

ВНУТРЕННЕЕ УСТРОЙСТВО LINUX

3-Е ИЗДАНИЕ

БРАЙАН УОРД



Санкт-Петербург • Москва • Минск

2025

Краткое содержание

Благодарности	23
Предисловие	24
Глава 1. Общая картина	28
Глава 2. Основные команды и иерархия каталогов	39
Глава 3. Устройства	79
Глава 4. Диски и файловые системы	102
Глава 5. Загрузка ядра Linux	156
Глава 6. Запуск пользовательского пространства	176
Глава 7. Настройка системы: журналирование, системное время, пакетные задачи и пользователи	208
Глава 8. Процессы и использование ресурсов	244
Глава 9. Сеть и ее конфигурация	270
Глава 10. Сетевые приложения и службы	320
Глава 11. Сценарии оболочки	344
Глава 12. Передача файлов по сети и доступ к ним	368
Глава 13. Пользовательское окружение	390
Глава 14. Краткий обзор рабочего стола Linux. Вывод на печать	402
Глава 15. Инструменты разработки	419
Глава 16. Компиляция программ из исходного кода на языке C	442
Глава 17. Виртуализация	458
Библиография	478

Оглавление

Об авторе	22
О научных редакторах	22
Благодарности	23
Предисловие	24
Для кого эта книга	24
Требуемый уровень знаний	24
Как читать книгу	25
Практический подход	25
Как устроена эта книга	25
Новое в третьем издании	26
Немного о терминологии	27
От издательства	27
Глава 1. Общая картина	28
1.1. Уровни абстракции в системе Linux	29
1.2. Оборудование: оперативная память	31
1.3. Ядро	32
1.3.1. Управление процессами	32
1.3.2. Управление памятью	34
1.3.3. Управления драйверами устройств	34
1.3.4. Системные вызовы и поддержка	35
1.4. Пользовательское пространство	36
1.5. Пользователи	37
1.6. Что дальше?	38
Глава 2. Основные команды и иерархия каталогов	39
2.1. Оболочка Bourne Shell (bash): /bin/sh	40
2.2. Использование оболочки	40

2.2.1. Окно оболочки	40
2.2.2. Программа cat	41
2.2.3. Стандартный поток ввода (stdin) и стандартный поток вывода (stdout)	42
2.3. Основные команды	43
2.3.1. Команда ls	43
2.3.2. Команда cp	44
2.3.3. Команда mv	44
2.3.4. Команда touch	44
2.3.5. Команда rm	44
2.3.6. Команда echo	45
2.4. Перемещение по каталогам	45
2.4.1. Команда cd	45
2.4.2. Команда mkdir	46
2.4.3. Команда rmdir	46
2.4.4. Шаблоны поиска (переменные Wildcards)	46
2.5. Команды среднего уровня	47
2.5.1. Команда grep	48
2.5.2. Команда less	48
2.5.3. Команда pwd	49
2.5.4. Команда diff	49
2.5.5. Команда file	50
2.5.6. Команды find и locate	50
2.5.7. Команды head и tail	50
2.5.8. Команда sort	51
2.6. Смена пароля и оболочки	51
2.7. Файлы с точками	51
2.8. Переменные окружения и оболочки	52
2.9. Переменная пути PATH	52
2.10. Специальные символы	53
2.11. Редактирование в командной строке	54
2.12. Текстовые редакторы	55
2.13. Онлайн-поддержка	56
2.14. Ввод и вывод командной оболочки	58
2.14.1. Стандартная ошибка	59
2.14.2. Стандартное перенаправление ввода	59

2.15. Сообщения об ошибках	60
2.15.1. Структура сообщений об ошибках в Unix	60
2.15.2. Распространенные ошибки	61
2.16. Перечисление процессов и управление ими	62
2.16.1. Параметры команды ps	63
2.16.2. Завершение процесса	64
2.16.3. Управление заданиями	65
2.16.4. Фоновые процессы	65
2.17. Режимы файлов и права доступа	66
2.17.1. Изменение прав доступа	68
2.17.2. Использование символических ссылок	69
2.18. Архивирование и сжатие файлов	71
2.18.1. Утилита gzip	71
2.18.2. Утилита tar	71
2.18.3. Сжатые архивы (.tar.gz)	72
2.18.4. Утилита zcat	73
2.18.5. Другие утилиты сжатия	73
2.19. Основная иерархия каталогов Linux	74
2.19.1. Другие корневые подкаталоги	76
2.19.2. Каталог /usr	76
2.19.3. Местонахождение ядра	76
2.20. Запуск команд от имени суперпользователя	77
2.20.1. Команда sudo	77
2.20.2. Файл /etc/sudoers	77
2.20.3. Журналы sudo	78
2.21. Что дальше?	78
Глава 3. Устройства	79
3.1. Файлы устройств	79
3.2. Путь к устройству sysfs	81
3.3. Утилита dd и устройства	82
3.4. Имена устройств	83
3.4.1. Жесткие диски: /dev/sd*	84
3.4.2. Виртуальные диски: /dev/xvd*, /dev/vd*	85
3.4.3. Устройства долговременной памяти: /dev/nvme*	85

3.4.4. Подсистема создания виртуальных блочных устройств: /dev/dm-*, /dev/mapper/*	85
3.4.5. CD- и DVD-приводы: /dev/sr*	85
3.4.6. Жесткие диски PATA: /dev/hd*	86
3.4.7. Терминалы: /dev/tty*, /dev/pts/* и /dev/tty	86
3.4.8. Последовательные порты: /dev/ttyS*, /dev/ttyUSB*, /dev/ttyACM*	87
3.4.9. Параллельные порты: /dev/lp0 и /dev/lp1	88
3.4.10. Аудиоустройства: /dev/snd/*, /dev/dsp, /dev/audio и другие	88
3.4.11. Создание файла устройства	88
3.5. Менеджер устройств udev	89
3.5.1. Файловая система devtmpfs	90
3.5.2. Работа и настройка менеджера udevd	91
3.5.3. Команда udevadm	93
3.5.4. Отслеживание устройств	94
3.6. Подробнее об интерфейсе SCSI и ядре Linux	95
3.6.1. USB-накопитель и SCSI	98
3.6.2. Интерфейсы SCSI и ATA	99
3.6.3. Обобщенные устройства SCSI	99
3.6.4. Методы множественного доступа к одному устройству	100

Глава 4. Диски и файловые системы

4.1. Разбиение дисков на разделы	104
4.1.1. Просмотр таблицы разделов	105
4.1.2. Редактирование таблиц разделов	108
4.1.3. Создание таблицы разделов	109
4.1.4. Геометрия дисков и разделов	111
4.1.5. Чтение твердотельных дисков	113
4.2. Файловые системы	114
4.2.1. Типы файловых систем	114
4.2.2. Создание файловой системы	116
4.2.3. Монтирование файловой системы	117
4.2.4. Идентификатор UUID файловой системы	119
4.2.5. Буферизация диска, кэширование и файловые системы	120
4.2.6. Параметры монтирования файловой системы	120

4.2.7. Повторное монтирование файловой системы	122
4.2.8. Таблица файловой системы /etc/fstab	122
4.2.9. Альтернативы файлу /etc/fstab	124
4.2.10. Емкость файловой системы	124
4.2.11. Проверка и восстановление файловых систем	126
4.2.12. Файловые системы специального назначения	129
4.3. Область подкачки swap	130
4.3.1. Использование раздела диска в качестве области подкачки ..	130
4.3.2. Использование файла в качестве области подкачки	131
4.3.3. Определение необходимого размера области подкачки	131
4.4. Менеджер логических томов LVM	132
4.4.1. Работа с менеджером LVM	134
4.4.2. Реализация менеджера LVM	145
4.5. Что дальше? Диски и пользовательское пространство	149
4.6. Что находится внутри традиционной файловой системы	150
4.6.1. Сведения о дескрипторе и количество ссылок	152
4.6.2. Распределение блоков	154
4.6.3. Работа с файловыми системами в пользовательском пространстве	154
Глава 5. Загрузка ядра Linux	156
5.1. Сообщения при загрузке	157
5.2. Параметры инициализации и загрузки ядра	158
5.3. Параметры ядра	159
5.4. Загрузчики	160
5.4.1. Задачи загрузчика	161
5.4.2. Обзор загрузчиков	162
5.5. Введение в загрузчик GRUB	163
5.5.1. Изучение устройств и разделов с помощью командной строки GRUB	165
5.5.2. Конфигурация GRUB	167
5.5.3. Установка GRUB	170
5.6. Проблемы безопасной загрузки UEFI	171
5.7. Метод цепной загрузки других операционных систем	172
5.8. Детали работы загрузчика	173
5.8.1. Загрузчик MBR	173

5.8.2. Загрузчик UEFI	173
5.8.3. Как работает GRUB	174

Глава 6. Запуск пользовательского пространства

6.1. Основные сведения об init	177
6.2. Определение системы инициализации	178
6.3. systemd	178
6.3.1. Юниты и типы юнитов	179
6.3.2. Графики загрузки и зависимостей юнитов	179
6.3.3. Конфигурация systemd	180
6.3.4. Процесс работы systemd	183
6.3.6. Зависимости systemd	188
6.3.7. Запуск по запросу и параллелизация ресурсов в systemd	191
6.3.8. Вспомогательные компоненты systemd	196
6.4. Уровни выполнения в System V	197
6.5. System V init	198
6.5.1. System V init: последовательность команд при запуске	199
6.5.2. Ферма ссылок System V init	200
6.5.3. Команда run-parts	202
6.5.4. Управление System V init	202
6.5.5. Совместимость systemd и System V	203
6.6. Завершение работы системы	203
6.7. Начальная файловая система оперативной памяти	205
6.8. Аварийная загрузка системы и однопользовательский режим	206
6.9. Что дальше?	207

Глава 7. Настройка системы: журналирование, системное время, пакетные задачи и пользователи

7.1. Ведение системного журнала	209
7.1.1. Проверка настроек журнала	209
7.1.2. Поиск и мониторинг журналов	210
7.1.3. Ротация файлов журнала	214
7.1.4. Обслуживание журналов journald	215
7.1.5. Детали системного журналирования	215
7.2. Структура каталога /etc	218
7.3. Файлы управления пользователями	218
7.3.1. Файл /etc/passwd	219

7.3.2. Особые пользователи	220
7.3.3. Файл /etc/shadow	221
7.3.4. Управление пользователями и паролями	221
7.3.5. Работа с группами пользователей	222
7.4. Команды getty и login	223
7.5. Установка времени	224
7.5.1. Представление времени ядра и часовые пояса	224
7.5.2. Сетевое время	225
7.6. Планирование повторяющихся задач с помощью команды cron и юнитов таймера	226
7.6.1. Установка файлов Crontab	227
7.6.2. Системные файлы Crontab	227
7.6.3. Юниты таймера	228
7.6.4. Утилита cron против юнитов таймера	230
7.7. Планирование разовых задач с помощью службы at	230
7.7.1. Аналоги таймера	231
7.8. Юниты таймера обычных пользователей	231
7.9. Доступ пользователя	232
7.9.1. ID пользователей и переключение пользователей	232
7.9.2. Владельцы процессов, действующий UID, реальный UID и сохраненный UID	233
7.9.3. Идентификация пользователя, аутентификация и авторизация	235
7.9.4. Применение библиотек для получения информации о пользователе	236
7.10. Подключаемые модули аутентификации (PAM)	237
7.10.1. Конфигурация PAM	237
7.10.2. Советы по синтаксису конфигурации PAM	241
7.10.3. Модули PAM и пароли	242
7.11. Что дальше?	243
Глава 8. Процессы и использование ресурсов	244
8.1. Отслеживание процессов	244
8.2. Поиск открытых файлов с помощью команды lsof	245
8.2.1. Считывание вывода команды lsof	245
8.2.2. Использование команды lsof	247

8.3. Отслеживание выполнения программ и системных вызовов	247
8.3.1. Команда <code>strace</code>	247
8.3.2. Команда <code>ltrace</code>	249
8.4. Потoki	250
8.4.1. Однопоточные и многопоточные процессы	250
8.4.2. Просмотр потоков	250
8.5. Введение в мониторинг ресурсов	252
8.5.1. Измерение процессорного времени	252
8.5.2. Настройка приоритетов процесса	253
8.5.3. Измерение производительности процессора с помощью среднего значения загрузки	254
8.5.4. Мониторинг состояния памяти	255
8.5.5. Мониторинг производительности процессора и памяти с помощью команды <code>vmstat</code>	258
8.5.6. Мониторинг ввода-вывода I/O	260
8.5.7. Мониторинг каждого процесса с помощью команды <code>pidstat</code> ..	262
8.6. Группы управления (<code>cgroups</code>)	263
8.6.1. Различие между версиями <code>cgroup</code>	264
8.6.2. Просмотр <code>cgroups</code>	266
8.6.3. Управление и создание <code>cgroups</code>	267
8.6.4. Отображение использования ресурсов	268
8.7. Дополнительно	269
Глава 9. Сеть и ее конфигурация	270
9.1. Основы сети	271
9.2. Пакеты	271
9.3. Сетевые уровни	272
9.4. Сетевой уровень	273
9.4.1. Просмотр IP-адреса	275
9.4.2. Подсети	275
9.4.3. Распространенные маски подсети и нотация CIDR	276
9.5. Маршруты и таблица маршрутизации ядра	277
9.6. Шлюз по умолчанию	278
9.7. IPv6-адреса и сети	279
9.7.1. Просмотр конфигурации IPv6 в системе	280
9.7.2. Настройка сетей с двумя стеками	281

9.8. Основные инструменты ICMP и DNS	281
9.8.1. Команда ping	282
9.8.2. Служба DNS и команда host	283
9.9. Физический уровень и сеть Ethernet	283
9.10. Сетевые интерфейсы ядра	284
9.11. Введение в настройки сетевого интерфейса	285
9.11.1. Ручная настройка интерфейсов	285
9.11.2. Добавление и удаление маршрутов вручную	286
9.12. Конфигурация сети, активируемая при загрузке	287
9.13. Проблемы с настройкой сети вручную и при загрузке	288
9.14. Менеджеры настройки сети	289
9.14.1. Работа NetworkManager	289
9.14.2. Взаимодействие с NetworkManager	290
9.14.3. Настройка NetworkManager	290
9.15. Разрешения сетевых имен	292
9.15.1. Файл /etc/hosts	293
9.15.2. Файл resolv.conf	293
9.15.3. Кэширование и DNS с нулевой конфигурацией	294
9.15.4. Файл /etc/nsswitch.conf	295
9.16. Localhost	296
9.17. Транспортный уровень: TCP, UDP и службы	296
9.17.1. TCP-порты и соединения	297
9.17.2. Протокол UDP	301
9.18. Возврат к простой локальной сети	301
9.19. Протокол DHCP	302
9.19.1. DHCP-клиенты Linux	302
9.19.2. DHCP-серверы Linux	303
9.20. Автоматическая настройка сети IPv6	303
9.21. Настройка Linux в качестве маршрутизатора	304
9.22. Частные сети (IPv4)	306
9.23. Преобразование сетевых адресов NAT (маскарадинг IP-адресов) ..	306
9.24. Linux и маршрутизаторы	308
9.25. Брандмауэры	309
9.25.1. Основы брандмауэров Linux	310
9.25.2. Настройка правил брандмауэра	311
9.25.3. Стратегии брандмауэра	313

9.26. Ethernet, IP, ARP и NDP	315
9.27. Беспроводная сеть Ethernet	317
9.27.1. Утилита iw	318
9.27.2. Безопасность беспроводной сети	318
9.28. Выводы	319
Глава 10. Сетевые приложения и службы	320
10.1. Основы работы служб	320
10.2. Взглянем глубже	322
10.3. Сетевые серверы	323
10.3.1. Служба защищенной оболочки SSH	324
10.3.2. Сервер sshd	326
10.3.3. Утилита fail2ban	328
10.3.4. SSH-клиент	329
10.4. Сетевые серверы до systemd: inetd/xinetd	330
10.5. Средства диагностики	331
10.5.1. Утилита lsof	332
10.5.2. Утилита tcpdump	333
10.5.3. Утилита netcat	335
10.5.4. Сканирование портов	336
10.6. Удаленный вызов процедур	337
10.7. Безопасность сети	338
10.7.1. Типичные уязвимости	339
10.7.2. Ресурсы безопасности	340
10.8. Что дальше?	341
10.9. Сетевые сокеты	341
10.10. Доменные сокеты Unix	342
Глава 11. Сценарии оболочки	344
11.1. Основы сценариев оболочки	344
11.1.1. Ограничения скриптов оболочки	345
11.2. Кавычки и литералы	346
11.2.1. Литералы	346
11.2.2. Одинарные кавычки	347
11.2.3. Двойные кавычки	348
11.2.4. Литерал с одинарными кавычками	348

11.3. Специальные переменные	349
11.3.1. Индивидуальные аргументы: \$1, \$2 и другие.....	349
11.3.2. Количество аргументов: \$#.....	350
11.3.3. Все аргументы: \$@	350
11.3.4. Имя сценария: \$0	350
11.3.5. ID процесса: \$\$	351
11.3.6. Код возврата: \$?	351
11.4. Коды возврата	351
11.5. Условные операторы	352
11.5.1. Обходной путь для предотвращения ошибки Empty Parameter Lists	353
11.5.2. Другие команды для проверки условий	353
11.5.3. Ключевое слово elif	353
11.5.4. Логические конструкции	354
11.5.5. Проверка условий	355
11.5.6. Ключевое слово case	357
11.6. Циклы	358
11.6.1. Циклы for	358
11.6.2. Циклы while	359
11.7. Подстановка команд	359
11.8. Управление временными файлами	360
11.9. Неге-документы	362
11.10. Важные утилиты сценариев оболочки	362
11.10.1. Утилита basename	362
11.10.2. Утилита awk	363
11.10.3. Утилита sed	363
11.10.4. Утилита xargs	364
11.10.5. Утилита expr	365
11.10.6. Утилита exec	365
11.11. Подоболочки	366
11.12. Добавление файлов в скрипты	366
11.13. Чтение пользовательского ввода	367
11.14. Когда не стоит использовать сценарии оболочки	367
Глава 12. Передача файлов по сети и доступ к ним	368
12.1. Быстрое копирование данных	369

12.2. Утилита rsync	370
12.2.1. Начало работы с rsync	370
12.2.2. Создание точной копии структуры каталогов	371
12.2.3. Добавление кривой черты	372
12.2.4. Исключение файлов и каталогов	373
12.2.5. Проверка копирования, меры предосторожности и подробный режим	374
12.2.6. Сжатие данных	375
12.2.7. Ограничение ширины полосы пропускания	375
12.2.8. Передача файлов на ваш компьютер	376
12.2.9. Больше информации о rsync	376
12.3. Совместное использование файлов	376
12.3.1. Производительность совместного использования файлов ...	377
12.3.2. Безопасность совместного доступа к файлам	378
12.4. Совместное использование файлов с помощью Samba	378
12.4.1. Настройка сервера	379
12.4.2. Контроль доступа к серверу	379
12.4.3. Пароли	380
12.4.4. Запуск сервера вручную	382
12.4.5. Диагностика и файлы журналов	382
12.4.6. Настройка совместного использования файлов	382
12.4.7. Домашние каталоги	383
12.4.8. Совместное применение принтеров	383
12.4.9. Клиенты сервера Samba	384
12.5. Клиентская программа SSHFS	386
12.6. NFS	387
12.7. Облачное хранилище	388
12.8. Состояние совместного доступа к файлам в сети	388
Глава 13. Пользовательское окружение	390
13.1. Создание файлов запуска	391
13.2. Изменение файлов запуска	391
13.3. Элементы файла запуска оболочки	391
13.3.1. Путь к команде	392
13.3.2. Путь к странице руководства	393
13.3.3. Приглашения <code>prompt</code>	393

13.3.4. Псевдонимы	394
13.3.5. Маска прав доступа	394
13.4. Порядок и примеры файлов запуска	395
13.4.1. Оболочка bash	395
13.4.2. Оболочка tcsh	398
13.5. Пользовательские настройки по умолчанию	399
13.5.1. Параметры оболочки по умолчанию	399
13.5.2. Текстовый редактор	400
13.5.3. Пейджер	400
13.6. Подводные камни в файлах запуска	400
13.7. Далее о файлах запуска	401
Глава 14. Краткий обзор рабочего стола Linux. Вывод на печать	402
14.1. Компоненты рабочего стола	403
14.1.1. Фреймбуфер	403
14.1.2. Система X Window	403
14.1.3. Протокол Wayland	404
14.1.4. Менеджеры окон	404
14.1.5. Наборы инструментов	405
14.1.6. Окружение рабочего стола	405
14.1.7. Приложения	405
14.2. Wayland или X?	406
14.3. Обзор протокола Wayland	406
14.3.1. Композитный менеджер окон	406
14.3.2. Библиотека libinput	407
14.3.3. Совместимость X и Wayland	408
14.4. Обзор системы X Window	409
14.4.1. Дисплейные менеджеры	410
14.4.2. Сетевая прозрачность	411
14.4.3. Способы исследования X-клиентов	411
14.4.4. События на сервере (X events)	412
14.4.5. X-ввод и настройки предпочтений	413
14.5. Шина D-Bus	415
14.5.1. Системные и сеансовые экземпляры	416
14.5.2. Мониторинг сообщений D-Bus	416

14.6. Печать	417
14.6.1. Сервер печати CUPS	417
14.6.2. Фильтры преобразования форматов и печати	418
14.7. Дополнительно об окружениях рабочего стола	418
Глава 15. Инструменты разработки	419
15.1. Компилятор C	419
15.1.1. Компиляция нескольких исходных файлов	420
15.1.2. Связывание с библиотеками	422
15.1.3. Разделяемые библиотеки	423
15.1.4. Файлы заголовков (Include) и каталоги	428
15.2. Утилита make	430
15.2.1. Makefile	431
15.2.2. Встроенные правила	432
15.2.3. Финальная сборка программы	432
15.2.4. Обновление зависимостей	433
15.2.5. Аргументы и параметры командной строки	433
15.2.6. Стандартные макросы и переменные	434
15.2.7. Стандартные цели	435
15.2.8. Организация файла Makefile	436
15.3. Программы Lex и Yacc	437
15.4. Языки сценариев	437
15.4.1. Язык Python	438
15.4.2. Язык Perl	439
15.4.3. Другие языки сценариев	439
15.5. Язык Java	440
15.6. А что дальше? Компиляция пакетов	441
Глава 16. Компиляция программ из исходного кода на языке C	442
16.1. Системы сборки программ	443
16.2. Распаковка пакетов с исходным кодом C	443
16.3. Утилита GNU Autoconf	445
16.3.1. Пример использования Autoconf	446
16.3.2. Установка с помощью инструментов создания пакетов	447
16.3.3. Параметры сценария configure	447
16.3.4. Переменные окружения	448

16.3.5. Цели Autoconf	449
16.3.6. Файлы журналов Autoconf	450
16.3.7. Утилита pkg-config	450
16.4. Процесс установки	452
16.4.1. Места установки	453
16.5. Применение исправлений	453
16.6. Устранение ошибок компиляции и установки	454
16.6.1. Особые ошибки	455
16.7. Что дальше?	457
Глава 17. Виртуализация	458
17.1. Виртуальные машины	458
17.1.1. Гипервизоры	459
17.1.2. Оборудование виртуальной машины	460
17.1.3. Использование виртуальных машин	461
17.1.4. Недостатки виртуальных машин	462
17.2. Контейнеры	463
17.2.1. Docker, Podman и привилегии	464
17.2.2. Пример использования инструмента Docker	465
17.2.3. Система LXC	473
17.2.4. Платформа Kubernetes	473
17.2.5. Ошибки работы контейнеров	474
17.3. Виртуализация времени исполнения	476
Библиография	478