інтегральні схеми. Вісник Чернігівського державного технологічного університету: зб. — Чернігів:ЧДТУ,2002.-№15.— С.133-139
6. Павловський В.І., Роговенко А.І., Торгонський В.В. Особливості розробки процесорного ядра для ПЛІС. Вісник технологічного університету Поділля. - Хмельницький: ХмТУ, 2003.- №3.- Т.1.- С.96-99
7. O. Avramchenko, O. Kienko, V. Pavlovsky, V. Torgonsky/ Design of Multiprocessor Systems Base on PowerPC405 Processors Embedded into FPGA. Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application. Proceedings of the 2-nd International Conference ACSN-2005 (Lviv, Ukraine, September 21-23, 2005)- Lviv,2005.- P. 78-89
- 8.

4.2. Додаткова література

1. Null, Linda. Fundamentals of Computer Organization and Architecture (5th Edition). Burlington, Massachusetts: The Teachings of Jones and Bartlett. 2019. p. 280. ISBN 9781284123036
2. J. Henkel et al., “Reliable on-chip systems in the nano-era: Lessons learnt and future trends,” in Proc. 50th Annu. Design Autom. Conf., May 2013, pp. 1–10.
3. J. Henkel et al., “Design and architectures for dependable embedded systems,” in Proc. Int. Conf. Hardw. Softw. Codesign Syst. Synth., 2011, pp. 69–78.
4. M. Salehi, A. Ejlaei, and B. M. Al-Hashimi, “Two-phase low-energy Nmodular redundancy for hard real-time multi-core systems,” IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst., vol. 27, no. 5, pp. 1497–1510, May 2016.

Електронні ресурси:

1. Приклади відмовостійких обчислювальних комплексів. – Режим доступу: https://stud.com.ua/164272/informatika/prikladi_vidmovostiykih_obchislyvalnih_kompleksiv
2. Варіанти побудови резервованих обчислювальних комплексів. – Режим доступу: https://stud.com.ua/164273/informatika/varianti_pobudovi_rezervovanih_obchislyvalnih_kompleksiv#713
3. Web-портал ФПМ. Архів матеріалів. Тека "Павловський". – Режим доступу: http://fpm.kpi.ua/archive/dir.do?sys_id=obj_14804

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Назви розділів, тем	Кількість годин			
	Всього	У тому числі		
		Лекції	практичні заняття	СРС
РОЗДІЛ 1. ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДМОВОСТІЙКИХ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ Тема 1.1. Багатопроекторні обчислювальні системи для критично важливих додатків Тема 1.2. Бортові багатопроекторні обчислювальні системи Тема 1.3. Вбудовані багатопроекторні обчислювальні системи Тема 1.4. Обладнання телекомунікаційних систем	28	4	2	22
РОЗДІЛ 2. ПРИЧИНИ, ТИПИ І ВИДИ ВІДМОВ В БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМАХ Тема 2.1. Причини відмов в багатопроекторних системах Тема 2.2. Типи і види відмов в багатопроекторних системах	28	2	4	22
РОЗДІЛ 3. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВІДМОВОСТІЙКИХ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ Тема 3.1 Вимоги до конфігурації багатопроекторних систем Тема 3.2. Вимоги до системного програмного забезпечення багатопроекторних систем	28	4	2	22
РОЗДІЛ 4. СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ Тема 4.1. Пасивна відмовостійкість Тема 4.2. Активна відмовостійкість	30	4	4	22
РОЗДІЛ 5. АРХІТЕКТУРИ ВІДМОВОСТІЙКИХ БАГАТОПРОЦЕСОРНИХ СИСТЕМ Тема 5.1. Системи високої готовності (High Availability) Тема 5.2. Системи еластичні до відмов (Fault Resiliency) Тема 5.3. Системи стійкі до відмов (Fault Tolerance) Тема 5.4. Системи безперервної готовності (Continuous Availability)	36	6	4	26

5.1 Лекційні заняття

Матеріали для вивчення дисципліни розміщені в електронному вигляді на сайті факультету (http://fpm.kpi.ua/archive/dir.do?sys_id=obj_14804) та в середовищі «Електронний кампус». Контент доступний студенту із будь-якого місця в мережі Інтернет.

Лекційні заняття з дисципліни проводяться із використанням сучасних мультимедійних презентаційних технологій.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань	Кількість годин
1	Класифікація та основи побудови і функціонування багатопроцесорних систем.	2
2	Причини, типи і види відмов багатопроцесорних систем	2
3	Вимоги до відмовостійкості багатопроцесорних систем	2
4	Конфігурації відмовостійких багатопроцесорних систем для критично важливих управляючих, інформаційних та телекомунікаційних систем.	2
5	Способи реалізації пасивної відмовостійкості багатопроцесорних систем. Переваги та відмінності	2
6	Способи реалізації активної відмовостійкості багатопроцесорних систем. Переваги та відмінності	2
7	Системи стійкі до відмов (Fault Tolerance)	2
8	Методи забезпечення надійності та відмовостійкості систем паралельної обробки	2
9	Системи безперервної готовності (Continuous Availability)	2

5.2 Лабораторні роботи

№ з/п	Назва теми лабораторні роботи та перелік основних питань	Кількість годин
1	Моделювання багатопроцесорних обчислювальних систем з загальною та розподіленою пам'яттю Завдання: вибір та дослідження топології багатопроцесорної системи з загальною та локальною пам'яттю та способами її резервування	8
2	Моделювання багатопроцесорних обчислювальних систем з шинною та матричною комунікацією Завдання: вибір та дослідження топології багатопроцесорної системи з шинною та матричною комунікацією та способами їх резервування	10

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота передбачає підготовку до аудиторних занять, налаштування програмного середовища для виконання самостійних завдань.

До самостійної роботи студента відноситься виконання індивідуальних завдань з тематики, яка виносяться на лабораторні роботи, а також опрацювання теоретичного матеріалу за наданою літературою, у тому числі за темами, які вибрані для самостійного дослідження. Усі навчальні матеріали (презентації лабораторних занять, методичні вказівки до виконання лабораторних робіт) розміщені в електронному вигляді в e-mail груп, а також в середовищі «Електронний кампус».

№ з/п	Назва теми, яка виносяться на самостійне опрацювання та перелік основних питань
1	Причини, типи і види обробки даних

2	Відмовостійкість мультипроцесорних систем
3	Відмовостійкість багатопроцесорних кластерних систем
4	Відмовостійкість багатоядерних процесорів
5	Відмовостійкість мережевих багатопроцесорних систем
6	Відмовостійкість мультимедіа багатопроцесорних систем
7	Конфігурації відмовостійких багатопроцесорних систем високої готовності.

Навчальний контент доступний із будь-якого місця в мережі Інтернет. На самостійну роботу студент має витратити кількість годин, що співмірна із кількістю годин, проведених ним на аудиторних заняттях. За результатами самостійного опрацювання готується реферат.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Студент має вивчати дисципліну протягом другого семестру, дотримуючись календарного плану вивчення тем лекційного матеріалу та виконання лабораторних робіт.

Інклюзивне навчання. Засвоєння знань та умінь в ході вивчення дисципліни «Відмовостійкі багатопроцесорні системи» може бути доступним для більшості осіб з особливими освітніми потребами, окрім здобувачів з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

Усі завдання студент має виконувати самостійно і вчасно:

- відвідування лабораторних занять є обов'язковим;
- звіт з лабораторної роботи студент надсилає викладачу, який дає йому оцінку і за результатами обговорення виставляє залік;
- заохочувальні бали нараховуються за умови надання повноцінного звіту за кожен тиждень, що передує встановленому терміну здачі звіту;
- штрафні бали нараховуються за надання повноцінного звіту за кожен тиждень, що перевищує встановлений термін здачі звіту;

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

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. На першій атестації (8-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 23 балів (50 % від максимальної кількості балів, яку може отримати студент до першої атестації). На другій атестації (14-й тиждень) студент отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 46 балів (50 % від максимальної кількості балів, яку може отримати студент до другої атестації)

Семестровий контроль: залік.

Умови допуску до семестрового контролю: зарахування усіх лабораторних робіт

Залік (диференційований залік) — вид підсумкового контролю, при якому засвоєння студентом навчального матеріалу з дисципліни оцінюється на підставі результатів поточного контролю. Семестровий залік зазвичай не передбачає обов'язкової присутності студентів на заліковому заході.

Рейтингова оцінка за результатами вивчення дисципліни включає:

1. Бали за виконання та захист лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів).

Протягом семестру студенти виконують 2 лабораторні роботи (комп'ютерних практикуми).

Максимальна кількість балів за кожну лабораторну роботу: 46 балів.

Бали нараховуються за:

- якість виконання лабораторної роботи від 0 до 23 балів;
- відповідь під час захисту лабораторної роботи від 0 до 23 балів
- дострокове та своєчасне представлення роботи до захисту від 0 до 5 балів

- штрафні бали нараховуються за несвоєчасне представлення роботи до захисту від 1 до 3 балів

Всього (максимальна кількість балів) 46 балів

Критерії оцінювання якості виконання лабораторних робіт

- робота виконана якісно, в повному обсязі - 23 бали;
- робота виконана якісно, в повному обсязі, але має окремі недоліки - 20 балів;
- робота виконана в повному обсязі, але містить незначні помилки - 15 балів;
- робота виконана не в повному обсязі, або містить суттєві помилки - 0 балів.

Критерії оцінювання відповіді на питання:

- відповідь повна, добре аргументована - 23 бали;
- відповідь в цілому вірна, але має недоліки - 20 балів;
- відповідь має незначні помилки - 15 балів;
- у відповіді є суттєві помилки - 8 балів;
- відповідь невірна або немає відповіді - 0 балів.

Критерії оцінювання своєчасності представлення лабораторної роботи до захисту:

- робота представлена до захисту раніше ніж за тиждень до вказаного терміну – 5 балів;
- робота представлена до захисту за тиждень до вказаного терміну – 3 бали;
- робота представлена до захисту у вказаний термін - 0 балів;
- робота представлена до захисту через 1 тиждень після вказаного терміну – мінус 1 бал;
- робота представлена до захисту більш ніж через 1 тиждень після вказаного терміну – мінус 3 бали.

2. Максимальна кількість балів за виконання та захист лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів):

$$46 \text{ балів} \times 2 = 92 \text{ бали}$$

3. Протягом семестру на лекціях відбувається опитування за темою поточного заняття. Максимальна кількість балів за опитування, яку можна отримати протягом семестру: 8 балів.

4. Рейтингова шкала з дисципліни дорівнює:

$$R = R_c = 92 \text{ балів} + 8 \text{ балів} = 100 \text{ балів}$$

За семестрового рейтингу (R_c) не менше 60 балів та зарахування усіх лабораторних робіт аспірант отримує залік «автоматом» відповідно до таблиці (Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою).

З аспірантами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі проводиться семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи (оцінюється у 100 балів). Попередній рейтинг скасовується («жорстка» РСО) і до залікової відомості заносяться бали за залікову контрольну роботу.

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

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *можливе зарахування однієї лабораторної роботи при наявності сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент, к.т.н., доцент ПАВЛОВСЬКИЙ Володимир Ілліч

Ухвалено кафедрою СПІСКС (протокол № 6 від 28/01/2025)

Погоджено Методичною комісією факультету інформатики та обчислювальної техніки (протокол № 8 від 03/02/2025)