



Програмне забезпечення розподілених операційних систем реального часу

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>12 Інформаційні технології</i>
Спеціальність	<i>123 Комп'ютерна інженерія</i>
Освітня програма	Програмне забезпечення розподілених операційних систем реального часу
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин/ 4 кредити</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/Модульна контрольна робота/Рорахунково-графічна робота</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к. ф.-м. н., д.п.н., проф. Петро Малезик</i> , malezhyk.petro@iill.kpi.ua
Розміщення курсу	Google Classroom, на кафедральній системі дистанційного навчання https://scs-kpi.pp.ua/

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна " **Програмне забезпечення розподілених операційних систем реального часу**" спрямована на вивчення теоретичних та методологічних основ розроблення програмного забезпечення розподілених операційних систем реального часу, оволодіння інструментальними засобами для створення та використання системного програмного забезпечення і відповідних програмних бібліотек.

Метою кредитного модуля є формування у студентів здатності створювати різноманітні інформаційні моделі предметних галузей які володіють методами побудови оптимальних систем обробки програмне забезпечення розподілених систем, що складаються з елементів в об'єднаних в мережу і виконують завдання в реальному часі.

Предмет навчальної дисципліни – методологія розроблення та впровадження програмного забезпечення для розподілених систем реального часу з використанням методу висхідного проектування, побудова з нуля експериментального ядра розподіленої операційної системи реального часу з розкриттям у процесі розроблення всіх необхідних деталей.

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

Пререквізити - студент повинен мати базові знання з таких дисциплін, як — «Архітектура комп'ютерів», «Комп'ютерна схемотехніка», «Системне програмування», «Паралельне програмування».

Постреквізити - Після проходження дисципліни студенти зможуть використати отримані знання при вивченні наступних дисциплін - «Комп'ютерні системи штучного інтелекту», «Паралельні та розподілені обчислення».

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Розподілені операційні системи реального часу і проміжне програмне забезпечення.

Тема 2. Зв'язок у реальному часі. Трафік у реальному часі.

Тема 3. Проблеми в розподілених системах реального часу з вбудованими елементами.

Тема 4. Особливості операційних систем реального часу (ОСРЧ). Огляд ОСРЧ.

Тема 5. Управління завданнями в ОСРЧ. Синхронізація задач. Міжпроцесорна взаємодія в ОС GNU Linux.

Тема 6. Керування пам'яттю в операційних системах реального часу.

Тема 7. Керування введенням-виведенням в операційних системах реального часу.

Тема 8. Проектування експериментального розподіленого ядра реального часу. Стратегія дизайну. Функції ядра.

Тема 9. Проміжне програмне забезпечення реального часу.

Тема 10. Синхронізація в операційних системах реального часу.

Тема 11. Інтерфейс транспортного рівня. Вибір лідера в кільці.

Тема 12. Планування одно процесорної незалежної задачі.

Тема 13. Політики планування в операційних системах реального часу.

Тема 14. Пріоритетне та непріоритетне планування в операційних системах реального часу.

Тема 15. Статичне та динамічне планування в операційних системах реального часу.

Тема 16. Таксономія алгоритмів планування в реальному часі.

Тема 17. Планування багатопроцесорних розподілених задач реального часу.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Комп'ютерні системи реального часу, навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»/ В. Г. Зайцев, Є. І. Цибаєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: 4 Мбайт). - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 162 с.
2. Зайцев, В. Г. Операційні системи : навчальний посібник для студентів спеціальності 123

«Комп'ютерна інженерія» / В. Г. Зайцев, І. П. Дробязко ; . – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 240 с.

3. Л. О. Левченко, Н. Г. Кучук, Ю. А. Тарнавський, В. П. Колумбет ; КПІ ім. Ігоря Сікорського.. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 497 с.

4. Практикум з Системного програмного забезпечення. [навчальний посібник] / В.В. Смолій В.В., Савицька Я.А., Шкарупило В.В., Чичикало Н.І. (Перевидання) // -К.:НУБіП України, 2020.- 265с.

5. 1. Панченко В.І. Системне програмне забезпечення. Програмування системних механізмів ОС. Навчальний посібник/ В.І. Панченко, О.В. Коломійцев,С.Г. Межеріцький–Харків:НТУ "ХПІ", 2024. – 327 с.

6. Навчальний посібник «Системне програмне забезпечення та ОС реального часу» / уклад.: І.Д. Яковлева, І.Д. Лісовенко, Чернівці: ЧНУ, 2022. 180 с. (електронне видання)

Допоміжна література

7. Введення до операційних систем. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Спеціалізовані комп'ютерні системи та системне програмування» спец. F7 Комп'ютерна інженерія / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: І. П. Дробязко, П. А. Сергієнко. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 126 с.

8. Малежик М.П., Малежик П.М., Майданюк І.В., Франчук В.М. Вступ до операційних систем: навчально-методичний посібник / П.М. Малежик, М.П. Малежик, І.В. Майданюк, В.М. Франчук – Київ. НПУ імені М.П. Драгоманова,

9. Tanenbaum A. S., van Steen M. Distributed Systems: Principles and Paradigms. 3rd ed. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. 496 p.

10. Barry R. Mastering the FreeRTOS Real Time Kernel: A Hands-On Tutorial Guide. Real Time Engineers Ltd., 2016. 400 p.

11. QNX Neutrino RTOS: System Architecture Guide / BlackBerry QNX. 2026. URL: qnx.com

12. FreeRTOS Reference Manual / Real Time Engineers Ltd. 2026. URL: freertos.org (дата

13. VxWorks Kernel Programmer's Guide / Wind River Systems. 2025. URL: windriver.com

14. ARM TrustZone Technology for ARMv8-M Architecture / ARM Developer. 2025. URL: arm.com

15.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальний контент дисципліни складається з 18 лекційних занять по 2 години та 9 лабораторних занять по 2 години. Лекції по дисципліні проводяться із використанням сучасних мультимедійних презентаційних технологій.

Лекційні заняття

Таблиця 1. Теми лекційних занять

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Вступ до розподілених ОСРЧ. Визначення, класифікація та вимоги. Концепція жорсткого (Hard) та м'якого (Soft) реального часу.
2	Архітектурні моделі розподілених систем. Мікроядерна архітектура (Microkernel) та її переваги для забезпечення детермінізму.
3	Концепція часу в розподілених середовищах. Фізичний та логічний час. Проблема

	неузгодженості годинників.
4	Алгоритми синхронізації фізичних годинників. Метод Крістіана, алгоритм Берклі та протокол NTP
5	Логічний час та впорядкування подій. Послідовні годинники Лампорта. Векторні годинники.
6	Класичні алгоритми планування в ОСРЧ. Планування з фіксованими пріоритетами (RM) та динамічними пріоритетами (EDF).
7	Розподілене планування завдань. Статичне закріплення завдань за вузлами та динамічне балансування навантаження в реальному часі.
8	Проблема інверсії пріоритетів. Протокол успадкування пріоритетів (PIP) та протокол пріоритетної стелі (PCP) у розподілених системах.
9	Міжпроцесна комунікація (IPC). Передача повідомлень, синхронна та асинхронна взаємодія, локальні та розподілені черги.
10	Віддалений виклик процедур (RPC) та методів (RMI). Оптимізація часу доставки та мінімізація затримок (jitter).
11	Розподілені адресні простори. Управління пам'яттю з гарантованим часом доступу. Захист пам'яті.
12	Мережеві протоколи для систем реального часу. Аналіз детермінізму в Industrial Ethernet, CAN-bus, EtherCAT та TSN (Time-Sensitive Networking).
13	Розподілені файлові системи для ОСРЧ. Архітектура, організація доступу та архівація поточкових даних.
14	Відмовостійкість та надійність. Моделі відмов, реплікація даних та процесів (активна та пасивна).
15	Механізми відновлення після збоїв. Створення контрольних точок (checkpointing) та логування в реальному часі.
16	Безпека та захист даних. Автентифікація, шифрування та контроль доступу в ізольованих і відкритих розподілених мережах.
17	Комерційні розподілені ОСРЧ. Архітектура, механізми IPC та інструменти розробки в QNX Neutrino та VxWorks.
18	Відкриті та вбудовані ОСРЧ. Особливості застосування FreeRTOS та RTEMS у розподілених системах Інтернету речей (IoT).

Лабораторні роботи:

Таблиця 2. Тематика лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	Створення завдань та дослідження детермінізму планувальника.
2	Синхронізація годинників та робота з таймерами реального часу.
3	Дослідження та вирішення проблеми інверсії пріоритетів.
4	Локальна та мережева передача повідомлень в архітектурі QNX (MsgSend,

	<i>MsgReceive).</i>
5	<i>Реалізація віддаленого виклику процедур (RPC).</i>
6	<i>Обмін даними у реальному часі через шину CAN або протокол UDP</i>
7	<i>Розробка відмової стійкої системи з пасивною реплікацією</i>
8	<i>Організація розподіленого збереження даних (Резервне копіювання та Логування).</i>

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Таблиця 3. Питання, які виносяться на самостійне опрацювання

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Стандартизація інтерфейсів ОСРЧ. Вивчення стандарту POSIX (зокрема POSIX.1b та POSIX.1c) для забезпечення переносності коду між комерційними та відкритими системами реального часу.
2	❑ Високоточна синхронізація у локальних мережах. Дослідження протоколу PTP (Precision Time Protocol, IEEE 1588) та його переваг над NTP у розподілених промислових системах. ❑
3	Логічний час у розподілених базах даних. Практичне застосування векторних годинників для виявлення конфліктів та порушень причинно-наслідкових зв'язків (causality) при збереженні даних реального часу.
4	Планування аперіодичних та спорадичних завдань. Вивчення механізмів обслуговування випадкових подій у системах жорсткого реального часу (алгоритми Deferrable Server та Sporadic Server).
5	Дослідження аномалій Річарда (Richard's anomalies) та випадків, коли збільшення кількості процесорів або зменшення часу виконання завдань погіршує роботу системи.
6	Оптимізація IPC через механізми Zero-copy. Архітектура передачі повідомлень без додаткового копіювання даних у пам'яті за участю центрального процесора.
7	Динамічне виділення пам'яті в ОСРЧ. Чому стандартний malloc є недетермінованим. Вивчення та аналіз алгоритму TLSF (Two-Level Segregated Fit) для вбудованих систем.
8	Порівняльний аналіз промислових шин даних. Дослідження та порівняння протоколів CAN-bus, EtherCAT та PROFINET за критеріями джиттеру та пропускну здатності.
9	Розподілений консенсус в умовах часових обмежень. Адаптація класичних алгоритмів консенсусу (Raft, Paxos) для бездротових сенсорних мереж (WSN) та Інтернету речей (IoT).
10	Гіпервізори реального часу. Використання апаратної ізоляції (наприклад, ARM TrustZone, QNX Hypervisor чи Jailhouse) для паралельного запуску ОСРЧ та Linux/Android на одному процесорі.
11	Стандарти безпеки та сертифікації ОСРЧ. Ознайомлення з галузевими стандартами надійності програмного забезпечення: DO-178C (авіоніка) та ISO 26262 (автомобільна промисловість).
12	Специфіка кібератак на розподілені ОСРЧ. Аналіз вразливостей: атаки типу "відмова в

	обслуговуванні" (DoS) на черги повідомлень, підміна пакетів у TSN-мережах та штучний дрейф часу.
--	--

У процесі виконання індивідуальних завдань студенти повинні закріплювати знання, отримані під час лекцій та самостійної роботи, самостійно вивчати визначені теми, поглиблювати свої знання для подальшого навчання.

У якості індивідуальних завдань можуть розроблятися окремі питання навчальних тем, огляди специфічних методів моделювання та інше.

Самостійна робота студентів полягає в наступному:

- підготовці до лекційних занять по вивченню попереднього лекційного матеріалу;
- виконанням лекційних завдань на СРС;
- підготовки до лабораторних робіт з вивченням теорії лабораторного заняття з усною відповіддю на наведені питання розділу;
- виконанням з оформленням на кожне лабораторне заняття протоколу по попередній темі.

Контроль знання на лабораторних заняттях здійснюється шляхом перевірки домашніх завдань, опитування, а також через виконання модульної контрольної роботи.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

- **Академічна доброчесність.** Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.
- **Норми етичної поведінки.** Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.
- **Навчання іноземною мовою.** У ході виконання завдань студентам може бути рекомендовано звернутися до англomовних джерел.

Всі студенти повинні відвідувати лекційні та лабораторні заняття, на яких потрібно активно працювати над засвоєнням матеріалу, що вивчається. За об'єктивних причин (наприклад - хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись в он-лайн формі індивідуально за погодженням із керівником курсу.

Всі індивідуальні лабораторні роботи потрібно розрахувати і у вигляді окремого файлу надати викладачеві на наступному після видачі лабораторному занятті. Практичні результати виконання лабораторної роботи потрібно підтвердити знанням теоретичного матеріалу за темою при захисті.

Політика щодо дедлайнів та перескладання:

- Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку. Перескладання модулів відбувається із дозволу деканату за наявності поважних причин (наприклад, лікування).

Політика щодо академічної доброчесності:

- Усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 20%. Списування під час контрольних робіт заборонені (в т. ч. із використанням мобільних пристроїв).

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

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист 8 лабораторних робіт;
- оцінка модульної контрольної роботи;
- виконання розрахунково-графічної роботи.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- виконання та захист 8 лабораторних робіт;
- виконання розрахунково-графічної роботи за індивідуальним варіантом;
- участь студента на етапі підготовки та виконання залікового завдання.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 8. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи заняттях дорівнює $8 \times 8 = 64$ балів.

Критерії оцінювання за кожен етап:

- підготовка роботи – 5 балів
- демонстрація виконання роботи без зауважень – 3 бали
- відповіді на запитання – 2 бала.

2. Модульна контрольна робота

Ваговий бал – 12.

3. Розрахунково-графічна робота

Ваговий бал – 24. Максимальна кількість балів за контрольну роботу дорівнює 24 балів.

Критерії оцінювання:

- правильність вибору методу вирішення задачі моделювання – 8 бали
- правильність побудови алгоритму вирішення задачі моделювання – 10 бали
- правильність роботи програмної реалізації – 6 бали

Штрафні та заохочувальні бали за:

- несвоєчасне виконання та захист лабораторної роботи – 1 бал (максимальні штрафні бали $1 \text{ бал} \times 4 = 4$ балів);
- заохочувальні бали: 5 балів;

Розмір шкали рейтингу $R = 100$ балів.

- Розмір стартової шкали $RC = 59$ балів.
- Розмір залікової роботи $R3 = 31$ балів.
- Розмір заохочувальних балів $RS = 10$ балів.

Умови позитивної проміжної атестації

- Для отримання “зараховано” з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент матиме не менше ніж 21 бал (за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів “ідеальний” студент має отримати 21 бали).
- Для отримання “зараховано” з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент матиме не менше ніж 42 бали (за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів “ідеальний” студент має отримати 42 балів).

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

<i>Не виконані умови допуску</i>	<i>Не допущено</i>
----------------------------------	--------------------

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- під час навчання та для взаємодії зі студентами використовуються сучасні інформаційно-комунікаційні та мережеві технології для вирішення навчальних завдань;
- за наявності у здобувача сертифікату про проходження курсу, який охоплює одну або більше тем лабораторних робіт в межах даного курсу на одній з освітніх платформ – такі лабораторні роботи можуть бути зараховані викладачем як частина інформальної освіти.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено проф. к., ф.-м.н., д.п.н проф., Петро МАЛЕЖИК

Ухвалено кафедрою СП і СКС (протокол № 9 від 27.01.2026 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету ПМ (протокол № 7 від 23.02.2026 р.)