МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної роботи

_____ Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Вбудовувані системи на основі Linux

LINUX-BASED EMBEDDED SYSTEMS

рівень вищої освіти другий (магістерський)
перший (бакалаврський) / другий (магістерський)

тип дисципліни вибіркова
обов'язкова/вибіркова

мова(и) викладання українська
українська/англійська

Миколаїв – 2024

Робоча програма навчальної дисципліни *«ВБУДОВУВАНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ LINUX»* є **вибірковим** компонентом професійної підготовки здобувачів вищої освіти у Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова для створення індивідуальної освітньої траєкторії навчання.

"15" 01 2024 року. – 15 с.

Розробник: Дьяконов О.С., к.т.н., доцент

Проект робочої програми навчальної дисципліни «*ВБУДОВУВАНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ LINUX*» розглянуто на засіданні кафедри програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Протокол №9 від «25» 01 2024 р.
Завідувач кафедри ПЕЕТ _____ д.т.н., проф. Рябенький В.М.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «*ВБУДОВУВАНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ LINUX*» розглянуто Методичною радою Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки
Протокол №7 від «16» 02 2024 р.
Голова _____ к.т.н., доц. Жук Д.О.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «*ВБУДОВУВАНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ LINUX*» погоджено з навчальним відділом
Начальник відділу _____ к.т.н., доц. Лабарткава А.В.

Робоча програма навчальної дисципліни «*ВБУДОВУВАНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ LINUX*» затверджена Навчально-методичною радою НУК
Протокол №1 від «21» 02 2024 р.
Голова НМР НУК _____

© НУК, 2024

ЗМІСТ

Стор.

Вступ 4
1. Опис навчальної дисципліни 5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни 6
3. Передумови для вивчення дисципліни 6
4. Очікувані результати навчання 6
5. Програма навчальної дисципліни 7
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методів їх демонстрування 10
7. Форми поточного та підсумкового контролю 11
8. Критерії оцінювання результатів навчання 14
9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна 14
10. Рекомендовані джерела інформації 15

ВСТУП

Анотація

Курс призначений для отримання слухачами необхідних практичних і теоретичних знань про розробку програмного забезпечення для сучасних вбудованих систем на основі операційної системи Linux. Основний акцент в курсі робиться на вивченні таких питань: як сконструювати вбудовану Linux-систему, як використовувати набори інструментів, початкові завантажувачі, ядро Linux та як сконфігурувати кореневу файлову систему. Розглядаються питання відлагодження та оптимізації платформи, а також виконання застосунків у реальному часі.

Ключові слова: вбудовувані системи, операційні системи, Linux, системне програмування.

Abstract

The course is designed for students to acquire the necessary practical and theoretical knowledge about software development for modern embedded systems based on the Linux operating system. The course focuses on how to build an embedded Linux system, how to use toolkits, bootloaders, the Linux kernel, and how to configure the root file system. Debugging and optimization of the platform, as well as the execution of applications in real time, are considered.

Keywords: embedded systems, operating systems, Linux, system programming.

1. Опис навчальної дисципліни

<table>
<tr><td rowspan="2">Найменування показників</td><td rowspan="2">Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень</td><td colspan="2">Характеристика навчальної дисципліни</td></tr>
<tr><td>денна форма навчання</td><td>заочна форма навчання</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Кількість кредитів – 5</td><td rowspan="3">Галузь знань -</td><td rowspan="2">Вибіркова</td><td rowspan="2">Вибіркова</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Модулів – 1</td></tr>
<tr><td colspan="2">Рік підготовки:</td></tr>
<tr><td>Змістових модулів – 2</td><td>1-й</td><td>1-й</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Електронний адрес РПНД на сайті Університету</td><td rowspan="8">Спеціальність –

Освітня програма –</td><td colspan="2">Семестр</td></tr>
<tr><td>2-й</td><td>2-й</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Індивідуальне науково-дослідне завдання: –</td><td colspan="2">Лекцій</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість годин: 150</td><td colspan="2">Практичні</td></tr>
<tr><td>30 год.</td><td>10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Лабораторні</td></tr>
<tr><td>–</td><td>–</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Тижневих годин для денної форми навчання:
аудиторних – 4;

самостійної роботи студента – 6;</td><td rowspan="6">Освітній рівень:
другий (магістерський)</td><td colspan="2">Самостійна робота</td></tr>
<tr><td>90 год.</td><td>130 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Індивідуальні завдання: не передбачено</td></tr>
<tr><td colspan="2">Вид контролю: залік</td></tr>
<tr><td colspan="2">Форма контролю: комбінована</td></tr>
</table>

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «*ВБУДОВУВАНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ LINUX*» є формування цілісного уявлення за сучасними технологіями побудови вбудованих мікропроцесорних систем з операційними системами сімейства Linux.

Елементи компетентностей, які можуть набути студенти в результаті вивчення дисципліни:

– знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;

– навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;

– здатність застосовувати відповідні математичні, наукові й технічні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, навички роботи з комп'ютерними мережами, базами даних та Інтернет-ресурсами для вирішення інженерних задач в галузі електроніки;

– здатність вирішувати інженерні задачі в галузі електроніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації електронних приладів, пристроїв та систем.

3. Передумови для вивчення дисципліни

—

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

– визначати напрямки модернізації технологічних аспектів виробництва, впровадження новітніх інформаційних та комунікаційних технологій;

– впроваджувати проектні рішення у виробництво, корегувати, диспетчеризувати та модернізувати розробки.

5. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Конфігурування вбудованої операційної системи Linux.

Тема 1.Набір інструментів, завантажувачі, конфігурація ядра та кореневої файлової системи.

Лекція 1. Обладнання для вбудованих систем. [1] с. 25-35.

Лекція 2. Робота з набором інструментів. Крос-компіляція. [1] с. 36-58.

Лекція 3. Початкові завантажувачі. Перехід від початкового завантажувальника до ядра. Вибір початкового завантажувача. [1] с. 60-84.

Лекція 4. Портування та конфігурування ядра. [1] с. 86-107.

Лекція 5. Побудова кореневої файлової системи. [1] с. 109-138.

Тема 2. Вибір флеш-накопичувачів та питання розробки драйверів.

Лекція 6. Вибір системи зберігання. Налаштування образів операційної системи. [1] с. 139-162.

Лекція 7. Вибір стратегії зберігання. Файлові системи для флеш-пам’яті. [1] с. 164-198.

Лекція 8. Введення в драйвери пристроїв. [1] с. 199-226.

Змістовий модуль 2. Розгортання операційної систем на вбудованому пристрої.

Тема 3. Ініціалізація та робота системи, керування пам’яттю, питання відлагодження системи.

Лекція 9. Ініціалізація системи. Програма init. [1] с. 228-243.

Лекція 10. Процеси та потоки. [1] с. 244-267.

Лекція 11. Керування пам’яттю. [1] с. 268-285.

Лекція 12. Відлагодження у GDB. [1] с. 287-309.

Тема 4. Робота вбудованої системи у реальному часі.

Лекція 13. Профілювання та трасування. [1] с. 310-333.

Лекція 14. Програмування у режимі реального часу. [1] с. 335-346.

Лекція 15. Вимірювання затримок планування. [1] с. 346-353.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин							
	денна форма				Заочна форма			
	усього	у тому числі			усього	у тому числі		
		лек.	пр.	с.р.		лек.	пр.	с.р.
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Модуль 1								
Змістовий модуль 1. Конфігурування вбудованої операційної системи Linux								
Тема 1. Набір інструментів, завантажувачі, конфігурація ядра та кореневої файлової системи	38	10	8	20	38	3	3	32
Тема 2. Вибір флеш-накопичувачів та питання розробки драйверів.	37	6	8	23	37	2	2	33
Разом за змістовим модулем 1	75	16	16	43	75	5	5	65
Змістовий модуль 2. Розгортання операційної систем на вбудованому пристрої								
Тема 3. Ініціалізація та робота системи, керування пам’яттю, питання відлагодження системи.	40	8	8	24	40	3	3	34
Тема 4. Робота вбудованої системи у реальному часі.	35	6	6	23	35	2	2	31
Разом за змістовим модулем 2	75	14	14	47	75	5	5	65
Усього годин	**150**	**30**	**30**	**90**	**150**	**10**	**10**	**130**

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
Змістовий модуль 1			
1	Створення ланцюжка інструментів крос-компіляції. [2] с. 5-7.	4	1,25
2	Завантажувач U-Boot. [2] с. 8-13.	4	1,25
3	Отримання вихідних джерел ядра Linux. [2] с. 14-15.	4	1,25
4	Крос-компіляція ярда. [2] с. 16-18.	4	1,25
Змістовий модуль 2			
5	Мініатюрна вбудована система з BusyBox. [2] с. 19-23.	4	1,25
6	Доступ до апаратних пристроїв. [2] с. 24-36.	4	1,25
7	Файлові системи – блокові файлові системи. [2] с. 37-39.	4	1,25
8	Сторонні бібліотеки та програми. [2] с. 40-50.	2	1,25
	Разом	**30**	**10**

Самостійна робота

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної форми навчання:

- підготовка до лекційних занять – ***1 год. / 1 лекцію***;
- підготовка до практичних занять – ***2 год. / 1 заняття***;
- переклад технічної документації – ***12 год.;***
- підготовка до тестування – ***15 год. / 1 тест***;
- підготовка до заліку – ***15 год.***;

Розподіл годин самостійної роботи для студентів заочної форми навчання:

- підготовка до лекційних занять – ***1 год. / 1 лекцію***;
- підготовка до практичних занять – ***3 год. / 1 заняття***;
- переклад технічної документації – ***26 год.;***
- підготовка до тестування – ***15 год. / 1 тест;***
- підготовка до заліку – ***30 год.***

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
Змістовий модуль 1			
1	Підготовка до лекційних занять	8	15
2	Підготовка до практичних занять	8	10
3	Переклад технічної документації	12	25
4	Підготовка до тестування	15	15
Змістовий модуль 2			
5	Підготовка до лекційних занять	9	10
6	Підготовка до практичних занять	8	10
7	Підготовка до тестування	15	15
8	Підготовка до заліку	15	30
	Разом	**90**	**130**

Індивідуальне науково дослідне завдання

Не передбачено.

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методів їх демонстрування

Методи навчання:

- лекції;
- практичні роботи;
- робота з літературою;
- інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки (проводиться одноразово на першому занятті в лабораторії).

Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання з дисципліни:

- залік;
- стандартизовані тести;
- презентації результатів виконаних практичних завдань;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Рівень засвоєння матеріалу дисципліни здійснюється шляхом проведення поточного контролю у вигляді тестових завдань різної складності, перевірки результатів роботи на практичних заняттях та підсумкового контролю у формі заліку. Питома вага заключного заліку в загальній системі оцінок – 40 балів.

Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті та за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми шляхом тестування (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) та набутих практичних навичок під час виконання завдань практичних робіт. Підсумкова оцінка з дисципліни складається з оцінок, отриманих за поточний модульний контроль у формі тестування – до 28 балів, результатів роботи на практичних заняттях – до 32 балів, та заліку – до 40 балів.

За всі контрольні заходи (КЗ) протягом семестру студент може отримати від 0 до 100 балів. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки заліку.

Якщо студент не набрав мінімальну суму балів, то він не допускається до КЗ і йому рекомендується набрати цю кількість за рахунок виконання додаткового завдання для самостійного виконання, зокрема участю у науковій конференції з обов’язковою публікацією тез доповідей, або публікацією статті у фаховому вітчизняному чи закордонному виданні, що включено до міжнародних наукометричних баз даних.

Студент, який набрав за всі КЗ менше 60 балів, складає підсумковий семестровий залік (проводиться у письмовій формі в екзаменаційну сесію), до якого він допускається після виконання всіх передбачених елементів модулів, результатом якого є отримання необхідної мінімальної суми 60 балів.

Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

Практичні роботи	Критерії оцінювання
4	Студент самостійно виконав всі етапи рішення задачі. В представленому звіті немає помилок. Всі параметри систем вірні та демонструють правильність роботи досліджуваної системи чи об’єкту. Можливі одна-дві різні неточності, які не є наслідком незнання або нерозуміння навчального матеріалу.
3	Робота виконана не в повному обсязі. Допущено більше однієї помилки при дослідженні системи. Студент виконує практичну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача, але не володіє обов'язковими вміннями за темами, що перевіряються, та основними навичками роботи, необхідними для вирішення поставленого завдання.
2	Роботу в основному не виконано (обсяг виконаної частини менше 2/3 від загального обсягу завдання). Студент показує незнання основних понять, нерозуміння вивчених закономірностей і

	взаємозв'язків, не вміє вирішувати кількісні та якісні завдання. Допущені істотні помилки, які показали, що студент не володіє обов'язковими знаннями з даної теми в повній мірі.
1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Допущені істотні помилки, які показали, що студент не володіє обов'язковими знаннями з даної теми в повній мірі, вміннями і навичками практичної роботи, або значна частина роботи виконана не самостійно.
0	Роботу повністю не виконано або допущені суттєві помилки та робота показала повну відсутність у здобувача вищої освіти обов'язкових знань та вмінь за темами, що перевіряються.
Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 32 балів (8 робіт по 4 бали).	

Поточний модульний контроль у формі тестування

Правильних відповідей,%	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Бал	14	13	12	11	10	8	6	4	2	1

Форма контролю	**Максимальна кількість балів**	
	Денна форма	**Заочна форма**
Виконання завдань на практичних заняттях	8х4 балів = 32 бали	8х4 балів = 32 бали
Поточний модульний контроль	2х14 балів = 28 балів	2х14 балів = 28 балів
Всього	**60**	**60**

Критерії оцінювання знань з дисципліни на семестровому заліку

Залік проводиться в письмовій формі та складається з трьох завдань – двох теоретичних запитань та тесту. Максимальна оцінка студента за даний компонент програми 40 балів

Виконання першого завдання потребує повної аналітичної і змістовної відповіді (оцінюється від 0 до 15 балів).

13-15 балів отримують здобувачі вищої освіти, які повно та ґрунтовно розкрили теоретичне питання, використавши при цьому не лише обов’язкову, а й додаткову літературу, в повному обсязі володіють навчальним матеріалом, вільно, самостійно й аргументовано його викладають під час письмової відповіді.

10-12 балів отримують здобувачі вищої освіти, які достатньо повно володіють навчальним матеріалом, в цілому розкрили теоретичне питання, однак не повно, і допустили деякі несуттєві неточності та незначні помилки, не вистачає достатньої глибини та аргументації. При цьому не було використано на достатньому рівні обов’язкову літературу.

8-9 балів отримують здобувачі вищої освіти, які в цілому володіють навчальним матеріалом, правильно визначили сутність питання, але розкрили його не повністю, без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, допустивши деякі незначні помилки.

6-7 балів отримують здобувачі вищої освіти, які в цілому володіють навчальним матеріалом, правильно визначили сутність питання але без використання необхідної літератури, розкривши його частково і допустивши при цьому окремі суттєві неточності і помилки, котрі частково впливають на загальне розуміння питання.

3-5 балів отримують здобувачі вищої освіти, які не в повному обсязі володіють матеріалом, загалом правильно визначили сутність питання, однак недостатньо або поверхнево розкривши більшість його окремих положень і допустивши при цьому окремі помилки, які частково вплинули на загальне розуміння проблеми.

0-2 бали отримують здобувачі вищої освіти, які частково володіють навчальним матеріалом, фрагментарно та поверхнево розкрили лише окремі положення питання і допустили при цьому певні суттєві помилки, котрі значно вплинули на загальне розуміння питання.

Друге питання потребує короткої відповіді, котра розкриває сутність того чи іншого поняття або теоретичного положення (оцінюється від 0 до 15 балів).

11-15 балів отримують здобувачі вищої освіти, які повністю розкрили сутність поняття, дали його чітке визначення або проаналізували і зробили висновок з конкретного теоретичного положення.

7-10 балів отримують здобувачі вищої освіти, які правильно, але не повністю дали визначення поняття, або поверхнево проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

3-6 бали отримують здобувачі вищої освіти, які правльно, але лише частково визначили те чи інше поняття або частково проаналізували і зробили висновок з теоретичного положення.

0-2 бали отримують здобувачі вищої освіти, які частково і поверхнево визначили те чи інше поняття або сформулювали висновок з теоретичного положення, допустивши неточності та помилки.

Третє завдання семестрового заліку представляє собою тест, що містить 15 запитань і оцінюється від 0 до 10 балів.

Правильних відповідей,%	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Бал	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

8. Критерії оцінювання результатів навчання

2-й семестр

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Кількість балів	Вид роботи	Кількість балів
ЗМ 1	Т1	Практичні роботи №1, №2	8	Практичні роботи №1, №2	8
	Т2	Практичні роботи №3, №4	8	Практичні роботи №3, №4	8
ПМК		Тест	14	Тест	14
ЗМ 2	Т3	Практичні роботи №5, №6	8	Практичні роботи №5, №6	8
	Т4	Практичні роботи №7, №8	8	Практичні роботи №7, №8	8
ПМК		Тест	14	Тест	14
Підсумковий контроль		Залік	40	Залік	40
Сума			**100**		**100**

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

На лекційних заняттях використовуються технічні засоби, а саме: комп’ютер, мультимедійний проектор або інтерактивна дошка. Якщо є можливість інтерактивної дошки або проектора, то наочні пояснення можна організувати таким чином: теоретичні відомості будуть наочно супроводжуватися демонстрацією на інтерактивній дошці (за наявності), або мультимедійному проекторі. Це дає можливість здобувачам вищої освіти не тільки почути, а й побачити, що сприяє більш ефективному засвоєнню нового матеріалу. Такі лекції є найдоступнішою і найцікавішою формою викладання нового матеріалу з навчальної дисципліни «Технології бездротових систем передачі даних».

На практичних заняттях студенти використовують комп’ютери разом зі спеціалізованими стендами, та отримують навички ефективного використання сучасних апаратно-програмних засобів, що має забезпечити формування у студентів практичних навичок з програмування вбудованих мікропроцесорних систем, реалізації алгоритмів збору та обробки даних, керування різноманітним обладнанням. Також комп’ютери використовуються для проведення поточного модульного контролю у формі тестування.

Як наочний матеріал на лекціях і практичних заняттях використовуються конспект лекцій з дисципліни «Вбудовувані системи на основі Linux» та методичні вказівки до виконання практичних робіт.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Frank Vasquez, Chris Simmonds. Mastering Embedded Linux Programming: Create fast and reliable embedded solutions with Linux 5.4 and the Yocto Project 3.1 (Dunfell), 3rd Edition 3rd ed. Edition, 2021. 758 p.
2. Embedded Linux System Development. BeagleBone Black variant. Practical Labs. January 26, 2024. url: https://bootlin.com
3. Embedded Linux system development training. Bootlin. January 26, 2024. url: https://bootlin.com/training/embedded-linux
4. Крис Симмондс. Вбудовувані системи на основі Linux: Print2print, 2017. - 360 с.

Допоміжна література

5. Karim Yaghmour , Jon Masters , Gilad Ben-Yossef , Philippe Gerum. Building Embedded Linux Systems, 2nd Edition, 2008, 464 p.

6. Hallinan Christopher - Embedded Linux Primer: A Practical, Real-World Approach, 2006.

Інформаційні ресурси в Інтернет

7. Bootlin engineering company. Режим доступу: https://bootlin.com
8. Linux Foundation. Режим доступу: https://www.linuxfoundation.org/
9. Github Mastering-Embedded-Linux-Programming-Third-Edition. Режим доступу: https://github.com/PacktPublishing/Mastering-Embedded-Linux-Programming-Third-Edition

Розробник:

доцент кафедри ПЕЕТ к.т.н., доцент Дьяконов О.С.