

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

**Бочкарьов О. Ю.**

# **Системне програмування в ОС Linux**

**Навчальний посібник**

для студентів галузі знань 12 «Інформаційні технології»  
спеціальності 123 «Комп’ютерна інженерія»

Видавець ФОП Марченко Т.В.  
Львів 2025

УДК 004.4  
Б 72

Рецензенти:

- Рак Т. Є.**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних технологій, проректор з науково-педагогічної роботи ПЗВО “ІТ СТЕП Університет”;
- Ткачук Р. Л.**, доктор технічних наук, професор, начальник кафедри управління інформаційною безпекою, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності;
- Глухов В. С.**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри електронних обчислювальних машин, Національний університет “Львівська політехніка”

*Рекомендовано Науково-методичною радою  
Національного університету “Львівська політехніка”  
як навчальний посібник для студентів спеціальності 123 “Комп’ютерна інженерія”  
(протокол № 79 від 19 червня 2024 р.)*

Б 72      **Бочкарьов О. Ю.**

**Системне програмування в ОС Linux** : навч. посібник / О. Ю. Бочкарьов. –  
Львів: Видавець ФОП Марченко Т.В., 2025. – 229 с.

**ISBN 978-617-8194-42-0**

В навчальному посібнику розглянуто основи системного програмування в ОС Linux на рівні ядра операційної системи та на рівні системних утиліт. Основна увага приділена способам управління системними ресурсами в ОС Linux та відповідним технологіям системного програмування.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності 123 “Комп’ютерна інженерія” галузі знань 12 “Інформаційні технології”.

**УДК 004.4**

**ISBN 978-617-8194-42-0**

© Бочкарьов О. Ю., 2025  
© Видавець ФОП Марченко Т.В. , 2025

# ЗМІСТ

<b>Вступ.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Операційна система.....</b>	<b>9</b>
1.1. Архітектура на напрямки розвитку ОС.....	9
1.1.1. Структура та функції ОС.....	9
1.1.2. Архітектурні принципи побудови ОС.....	11
1.1.3. Основні типи ОС та області їх застосування.....	19
1.1.4. Напрямки розвитку ОС.....	21
1.2. Операційна система Linux.....	23
1.2.1. Структура ОС Linux.....	23
1.2.2. Ядро ОС Linux.....	25
1.2.3. Системні служби ОС Linux.....	28
1.2.4. Інтерфейс користувача в ОС Linux.....	30
1.2.5. Дистрибутиви ОС Linux.....	32
Контрольні питання.....	34
<b>2. Управління обчисленнями.....</b>	<b>36</b>
2.1. Паралельні обчислювальні процеси в ОС Linux.....	36
2.1.1. Організація обчислювальних процесів в ОС Linux.....	36
2.1.2. Запуск та породження нових процесів в ОС Linux.....	38
2.1.3. Запит та встановлення атрибутів процесу в ОС Linux.....	41
2.1.4. Завершення виконання процесів в ОС Linux.....	42
2.2. Планування паралельного виконання обчислювальних процесів.....	46
2.2.1. Організація планування паралельного виконання ОП.....	46
2.2.2. Ефективність планування паралельного виконання ОП.....	49
2.2.3. Алгоритм планування FCFS.....	51
2.2.4. Алгоритм планування SJF.....	52
2.2.5. Планування на основі пріоритетів.....	54
2.2.6. Алгоритм планування RR.....	55
2.2.7. Планування з використанням багаторівневої черги.....	56
2.2.8. Багаторівнева черга зі зворотним зв'язком.....	57
2.3. Планування паралельного виконання ОП в ОС Linux.....	59
2.3.1. Диспетчери ОП в різних версіях ядра ОС Linux.....	59
2.3.2. Режими диспетчеризації в ОС Linux.....	61
2.3.3. Диспетчер CFS.....	62
2.3.4. Період диспетчеризації в CFS.....	65
2.3.5. Розрахунок кванту часу та віртуального часу задачі в CFS.....	66
2.3.6. Алгоритм роботи CFS.....	68

2.4. Диспетчеризація періодичних задач в системах реального часу.....	69
2.4.1. Диспетчеризація періодичних задач з крайнім терміном виконання.....	69
2.4.2. Алгоритм планування RM.....	73
2.4.3. Алгоритм планування EDF.....	75
2.4.4. Диспетчер SCHED_DEADLINE в ОС Linux.....	77
2.4.5. Використання диспетчера SCHED_DEADLINE.....	79
2.4.6. Управління параметрами диспетчеризації за допомогою команди chrt.....	82
2.5. Синхронізація паралельних задач в ОС Linux за допомогою семафорів..	85
2.5.1. Використання семафорів в ОС Linux.....	85
2.5.2. Створення множини семафорів.....	88
2.5.3. Здійснення операцій над семафорами.....	89
2.5.4. Управління множиною семафорів.....	93
2.5.5. Способи використання семафорів.....	96
2.5.6. Програмний інтерфейс для роботи з семафорами стандарту POSIX.....	98
2.5.7. Реалізація механізму семафорів за допомогою системного виклику eventfd().....	99
2.6. Сигнали в ОС Linux.....	100
2.6.1. Використання сигналів в ОС Linux.....	100
2.6.2. Надсилання сигналу обчислювальному процесу.....	103
2.6.3. Встановлення диспозиції сигналу.....	105
2.6.4. Маскування сигналів.....	107
2.6.5. Створення обробника сигналу.....	108
2.6.6. Отримання сигналу обчислювальним процесом.....	110
Контрольні питання.....	113
<b>3. Управління пам'яттю.....</b>	<b>119</b>
3.1. Віртуальна пам'ять та управління сторінками пам'яті.....	119
3.1.1. Віртуальна пам'ять процесу.....	119
3.1.2. Управління кількістю сторінок пам'яті виділених процесу.....	122
3.1.3. Управління заміщенням сторінок пам'яті процесу.....	126
3.2. Управління пам'яттю обчислювального процесу в ОС Linux.....	130
3.2.1. Виділення, звільнення та контроль використання пам'яті.....	130
3.2.2. Спільна пам'ять (shared memory).....	134
3.2.3. Створення сегменту спільної пам'яті.....	136
3.2.4. Підключення та відключення сегменту спільної пам'яті.....	137
3.2.5. Управління сегментом спільної пам'яті.....	137
3.2.6. Відображення файлів у пам'ять.....	139

3.2.7. Взаємодія процесів за допомогою файлів відображених у пам'ять.....	141
Контрольні питання.....	143
<b>4. Управління вводом/виводом.....</b>	<b>146</b>
4.1. Управління вводом/виводом в ОС Linux.....	146
4.1.1. Організація вводу/виводу в ОС Linux.....	146
4.1.2. Блочні пристрої.....	147
4.1.3. Диспетчеризація запитів на виконання операцій вводу/виводу....	147
4.1.4. Алгоритми диспетчеризації запитів до блочних пристроїв.....	149
4.1.5. Порівняння алгоритмів диспетчеризації запитів до блочних пристроїв.....	153
4.1.6. Визначення та встановлення алгоритму диспетчеризації запитів.....	154
4.1.7. Символьні пристрої.....	154
4.1.8. Програмний інтерфейс вводу/виводу.....	155
4.1.9. Використання системного виклику <code>ioctl()</code> .....	159
4.2. Мультиплексування вводу/виводу в ОС Linux.....	162
4.2.1. Мультиплексований ввід/вивід.....	162
4.2.2. Очікування готовності до I/O з використанням <code>select()</code> .....	165
4.2.3. Опитування стану файлових дескрипторів: <code>poll()</code> .....	168
4.2.4. Моніторинг файлових дескрипторів за допомогою <code>epoll</code> .....	170
Контрольні питання.....	174
<b>5. Управління зберіганням даних.....</b>	<b>176</b>
5.1. Управління файловою системою в ОС Linux.....	176
5.1.1. Компоненти файлової системи.....	176
5.1.2. Віртуальна файлова система.....	178
5.1.3. Оперування компонентами файлової системи.....	182
5.1.4. Системні виклики для роботи з файлом.....	183
5.1.5. Системні виклики для роботи з файловою системою.....	187
Контрольні питання.....	188
<b>6. Мережна підсистема ОС.....</b>	<b>190</b>
6.1. Структура та організація роботи мережної підсистеми ОС Linux.....	190
6.1.1. Призначення та структура мережної підсистеми ОС.....	190
6.1.2. Організація роботи мережної підсистеми ОС Linux.....	192
6.1.3. Відправка та отримання даних мережною підсистемою ОС Linux.....	195
6.1.4. Диспетчеризація пакетів даних в мережній підсистемі ОС Linux.....	198

6.1.5. Мережні інтерфейси в ОС Linux.....	199
6.2. Сокети Берклі (Berkeley sockets).....	202
6.2.1. Взаємодія процесів за допомогою сокетів Берклі.....	202
6.2.2. Структура адреси сокету.....	203
6.2.3. Створення сокету.....	208
6.2.4. Встановлення з'єднання.....	210
6.2.5. Відправлення та отримання повідомлень.....	211
6.2.6. Розрив з'єднання та знищення сокету.....	212
Контрольні питання.....	214
<b>Термінологічний словник.....</b>	<b>217</b>
<b>Література.....</b>	<b>227</b>

## Вступ

Використання системного програмного забезпечення сучасних комп'ютерних систем є необхідною умовою, яка забезпечує їх належне функціонування. Розробка та вдосконалення системного програмного забезпечення піднімає продуктивність роботи комп'ютерних систем, дозволяє суттєво збільшити швидкість та ефективність розв'язування прикладних обчислювальних задач та оптимізувати використання системних ресурсів. Відтак створення і використання системних програм та технологій системного програмування є надзвичайно актуальним питанням. Безкоштовна та відкрита операційна система Linux (ОС Linux) є основною ОС сучасних суперкомп'ютерів та високопродуктивних комп'ютерних систем. Крім цього ядро ОС Linux широко використовується для управління мобільними обчислювальними пристроями (смартфонами, планшетами, тощо) та вбудованими обчислювальними пристроями широкого спектру призначення, в тому числі в рамках концепції Інтернету речей (Internet of Things, IoT). Розробка та застосування технологій системного програмування, як на рівні ядра операційної системи, так і на рівні системних утиліт, є головним напрямком розвитку ОС Linux. Переважна більшість прикладних програмних проектів в ОС Linux в тому, чи іншому вигляді використовує функціонал, який надає системне програмне забезпечення, задля максимального використання обчислювальних ресурсів сучасних комп'ютерних систем та забезпечення високої продуктивності роботи.

В навчальному посібнику розглянуто основи системного програмування в ОС Linux на рівні ядра операційної системи та на рівні системних утиліт. Оглянуто підходи до розроблення та застосування технологій системного програмування в сучасних комп'ютерних системах. Розглянуто організацію обчислювальних процесів та програмних потоків в ОС Linux. Основна увага в навчальному посібнику приділена системному програмному забезпеченню для управління обчисленнями та пам'яттю обчислювальних процесів в ОС Linux. Наведено навчальні матеріали для освоєння основ системного програмування, зокрема способів використання системних викликів ОС Linux. Розглянуто питання планування паралельного виконання обчислювальних процесів (ОП) в ОС Linux, в тому числі диспетчеризацію задач реального часу та періодичних задач з крайнім терміном виконання. Розглянуто концепцію віртуальної пам'яті та способи управління сторінками пам'яті. Розглянуто синхронізацію паралельних процесів та програмних потоків, використання сигналів, управління вводом/виводом, управління зберіганням даних та використання мережної підсистеми в ОС Linux. Студенту надана можливість засвоїти навички практичного застосування технологій системного програмування для створення програм системного рівня. Наведені у посібнику навчальні матеріали відповідають сучасному рівню розвитку комп'ютерних систем та технологій системного програмування.

Метою навчального посібнику є виробити у студентів чітке та систематизоване уявлення про основні принципи системного програмування, надати студентам базові знання про технології системного програмування в ОС Linux, а також надати навички практичного застосування цих технологій для створення системного програмного забезпечення на рівні ядра операційної системи та на рівні системних утиліт. Використання навчального посібника допоможе студенту досягнути наступних результатів навчання: знати загальні принципи побудови, архітектуру та призначення сучасних операційних систем, в тому числі ОС Linux; знати основні алгоритми та методи проектування компонент ядра операційної системи та драйверів пристроїв, внутрішні механізми функціонування ядра ОС Linux, способи верифікації їх роботи; розуміти концептуальні основи функціонування системних програмних засобів, що реалізують основну функціональність сучасних операційних систем; вивчити принципи управління локальними системними ресурсами, зокрема обчислювальними процесами, пам'яттю та пристроями вводу/виводу; розуміти принципи організації файлових систем та принципи роботи сучасних архітектур файлових систем; вивчити принципи управління мережною підсистемою у складі ядра ОС Linux та основні механізми її роботи.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 «Інформаційні технології», зокрема для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціалізацій 123.01 «Комп'ютерні системи та мережі», 123.02 «Системне програмування» та 123.03 «Спеціалізовані комп'ютерні системи». В основу посібника покладено навчальні матеріали, розроблені та підготовлені автором для викладання навчальних дисциплін «Системне програмування», «Системне програмне забезпечення», «Мережні операційні системи» та «Проектування операційних систем, утиліт і драйверів» на кафедрі електронних обчислювальних машин Національного університету «Львівська політехніка».



НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Бочкаръов Олексій Юрійович**

# **СИСТЕМНЕ ПРОГРАМУВАННЯ В ОС LINUX**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

для студентів галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальності 123  
«Комп'ютерна інженерія»

Підп. до друку 12.12.2024 року.  
Формат 70×100/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times NewRoman.  
Умовн. друк.14,74.

Видавець ФОП Марченко Т.В.  
м. Львів-53, 79053, Україна, тел.: +38 (050) 370-19-57,  
e-mail: magnol06@ukr.net  
<https://magnolia.lviv.ua>  
Видавець Марченко Т. В.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців,  
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції:  
серія ДК № 6784 від 30.05.2019 року, видане Державним  
комітетом інформаційної політики,  
телебачення та радіомовлення України

Надруковано у друкарні видавця ФОП Марченко Т. В.