Лабораторная работа №6
Процессы. Работа с процессами

Введение

В этой лабораторной вы познакомитесь с особенностями жизненного цикла процессов в Linux, их рождением, жизнью и смертью. Вы узнаете, что такое сигналы, для чего они нужны и как их использовать. Будет рассмотрена работа планировщика задач CFS и способы приоритизации процессов в Linux. Мы также научимся продвинутым приемам извлечения информации о процессах и управления ими.

Процессы и потоки в Linux

Основным назначением операционной системы, как мы знаем, является создание условий для работы прикладных приложений. Однако установленные в системе приложения — это всего лишь файлы, которые просто лежат на диске. Для того чтобы приложение «заработало», создается так называемый процесс.

При запуске программы операционная система выделяет экземпляру приложения независимое адресное пространство памяти, назначает уникальный идентификатор (Process Identifier, PID) и вносит запись в таблицу процессов. С этого момента планировщик задач (scheduler) начинает выделять процессу кванты процессорного времени, и программа оживает.

Процессы Linux и Windows во многом очень похожи, но есть и ряд отличий, понимание которых упростит работу с системой. Давайте разбираться.

Процессы в Linux и Windows

Дерево процессов в Linux

Приложение начинает работать, как только информация об экземпляре приложения заносится в таблицу процессов и планировщик начинает выделять ему кванты процессорного времени.

Для просмотра таблицы процессов в CMD мы использовали команду `tasklist`, в PowerShell командлет Get-Process, а в Linux для этого предназначена утилита *ps*. И начнем мы с наиболее часто используемых ключей **aux**:

```
sa@astra:~$ ps aux
USER       PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY   STAT START  TIME COMMAND
root         1  3.4  0.5 103020 11500 ?     Ss   08:34   0:01 /sbin/init
root         2  0.0  0.0      0     0 ?     S    08:34  0:00 [kthreadd]
root         3  0.0  0.0      0     0 ?     I<   08:34  0:00 [rcu_gp]
...
```

Назначение использованных нами ключей следующее:

- **a** — отобразить процессы всех пользователей;
- **u** — показать, кто является владельцем процесса;
- **x** — показать процессы, у которых нет управляющего терминала, например, службы.

нимание

Для обеспечения обратной совместимости Bash-скриптов утилита ps поддерживает ключи, используемые разными операционными системами: BSD (без дефисов), POSIX (с дефисами) и GNU (с двумя дефисами и длинными ключами). Поэтому короткие ключи, совпадая по написанию, могут иметь совершенно разный смысл, например, команды `ps -a` и `ps a` покажут совсем не одно и то же.

Еще интереснее пример с командой `ps -aux`, когда перед группой ключей ставится символ дефиса. По правилам POSIX эта команда должна вывести все процессы для пользователя с именем «x», но т.к. такого пользователя не существует в системе, утилита понимает, что мы имели в виду «aux» без дефиса, и показывает нам этот результат.

Давайте с помощью ключей `-ef` выведем ту же информацию, но с идентификатором родителя и поговорим об иерархии процессов в Linux:

```
sa@astra:~$ ps -ef
UID          PID  PPID  C STIME TTY          TIME CMD
root           1     0  0 08:34 ?        00:00:01 /sbin/init
root           2     0  0 08:34 ?        00:00:00 [kthreadd]
root           3     2  0 08:34 ?        00:00:00 [rcu_gp]
root           4     2  0 08:34 ?        00:00:00 [rcu_par_gp]
root           6     2  0 08:34 ?        00:00:00 [kworker/0:0H-events_highpri]
root           7     2  0 08:34 ?        00:00:00 [kworker/0:1-events]
root           8     2  0 08:34 ?        00:00:00 [kworker/u2:0-events_unbound]
...
```

Назначение использованных нами ключей следующее:

- ключ `-e` — отобразить процессы всех пользователей (то же самое, что ключ `-a`);
- ключ `-f` — вывести больше доступной информации, например, идентификатор родителя.

```
sa@astra:~$ ps aux
USER         PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
root           1  0.3  0.5 103020 11540 ?        Ss   08:34   0:01 /sbin/init
root           2  0.0  0.0      0     0 ?        S    08:34   0:00 [kthreadd]
root           3  0.0  0.0      0     0 ?        I<   08:34   0:00 [rcu_gp]
...
```

Существенным отличием Windows и Linux является строгая иерархия процессов. В системе Windows дочерние процессы, конечно же, сохраняют идентификатор родителя, но система не следит за целостностью этой информации, и через некоторое время это значение может соответствовать несуществующему или неправильному процессу. Так происходит, если родительский процесс был закрыт, и этот идентификатор был повторно выдан другому процессу.

В системе Linux, напротив, установлена жесткая иерархия, поэтому описанная выше ситуация невозможна. Иерархический подход позволяет при закрытии терминала отправить всем дочерним процессам сигнал SIGHUP, чтобы закрыть их автоматически. Если же процесс был запущен через команду `nohup` и нужно, чтобы он продолжил свою работу, то он станет «осиротевшим» и будет автоматически усыновлен процессом init (systemd) с PID=1.

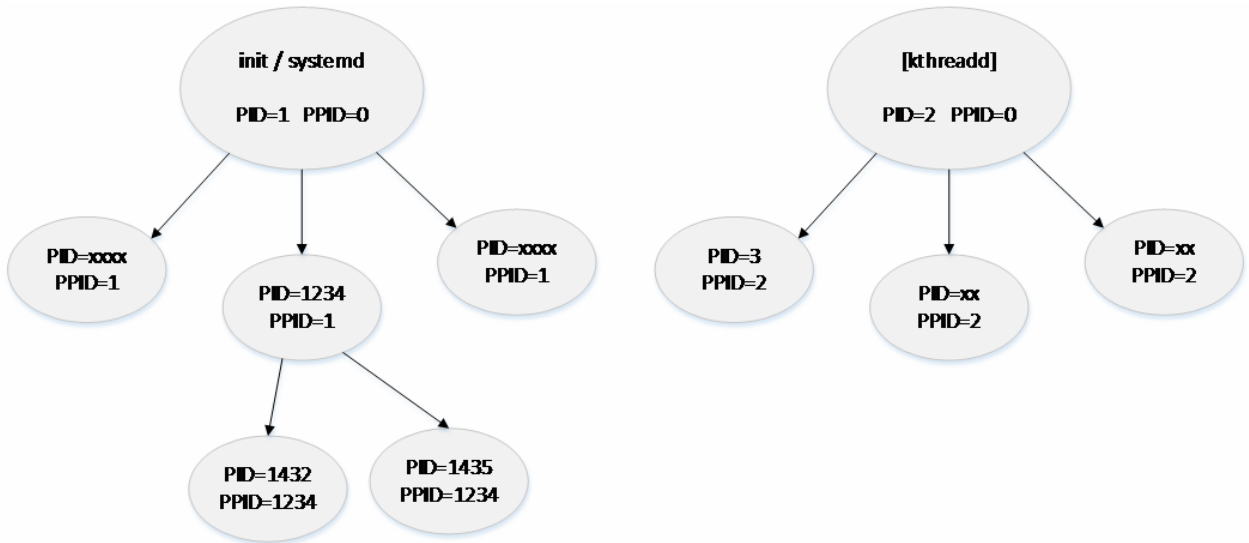
Проведем эксперимент, который наглядно покажет разницу в поведении систем.

- Если запустить приложение calc.exe из терминала cmd или PowerShell, то после закрытия терминала калькулятор продолжит работу как ни в чем ни бывало, что является вполне ожидаемым поведением.
- Если же мы из терминала Gnome Terminator запустим калькулятор в фоновом режиме командой `kcalc &` и закроем окно терминала с помощью `ALT + F4`, а не через команду `exit`, то терминал закроется вместе с калькулятором. А это уже ни разу не ожидаемое поведение.
- А теперь повторим то же самое в fly-term от Astra Linux и увидим, что терминал можно закрывать хоть крестиком, хоть через `exit`, а калькулятор остается на месте, как будто его запустили через nohup, что намного привычнее для Windows-администраторов.

Используя значение PPID, мы можем легко найти все процессы, запущенные из текущей оболочки. При этом мы, конечно, можем поупражняться в составлении трехэтажных регулярных выражений, но проще будет воспользоваться специальной утилитой `pgrep` и системной переменной **$$**, в которой содержится идентификатор текущего процесса. Команда в этом случае будет выглядеть так:

```
sa@astra:~$ ps -f -p$(pgrep --parent=$$)
UID          PID  PPID  C STIME TTY          TIME CMD
sa          1395  1389  2 10:44 pts/0    00:00:00 kcalc
```

Возвращаясь к дереву процессов, обратим ваше внимание на то, что дерево, на самом деле, не одно (см. рисунок).



Деревья процессов в Linux

Чтобы убедиться в этом на практике, воспользуемся утилитой `pstree` и выведем список всех потомков процесса с PID=0, которые были порождены ядром системы:

```
sa@astra:~$ pstree -p 0
()─┬─kthreadd(2)─┬─acpi_thermal_pm(88)
   │             ├─ata_sff(76)
   │             ├─audit_prune_tre(359)
   │             ├─blkcg_punt_bio(74)
...
   └─systemd(1)─┬─NetworkManager(436)─┬─dhclient(690)───{dhclient}(707)
                │                     ├─{NetworkManager}(486)
                │                     └─{NetworkManager}(492)
                ├─VBoxClient(1184)───VBoxClient(1185)─┬─{VBoxClient}(1186)
                │                                     ├─{VBoxClient}(1187)
                │                                     └─{VBoxClient}(1188)
                ├─VBoxClient(1199)───VBoxClient(1200)─┬─{VBoxClient}(1201)
...
```

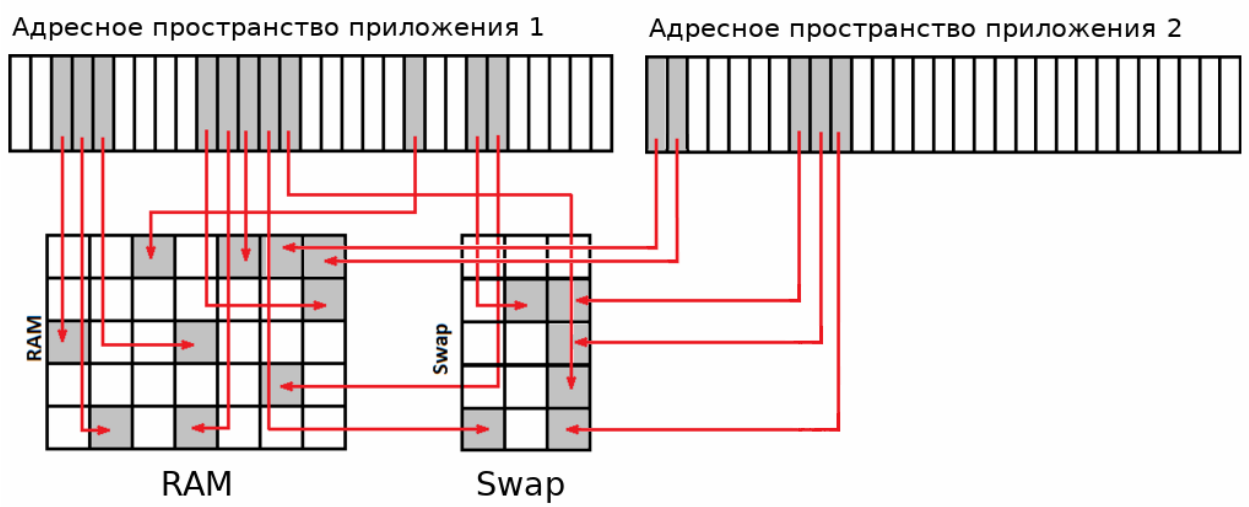
Процесс [kthreadd] является диспетчером потоков, а квадратные скобки указывают нам на то, что это процесс самого ядра ОС. Второе дерево потребовалось, потому что для управления потоками нельзя было использовать процесс systemd, который работает в пользовательском пространстве.

Процесс systemd или `/sbin/init` является процессом подсистемы инициализации и управления службами systemd, которая пришла на замену устаревшей подсистеме init. Новая реализация обеспечила распараллеливание запуска служб, что позволило существенно ускорить загрузку ОС. В настоящий момент systemd полностью вытеснила init SysV, но файл `/sbin/init` используется до сих пор и является символьной ссылкой на `/lib/systemd/systemd`.

Адресное пространство

Каждому процессу выделяется независимое адресное пространство памяти. Максимальный размер пространства в 64-битных системах в теории может доходить до 2^{64} бит, а на практике для x86 процессоров не превышает 2^{48}бит, т.е. до 256 ТБ (см. вывод команды `cat /proc/cpuinfo` «address sizes … 48 bits virtual»).

Важно понимать, что размер адресного пространства и объем памяти, потребляемый процессом, — это две большие разницы. Все адресное пространство разбивается на страницы объемом в 4Кб (см. `getconf PAGE_SIZE`). Однако большая часть этих страниц остается пустой, то есть не сопоставлена с реальной памятью компьютер (см. рисунок), поэтому процесс занимает ровно столько памяти, сколько он запросил, или как еще говорят «аллоцировал» (от англ. *allocation* – резервировать).



Отображение страниц адресного пространства приложений на ОЗУ и файл подкачки

Обычно процессы могут аллоцировать весь доступный объем памяти, и ничего настраивать дополнительно не требуется. Выполните команду `ulimit -a`, и вы увидите, что для «virtual memory» установлено значение «unlimited»:

```
sa@astra:~$ ulimit -a
core file size          (blocks, -c) 0
data seg size           (kbytes, -d) unlimited
scheduling priority             (-e) 0
file size               (blocks, -f) unlimited
pending signals                 (-i) 7524
max locked memory       (kbytes, -l) 65536
max memory size         (kbytes, -m) unlimited
open files                      (-n) 1024
pipe size            (512 bytes, -p) 8
POSIX message queues     (bytes, -q) 819200
real-time priority              (-r) 0
stack size              (kbytes, -s) 8192
cpu time               (seconds, -t) unlimited
max user processes              (-u) 7524
virtual memory          (kbytes, -v) unlimited
file locks                      (-x) unlimited
```

Однако бывают ситуации, когда мы сталкиваемся, например, с утечкой памяти, и, чтобы дожить до патча, устраняющего проблему, приходится подкручивать настройки. Например, с помощью команды `ulimit -v 512000` мы можем ограничить потребление памяти процессами «на лету», а с помощью строки «* - as 512000» в конфигурационном файле `/etc/security/limits.conf` выставить эти ограничения на постоянной основе.

Добавим еще, что из соображений безопасности адресные пространства процессов независимы друг от друга, поэтому один процесс не может напрямую получить доступ к переменным и структурам данных другого процесса. В тех случаях, когда это действительно требуется, процессы должны обмениваться информацией через механизмы межпроцессного взаимодействия (*от англ. Inter-Process Communication, IPC*).

В Linux основными механизмами IPC являются файлы, каналы (pipe, fifo), сокеты (Unix и TCP/IP), сигналы, разделяемая память и др. В Windows есть аналогичные технологии каналов, TCP/IP сокетов, разделяемой памяти, но при организации межпроцессного взаимодействия в большей степени используются программные интерфейсы, такие как объектная модель компонентов (*от англ. Component Object Model, COM*) или удаленный вызов процедур (*от англ. Remote Procedure Call, RPC*). В том числе по этой причине Linux работает пошустрее.

Порождение процесса

В системе Linux новый процесс создается вызовом ядра fork(), во время выполнения которого происходит полное копирование адресного пространства родительского процесса, назначается собственный PID/PPID и обнуляется статистика выполнения в таблицах ОС. В ряде случаев этого бывает достаточно, но если требуется запустить другой программный код (например, выполнить ps из командной строки bash), то сразу после fork() следует еще один системный вызов execve() (см. рисунок).

Существует целое семейство вызовов exec* (см. справку `man 3 exec`), которые отличаются набором параметров и логикой работы. Например, вызов execl() имеет дело со списком, а execv() с вектором. Но все они решают одну и ту же задачу, просто немного по-разному.

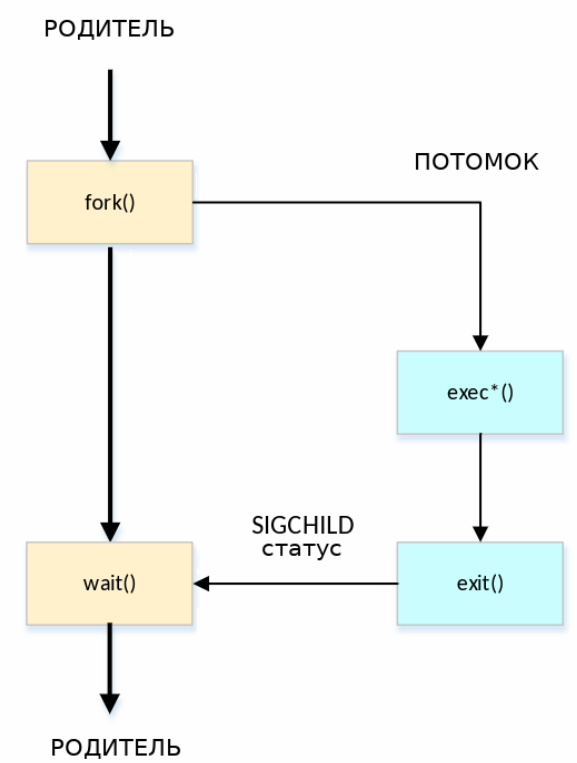


Схема ветвления процессов

Важно понимать, что копирование процесса происходит чрезвычайно быстро, так как копируются не сами данные, а только список страниц памяти, где эти данные хранятся. На все эти страницы устанавливается отметка Copy-on-Write (COW), поэтому, как только одному из процессов требуется внести изменения, для него создается копия соответствующей страницы. В итоге fork() оказывается значительно быстрее, чем функция CreateProcess() из Win32 API, хотя на современных процессорах это уже не столь важно.

Понятное дело, что системные администраторы не всегда обладают навыками программирования, и подробности о вызовах fork() и execve() могут показаться излишними. Но мы очень часто сталкиваемся с упоминаниями этих функций в журналах отладки и трассировки, поэтому общие представления о работе этого механизма крайне полезны.

Завершение процесса

Процесс может завершить свою работу штатно, когда программный код полностью выполнил поставленную перед ним задачу, из-за непредвиденной ошибки или аварийно по требованию администратора, например, командой `kill -9 $(pidof kcalc)`.

Вне зависимости от того, как завершился процесс, он освобождает все свои ресурсы и становится пустой записью в таблице процессов, в которой остается только статус завершения, необходимый родительскому процессу для корректной обработки результатов. Для того чтобы родитель поскорее вычитал статус, ему

направляется сигнал SIGCHLD, но до тех пор, пока это не произойдет, запись будет оставаться в таблице, поэтому такие процессы называются «зомби» — процесс уже «умер», но продолжает занимать идентификатор.

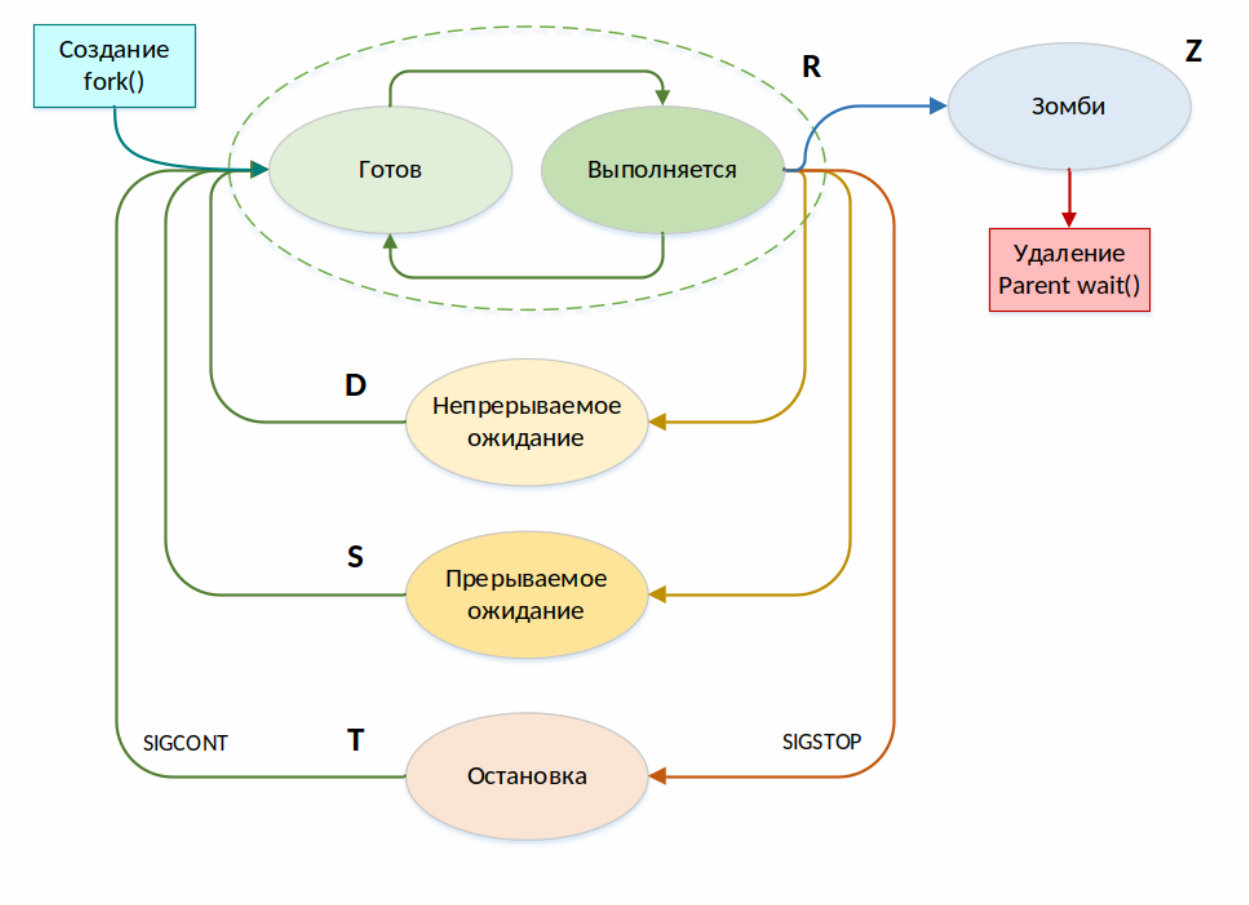
Проблема с «неупокоенными» процессами заключается в том, что количество идентификаторов PID в дистрибутивах Linux всегда ограничено. К примеру, в Astra Linux их по умолчанию может быть не больше 4 194 304 (см. вывод команды `cat /proc/sys/kernel/pid_max`). Поэтому, когда такие зомби восстают регулярно и в большом количестве, наступает зомби-апокалипсис, и система перестает запускать новые процессы.

Зависшие зомби-процессы могут появляться как по причине зависания родительского процесса, так и в связи с ошибками в программном коде, но отправлять SIGKILL зомби-процессам совершенно бесполезно, ибо то, что мертво, умереть не может. Чтобы очистить систему от таких процессов, можно еще раз вручную направить сигнал SIGCHLD родительскому процессу с помощью команды `kill -s SIGCHLD <PPID>`. Если же родительский процесс завис и по-прежнему отказывается «хоронить» зомби-процесс, следующим шагом будет удаление родительского процесса. И не забываем про «семь бед – один reset» — после перезагрузки ни один зомби точно не выживет.

Состояния процесса во время его существования

Жизненный цикл процесса предусматривает 5 основных состояний (см. рисунок). Посмотреть текущее состояние можно с помощью команды `ps aux` в колонке STAT:

- **R** - готов (ready) или выполняется (running).
- **D** - непрерываемое ожидание (uninterruptible sleep) - ожидание определенного события, чаще всего ожидания операции ввода-вывода.
- **S** - прерываемое ожидание (interruptible sleep) - ожидание неопределенного события или сигнала.
- **T** - остановка - процесс приостановлен, например, отладчиком.
- **Z** - зомби (zombie) - завершен, но сигнал SIGCHLD не получен родителем.



Жизненный цикл процесса

Статусы **готов** и **выполняется** обозначаются одной буквой R, т.к. процесс получает кванты процессорного времени по сто раз в секунду, и эта информация не несет для пользователя никакой полезной информации.

Если процессу требуется доступ к устройству ввода-вывода (например, прочитать данные из файла), то без получения этих данных дальнейшее выполнение процесса будет невозможным, и процесс перейдет в состояние **непрерываемого ожидания (D)**. Это ожидание называется непрерываемым, так как процесс может полностью проигнорировать даже команду `kill -9 pid` .

Существует также **прерываемое ожидание (S)**. Это состояние наступает, когда процесс завершил выполнение задач и ожидает следующих запросов. Например, вы открыли калькулятор, и окно приложения ожидает ваших указаний. Прерываемым это ожидание называется потому, что процесс в таком состоянии может быть завершен (убит) администратором. Это не всегда безопасно, особенно применительно к базам данных, хотя и возможно.

Отправкой сигнала SIGSTOP процесс может быть переведен в состояние **остановлен (T)**, в котором он замирает до получения сигнала разморозки SIGCONT. Вы можете использовать это состояние для приостановки процесса, который начал потреблять слишком много ресурсов, чтобы спокойно проанализировать причины, не завершая работу приложения сигналом SIGKILL.

Пятое состояние **зомби (Z)** мы уже рассмотрели подробно выше. Оно возникает, когда процесс завершил работу, но родитель еще не получил его статус. Если такой процесс зависнет в системе вы можете повторно отправить SIGCHLD родителю, завершить работу родителя или перезагрузить систему

Потоки в Linux

Кроме вызова fork() существует также системный вызов clone(), который позволяет создавать процессы с разделяемым адресным пространством или так называемые потоки (англ. thread).

Потоки позволяют организовать параллельную обработку данных на нескольких ядрах вычислительного узла, что сильно повышает итоговую скорость выполнения задачи. Например, если у вас 4 ядра плюс гипертрейдинг, то вы можете архивировать данные в 8 потоков, что будет в 8 раз быстрее.

В зависимости от используемых флагов потоки могут обладать разными возможностями:

- **CLONE_VM** — общее адресное пространство (любой из потоков может поменять страницы в памяти, и эти изменения будут видны всем потокам);
- **CLONE_FS** — общие сведения о файловой системе (корневой и текущий каталоги, umask, права на создаваемые файлы и каталоги по умолчанию);
- **CLONE_FILES** — общая таблица открытых файлов;
- **CLONE_SIGHAND** — общая таблица обработчиков сигналов;
- **CLONE_PARENT** — позволяет создавать сестринские процессы с тем же PPID, как у себя.

С точки зрения Linux управление процессами и потоками – это очень похожие задачи, поэтому и для работы с ними используются одни и те же инструменты. Например, команда `ps -T -p pid` покажет вам все потоки указанного процесса.

Сигналы для процессов в Linux

Мы уже знаем о том, что сигналы предназначены для межпроцессного взаимодействия. Этот механизм напоминает системные прерывания, поэтому сигналы иногда называют еще мягкими или программными прерываниями. Однако, если системные прерывания обрабатываются ядром, то обработчик сигналов находится внутри приложения.

Для отправки сигналов из командной строки предназначена утилита `kill` (*от англ. убить*). Название утилиты объясняется тем, что без дополнительных уточнений она отправляет сигнал SIGTERM, который как раз и означает завершение работы. Для того чтобы отправить какой-то другой сигнал, нужно указать цифровой код сигнала -<signal> или его имя с помощью ключа `-s` (`--signal`):

Запускаем калькулятор в фоновом режиме:

```
sa@astra:~$ kcalc &
[1] 1564
```

Завершаем процесс с выбранным PID 1564 из прошлой команды:

```
sa@astra:~$ kill -SIGTERM 1564
sa@astra:~$
```

Альтернативные варианты написания команды:

- `kill –TERM 1564`
- `kill -15 1564`
- `kill 1564`

Процессы Linux поддерживают 64 сигнала, список которых можно посмотреть с помощью ключа `-L` (`-l`, `--list`) команды `kill`:

```
sa@astra:~$ kill -l
 1) SIGHUP       2) SIGINT       3) SIGQUIT      4) SIGILL       5) SIGTRAP
 2) SIGABRT      7) SIGBUS       8) SIGFPE       9) SIGKILL     10) SIGUSR1
1)  SIGSEGV     12) SIGUSR2     13) SIGPIPE     14) SIGALRM     15) SIGTERM
2)  SIGSTKFLT   17) SIGCHLD     18) SIGCONT     19) SIGSTOP     20) SIGTSTP
3)  SIGTTIN     22) SIGTTOU     23) SIGURG      24) SIGXCPU     25) SIGXFSZ
4)  SIGVTALRM   27) SIGPROF     28) SIGWINCH    29) SIGIO       30) SIGPWR
5)  SIGSYS      34) SIGRTMIN    35) SIGRTMIN+1  36) SIGRTMIN+2  37) SIGRTMIN+3
6)  SIGRTMIN+4  39) SIGRTMIN+5  40) SIGRTMIN+6  41) SIGRTMIN+7  42) SIGRTMIN+8
7)  SIGRTMIN+9  44) SIGRTMIN+10 45) SIGRTMIN+11 46) SIGRTMIN+12 47) SIGRTMIN+13
8)  SIGRTMIN+14 49) SIGRTMIN+15 50) SIGRTMAX-14 51) SIGRTMAX-13 52) SIGRTMAX-12
9)  SIGRTMAX-11 54) SIGRTMAX-10 55) SIGRTMAX-9  56) SIGRTMAX-8  57) SIGRTMAX-7
10) SIGRTMAX-6  59) SIGRTMAX-5  60) SIGRTMAX-4  61) SIGRTMAX-3  62) SIGRTMAX-2
11) SIGRTMAX-1  64) SIGRTMAX
```

Чаще всего администраторы используют в работе сигналы:

- **Сигнал (2)SIGINT** предназначен для прерывания работы приложений по требованию пользователя (от англ. *interrupt — прервать*) и отправляется автоматически активному процессу терминала по нажатию клавиш `Ctrl + C`.

Чаще всего администраторы отправляют этот сигнал приложениям через горячие клавиши, но можно сделать это и через утилиту kill. Продвинутые приложения могут реализовывать более сложную логику обработки этого сигнала, чем просто прерывание работы.

Например, Postgres запускает быстрое выключение: в этом случае сервер запрещает новые подключения и посылает всем процессам сигнал SIGTERM, в результате чего их транзакции прерываются, и сами процессы завершаются. Управляющий процесс ждёт, пока будут завершены все эти процессы и затем завершается сам.

- **Сигнал (9)SIGKILL** требует процесс немедленно завершить свою работу. Процесс не имеет права проигнорировать этот сигнал и не может переопределить его обработчик, поэтому, если процесс не завершился по сигналу -9, то это указывает на какие-то проблемы в работе операционной системы. По своей сути сигнал SIGKILL похож на команду `End task` диспетчера задач Windows.
- **Сигнал (15)SIGTERM** отправляется процессу по умолчанию, если команде `kill` передать только идентификатор процесса. Сигнал просит процесс приступить к штатному завершению работы (от англ. *software termination* — завершение работы программного обеспечения).

Если обработчик сигнала реализован в приложении правильно, то при получении SIGTERM процесс выполнит «умное выключение», т.е. обработает все несохраненные изменения, закроет файлы, сохранит состояние и вернет код 0, соответствующий успешному завершению.

При выключении операционной системы процессы сначала получают сигнал SIGTERM и только по таймауту завершаются принудительно.

Продвинутые администраторы расширяют набор своих инструментов сигналами:

- **Сигнал (1)SIGHUP** посылается всем дочерним процессам терминала при его закрытии, чтобы они тоже завершили свою работу (от англ. *hang up* — повесить трубку). Название сигнала берет свое начало со времен аппаратных терминалов и телефонных линий связи.

Для того чтобы приложение игнорировало сигнал -1, его можно запустить с помощью команды `nohup`. Если закрыть терминал, такие процессы «осиротеют» и будут удочерены процессом init (systemd).

```
sa@astra:~$ kcalc &
[1] 1575
```

Приложение завершает свою работу:

```
sa@astra:~$ kill -SIGHUP 1575
sa@astra:~$ nohup kcalc &
```

Запускаем команду через `nohup`:

```
sa@astra:~$ nohup kcalc &
[2] 1583
[1]   Завершено      kcalc
sa@astra:~$ nohup: ввод игнорируется, вывод добавляется в 'nohup.out'
```

Завершить процесс с помощью сигнала HUP больше не удается, он игнорируется приложением:

```
sa@astra:~$ kill -SIGHUP 1583
sa@astra:~$
```

- **Сигнал (17)SIGCHLD** направляется родителю при завершении дочернего процесса. При появлении зомби-процессов сигнал может быть направлен вручную для обработки очереди.
- **Сигнал (19)SIGSTOP** переводит процесс в состояние «остановлен», что удобно для отладки проблем с высоким потреблением ресурсов, когда требуется вернуть систему к жизни, не завершая проблемный процесс полностью. Процесс не имеет права проигнорировать этот сигнал и не может переопределить его обработчик. Для возобновления работы процесса предназначен сигнал SIGCONT.
- **Сигнал (20)SIGTSTP** предназначен для остановки работы приложений из терминала (от англ. *TTY stop*) и отправляется автоматически активному процессу терминала по нажатию клавиш `Ctrl + Z`.
- **Сигнал (18)SIGCONT** возобновляет работу процесса, который был остановлен с помощью сигналов SIGSTOP и SIGTSTP.

Каждый сигнал является указателем на область памяти, где находится обработчик, и многие из этих обработчиков могут быть переопределены внутри приложения через функцию trap().

Планировщик задач в Linux и управление приоритетами процессов

Планировщик задач

Планировщик задач – это часть ядра ОС, необходимая для распределения ресурсов процессора между процессами. Планировщик преследует несколько целей:

- Максимизировать пропускную способность, то есть количество задач, выполняемых за единицу времени.
- Минимизировать время ожидания, то есть время, прошедшее с момента готовности процесса до начала его выполнения.

• Минимизировать время ответа, то есть время, прошедшее с момента готовности процесса до завершения его выполнения.

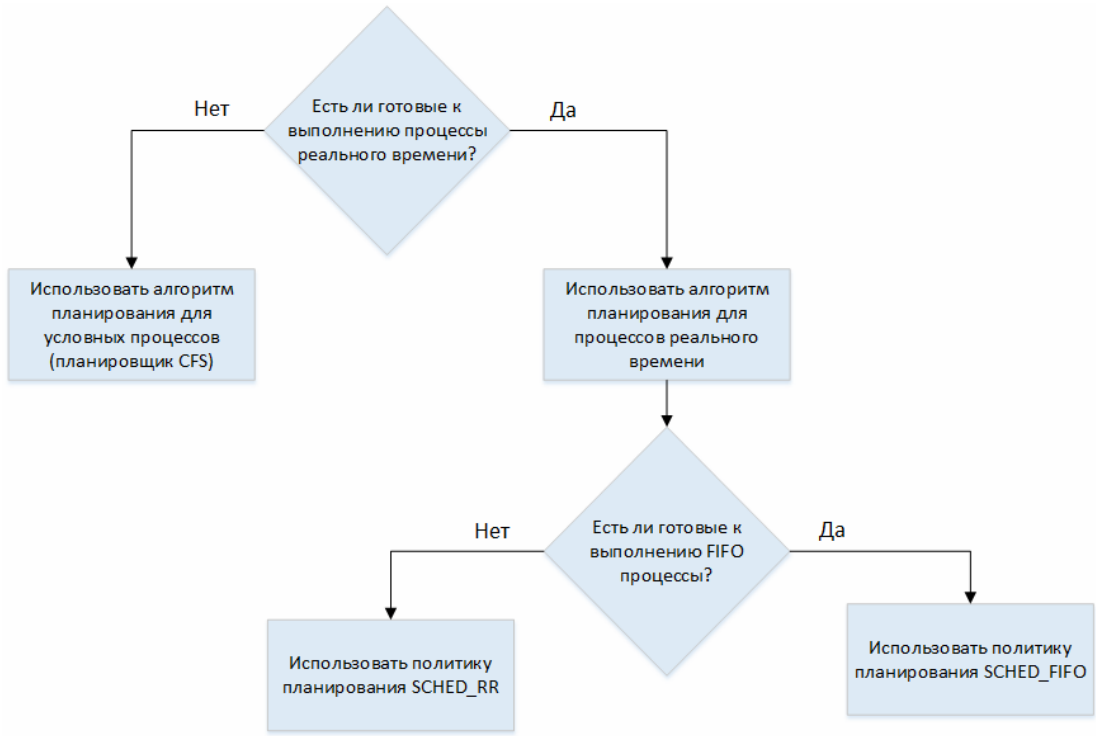
• Максимизировать равнодоступность, то есть справедливое распределение ресурсов между задачами.

Для достижения этих целей и обеспечения стабильности работы системы и приоритетного выполнения важных системных процессов используются системы приоритизации и распределения ресурсов по политикам планирования (группам процессов).

Группы процессов

В Linux существуют три основные группы процессов: First In, First Out (FIFO), Round Robin (RR) и Other. Первые две представляют собой процессы реального времени, которые должны выполняться немедленно, без задержек, а последняя, Other - условные процессы, при выполнении которых задержки не являются критичными для работы системы.

Таким образом, в системе существуют три очереди процессов, и логика выделения процессорного времени (логика выбора приоритета процесса) в каждой из них своя (см. рисунок).



Логика выбора алгоритма и политики планирования процессов

FIFO процессы (*first in, first out, первый вошел, первый вышел*) имеют самый высокий приоритет из всех. Такой процесс фактически работает в однопрограммном режиме и не реагирует ни на какие сигналы. Использование таких процессов несет серьезные риски, так как ошибка в его выполнении может критически повлиять на всю систему в целом.

В Linux используется всего несколько FIFO потоков ядра, для выполнения которых критически важно, чтобы их операции не прерывались и завершались без сбоев, например, изменение статуса процесса диспетчером процессов. В противном случае мы могли бы получить некорректную таблицу состояний процессов.

Процессы **Round Robin** (*по круговой схеме*) имеют более низкий приоритет по сравнению с FIFO процессами, поэтому при активизации FIFO процесса будут им вытеснены. Процессы RR равны между собой по приоритету в пределах одной очереди. Пока существует несколько процессов Round Robin. Каждому из них диспетчер выделяет определенный квант времени, и они будут выполняться по кругу, пока все такие процессы не будут завершены или не перейдут в состояния ожидания или остановки.

Процессы **Other** (все остальные) имеют самый низкий приоритет, то есть могут выполняться, только если нет активных FIFO или Round Robin процессов. В современных дистрибутивах Linux этими процессами занимается планировщик CFS (*Completely Fair Scheduler, абсолютно справедливый планировщик*), который старается соблюдать принцип справедливости, чтобы каждый процесс получил одинаковое количество процессорного времени. Кванты времени вычисляются так, чтобы исключить слишком частые переключения между процессами.

Отличительной особенностью планировщика CFS является высокая скорость сортировки процессов по потреблению ими процессорного времени за время log(N). Благодаря этому удалось добиться действительно справедливого распределения процессорного времени между процессами при высокой скорости самого планирования.

Политики планирования

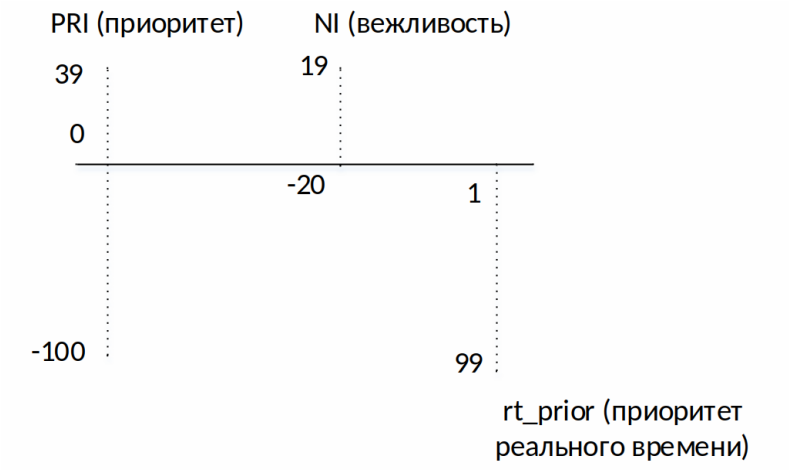
Группы процессов FIFO, RR и Other соответствуют политикам планирования SCHED_FIFO , SCHED_RR и SCHED_OTHER (всего таких политик 6). Посмотреть список политик планирования можно командой `chrt -m`.

```
sa@astra:~$ chrt -m
SCHED_OTHER min/max priority    : 0/0
SCHED_FIFO min/max priority     : 1/99
SCHED_RR min/max priority       : 1/99
SCHED_BATCH min/max priority    : 0/0
SCHED_IDLE min/max priority     : 0/0
SCHED_DEADLINE min/max priority : 0/0
```

Как видим, выбор приоритета (а именно приоритета реального времени) доступен только в политиках SCHED_FIFO и SCHED_RR - от 1 до 99, для остальных политик он всегда 0.

Приоритет процессов

Каждому процессу присваивается приоритет. Это целое число от 39 до -100, где 39 - наименьший приоритет, а -100 - наивысший. Процессы с приоритетами от 39 до 0 - это обычные процессы из группы Other. Их приоритет не может быть меньше 0. По умолчанию все процессы из политики Other имеют приоритет 20, однако это значение может быть скорректировано как при запуске процесса (команда `nice`), так и во время его работы (команда `renice`). Эти команды меняют параметр NICE процессов - его «вежливость» (от англ. niceness), которая по умолчанию равна 0.



Соотношение параметров приоритета процесса, его «вежливости» и приоритета реального времени

Параметр NICE может принимать значение от +19 до -20. При этом значение приоритета по умолчанию (20) суммируется со значением NICE, и, как упоминалось ранее, итоговый результат может принимать значение от 39 до 0.

Процессы с приоритетом от -1 до -100 - это процессы реального времени. У таких процессов кроме обычного приоритета существует приоритет реального времени, который используется в политиках планирования FIFO и RR. Для преобразования приоритета реального времени (rt_prior) в обычный приоритет процесса необходимо из -1 вычесть rt_prior. Например, при rt_prior равному 50, обычный приоритет будет равен -51 (-1 - 50 = - 51).

Узнать текущее значение приоритета и параметра NICE можно в выводе команды `htop` - колонки PRI и NI. Чтобы установить htop в Astra Linux, нужно выполнить команду: `sudo apt install htop.`

Задания, интерактивный и фоновый режимы работы процесса

Оболочка Bash позволяет останавливать работу процессов, переводить их в интерактивный и фоновый режим по ходу работы, для чего предназначено несколько команд.

Остановка процессов. Когда мы запускаем утилиты как обычно, например, `kcalc`, они работают в интерактивном режиме, поэтому блокируют работу с терминалом. Если нам нужно вернуться к работе в терминале, мы можем закрыть приложение полностью клавишами `Ctrl + C` или временно приостановить его работу сочетанием `Ctrl + Z`. При этом калькулятор останется на экране, но перестанет реагировать на наши действия.

Перевод процесса в интерактивный режим. Когда мы захотим продолжить работу с калькулятором, нам нужно будет вернуть его обратно в интерактивный режим командой `fg`. В этом случае калькулятор снова начнет реагировать на наши действия, но терминал опять окажется заблокирован.

Команда `fg <задание>` переводит указанное задание в интерактивный режим (от англ. foreground — передний план). Задание может быть указано следующим образом:

- **<N>** — порядковый номер задания, см. команду jobs далее.
- **%шаблон** — поиск задания по его имени, например, %ping или %nmap.
- **%+** и **%-** — следующая и предыдущая задача.
- **%%** — последняя задача. То же самое, что не указывать номер задания.

Перевод процесса в фоновый режим. Если же мы хотим продолжить работу с калькулятором, но не хотим терять доступ к терминалу, мы можем перевести приложение не в интерактивный, а в фоновый режим командой `bg`. В этом случае нам будут доступны и калькулятор, и терминал одновременно, как будто калькулятор изначально был запущен командой `kcalc &` с амперсандом на конце.

Команда `bg <задание>` переводит указанное задание в фоновый режим (от англ. background — задний план). Задание задается таким же образом, как в команде `fg`, поэтому не будем повторяться.

Просмотр фоновых заданий выполняется командой `jobs`. У этой команды есть следующие ключи:

- Ключ `-l` – выводит список процессов заданий с PID процесса и информацией по умолчанию.
- Ключ `-n` – выводит только те процессы, статус которых был изменен с последнего оповещения.
- Ключ `-p` – выводит список только PID фоновых процессов.
- Ключ `-r` – выводит только запущенные фоновые процессы.
- Ключ `-s` – выводит только остановленные фоновые процессы.

Давайте запустим три фоновых процесса и посмотрим список заданий:

```
sa@astra:~$ kcalc &
[1] 2757
sa@astra:~$ kcalc &
[2] 2763
sa@astra:~$ kcalc &
[3] 2768
sa@astra:~$ jobs
[1]   Запущен          kcalc &
```

```
[2]-  Запущен          kcalc &
[3]+  Запущен          kcalc &
```

Извлечение информации о процессах

Информация о процессах доступна через псевдофайловую систему `/proc`. Это универсальный интерфейс для доступа к данным о процессах и работе ядра ОС. Кроме того, используя определенные файлы, можно не только получать информацию о процессах, но и управлять некоторыми настройками ядра ОС. Утилиты для работы с процессами, такие как `ps`, `top` или `htop`, в качестве источника информации используют как раз эту псевдофайловую систему.

Для пользователя взаимодействие с файлами `/proc` выглядит как работа с обычными текстовыми файлами, но это совсем не так. Например, при чтении какого-либо файла командой `cat` происходит системный вызов, и система формирует текстовый ответ, который передается команде.

Часть файлов предоставляет человекочитаемый формат данных, содержащих, например, пары ключ-значение, а часть – машиночитаемые, используемые при работе утилит, которые удобно использовать, например, в скриптах автоматизации.

Вначале мы разберем, что хранится в каталогах `/proc/PID/`, где PID - числовой идентификатор процесса, например, `/proc/1/`, а затем посмотрим содержимое самого каталога `/proc/`.

Содержимое /proc/PID/

```
sa@astra:$ sudo ls /proc/1
arch_status         cwd         mem            patch_state   stat
attr                environ     mountinfo      personality   statm
autogroup           exe         mounts         projid_map    status
auxv                fd          mountstats     root          syscall
cgroup              fdinfo      net            sched         task
clear_refs          gid_map     ns             schedstat     timens_offsets
cmdline             io          numa_maps      sessionid     timers
comm                limits      oom_adj        setgroups     timerslack_ns
coredump_filter     loginuid    oom_score      smaps         uid_map
cpu_resctrl_groups  map_files   oom_score_adj  smaps_rollup  wchan
cpuset              maps        pagemap        stack
```

Файл `/proc/cmdline` – в нем содержится строка запуска процесса.

```
sa@astra:~$ cat /proc/1/cmdline && echo
/sbin/init
```

Файл `/proc/exe` – символическая ссылка, ведущая к полному пути до исполняемого файла. Полный путь необходим для однозначного понимания, какой именно файл был запущен.

```
sa@astra:~$ sudo ls -l --color=always /proc/1/exe
lrwxrwxrwx 1 root root 0 мар 19 11:32 /proc/1/exe -> /usr/lib/systemd/systemd
```

Файл `/proc/cwd` – текущий рабочий каталог процесса PID1.

```
sa@astra:$ sudo ls -l --color=always /proc/1/cwd
lrwxrwxrwx 1 root root 0 мар 19 12:49 /proc/1/cwd -> /
```

Файл `/proc/environ` – окружение процесса, создающее контекст его выполнения.

```
sa@astra:~$ sudo cat /proc/1/environ && echo
SHLVL=1HOME=/init=/sbin/initTERM=linuxBOOT_IMAGE=/boot/vmlinuz-5.15.0-33-
genericdrop_caps=PATH=/sbin:/usr/sbin:/bin:/usr/binPWD=/rootmnt=/root
```

Каталог `/proc/fd/` – дескрипторы открытых файлов (*от англ. file descriptors*). Каждый файл в `fd/` представляет собой символическую ссылку и имеет числовое имя. Это не номер айноды в файловой системе, это уникальный номер в пределах процесса, который позволяет процессу обращаться к конкретным файлам, с которыми он работает. Дескрипторы 0, 1 и 2 - это стандартные ввод, вывод и вывод ошибок.

```
sa@astra:~$ sudo ls -l /proc/1/fd --color=always
итого 0
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 12:38 0 -> /dev/null
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 12:38 1 -> /dev/null
...
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 13:03 109 -> 'socket:[19369]'
lr-x------ 1 root root 64 мар 19 13:03 11 -> anon_inode:inotify
...
lr-x------ 1 root root 64 мар 19 13:03 113 -> 'pipe:[17301]'
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 13:03 114 -> 'socket:[17168]'
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 13:03 115 -> 'socket:[16912]'
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 13:03 116 -> 'socket:[19238]'
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 12:38 12 -> 'socket:[24743]'
lr-x------ 1 root root 64 мар 19 13:03 13 -> /proc/1/mountinfo
lr-x------ 1 root root 64 мар 19 13:03 14 -> anon_inode:inotify
lr-x------ 1 root root 64 мар 19 13:03 15 -> /proc/swaps
...
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 13:03 92 -> /dev/rfkill
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 13:03 93 -> 'socket:[17218]'
lrwx------ 1 root root 64 мар 19 13:03 94 -> /run/initctl
...
```

Файл `/proc/io` – содержит сведения об объемах данных, прочитанных и записанных процессом в хранилище информации.

```
sa@astra:~$ sudo cat /proc/1/io
rchar: 11296824165
wchar: 159986595
syscr: 6481108
syscw: 467703
read_bytes: 801298432
write_bytes: 258985984
cancelled_write_bytes: 43184128
```

Файл `/proc/limits` – отображает различные ограничения процесса, установленные конфигурационным файлом `/etc/security/limits.conf` и командой `ulimit`.

```
sa@astra:~$ sudo cat /proc/1/limits
Limit                     Soft Limit           Hard Limit           Units
Max cpu time              unlimited            unlimited            seconds
Max file size             unlimited            unlimited            bytes
Max data size             unlimited            unlimited            bytes
Max stack size            8388608              unlimited            bytes
```

```
Max core file size        0                   unlimited           bytes
Max resident set          unlimited           unlimited           bytes
Max processes             7524                7524                processes
Max open files            1048576             1048576             files
Max locked memory         67108864            67108864            bytes
Max address space         unlimited           unlimited           bytes
Max file locks            unlimited           unlimited           locks
Max pending signals       7524                7524                signals
Max msgqueue size         819200              819200              bytes
Max nice priority         0                   0
Max realtime priority     0                   0
Max realtime timeout      unlimited           unlimited           us
```

Файл `/proc/maps` – физические адреса страниц памяти, используемые в данный момент.

```
sa@astra:~$ sudo cat /proc/1/maps |  head
61e0b3d17000-61e0b3d45000 r--p 00000000 08:01 396408                     /usr/lib/systemd/systemd
61e0b3d45000-61e0b3e60000 r-xp 0002e000 08:01 396408                     /usr/lib/systemd/systemd
61e0b3e60000-61e0b3eb5000 r--p 00149000 08:01 396408                     /usr/lib/systemd/systemd
61e0b3eb5000-61e0b3eee000 r--p 0019d000 08:01 396408                     /usr/lib/systemd/systemd
...
```

Файл `/proc/pagemap` для каждой виртуальной страницы определяет её фактическое положение: в физической памяти или в файле подкачки. Информация хранится в двоичном коде.

Файл `/proc/sched` –отображение текущих значений переменных планировщика процессов, необходимых для корректной работы планировщика SFC.

```
sa@astra:~$ sudo cat /proc/1/sched
systemd (1, #threads: 1)
-------------------------------------------------------------------
se.exec_start                                :       1936927.703002
se.vruntime                                  :          1252.196899
se.sum_exec_runtime                          :          1674.625884
se.nr_migrations                             :                    0
nr_switches                                  :                 4252
nr_voluntary_switches                        :                  980
nr_involuntary_switches                      :                 3272
se.load.weight                               :              1048576
se.avg.load_sum                              :                  207
se.avg.runnable_sum                          :               211968
se.avg.util_sum                              :               201728
se.avg.load_avg                              :                    0
se.avg.runnable_avg                          :                    0
se.avg.util_avg                              :                    0
se.avg.last_update_time                      :        1936927702016
se.avg.util_est.ewma                         :                    8
se.avg.util_est.enqueued                     :                    0
uclamp.min                                   :                    0
uclamp.max                                   :                 1024
effective uclamp.min                         :                    0
effective uclamp.max                         :                 1024
policy                                       :                    0
prio                                         :                  120
clock-delta                                  :                   33
mm->numa_scan_seq                            :                    0
numa_pages_migrated                          :                    0
numa_preferred_nid                           :                   -1
total_numa_faults                            :                    0
current_node=0, numa_group_id=0

numa_faults node=0 task_private=0 task_shared=0  group_private=0  group_shared=0
```

Файлы `/proc/stat` и `/proc/status` – близкие по своей сути, отражают основные сведения о процессе. Файл **stat** - машиночитаемый формат, а **status** - человекочитаемый. Большинство параметров, выводимых утилитой `ps`, она получает из структур данных, аналогичных тем, которые отображаются в этих файлах.

```
sa@astra:~$ sudo cat /proc/1/stat
1 (systemd) S 0 1 1 0 -1 4194560 9273 117633 170 8005 62 104 189 273 20 0 1 0 7 105480192 28
28 18446744073709551615 107617717604352 107617718763385 140732246690496 0 0 0 671173123 4096
1260 1 0 0 17 0 0 0 0 0 0 107617719115472 107617719345472 107617734889472 140732246691659 1
40732246691670 140732246691670 140732246691821 0
sa@astra: ~$ sudo cat /proc/1/status
Name:   systemd
Umask:  0000
State:  S (sleeping)
Tgid:   1
Ngid:   0
Pid:    1
PPid:   0
TracerPid:      0
Uid:    0       0       0       0
Gid:    0       0       0       0
FDSize: 128
Groups:
NStgid: 1
NSpid:  1
NSpgid: 1
NSsid:  1
VmPeak:   168544 kB
VmSize:   103008 kB
...
Mems_allowed_list:      0
voluntary_ctxt_switches:        986
nonvoluntary_ctxt_switches:     3272
```

Файл **statm** - статистика по использованию памяти. Это 7 чисел, из которых только 5 имеют значения в современных версиях ядра. Все значения - количество страниц памяти:

- **1** – общий размер памяти, занимаемой программой (то же, что и VmSize в файле status)
- **2** – размер резидентной памяти (то же, что и VmRSS в файле status)
- **3** – разделяемые страницы памяти (то же, что и RssFile+RssShmem в файле status)
- **4** – размер сегмента, отведенного под код
- **5** – не используется (всегда 0, начиная с ядра 2.6)
- **6** – размер сегмента данных и стека
- **7** – не используется (всегда 0, начиная с ядра 2.6)

```
sa@astra:~$ cat /proc/1/statm
25752 2828 2172 283 0 4884 0
```

Содержимое /proc

Ниже представлено содержимое каталога `/proc/`. В выводе команды все каталоги с PID заменены на {PID 1,2,…,N} для лучшего восприятия. Файлы, хранящиеся в корне каталога `/proc/`, характеризуют состояние и характеристики всего вычислительного узла и ядра ОС.

```
sa@astra:~$ ls /proc
{PID 1,2, … N}
bootconfig      kallsyms      scsi
buddyinfo       kcore         self
bus             keys          slabinfo
cgroups         key-users     softirqs
cmdline         kmsg          stat
consoles        kpagecgroup   swaps
cpuinfo         kpagecount    sys
crypto          kpageflags    sysrq-trigger
devices         loadavg       sysvipc
diskstats       locks         thread-self
dma             mdstat        timer_list
driver          meminfo       tty
dynamic_debug   misc          uptime
execdomains     modules       version
fb              mounts        version_signature
filesystems     mtrr          vmallocinfo
fs              net           vmstat
interrupts      pagetypeinfo  zoneinfo
iomem           partitions
acpi            ioports        pressure
asound          irq            schedstat
```

Файл `/proc/cmdline` – список параметров, которые были переданы ядру при загрузке.

```
sa@astra:~$ cat /proc/cmdline
BOOT_IMAGE=/boot/vmlinuz-5.15.0-33-generic root=UUID=eba34003-adda-47f3-a50d-8b9513eb81dc ro
parsec.max_ilev=63 quiet net.ifnames=0
```

Файл `/proc/cpuinfo` – сведения о всех установленных процессорах.

```
sa@astra:~$ cat /proc/cpuinfo
processor       : 0
vendor_id       : GenuineIntel
cpu family      : 6
model           : 79
model name      : Intel(R) Core(TM) i7-3517U CPU @ 1.90GHz
stepping        : 9
cpu MHz         : 2394.632
cache size      : 4096 KB
physical id     : 0
siblings        : 1
core id         : 0
cpu cores       : 1
...
```

Файл `/proc/diskstats` – статистика операций со всеми дисками. Для каждого диска своя строка. Описание полей доступно по ссылке.

```
sa@astra:~$ cat /proc/diskstats
 7    0 loop0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
 . . .
8    1 sda1 26397 13868 1078786 19313 4163 14541 185792 7262 0 35336 26576 0 0 0 0 0 0
8    2 sda2 2 0 4 2 0 0 0 0 0 8 2 0 0 0 0 0 0
8    5 sda5 69 0 5000 36 0 0 0 0 0 108 36 0 0 0 0 0 0
11   0 sr0 9 0 4 1 0 0 0 0 0 24 1 0 0 0 0 0 0
```

Файл `/proc/meminfo` – отображение информации о состоянии памяти. Предоставляет больше параметров, чем утилита free.

```
sa@astra:~$ free
```

```
               total        used        free      shared  buff/cache   available
Mem:         2025456      493208      620252       17088      911996     1327116
Swap:         998396           0      998396

sa@astra:~$ cat /proc/meminfo
MemTotal:        2025456 kB
MemFree:          620252 kB
MemAvailable:    1327160 kB
Buffers:          126248 kB
Cached:           435600 kB
SwapCached:            0 kB
Active:           273028 kB
Inactive:         578948 kB
Active(anon):       2292 kB
Inactive(anon):   304932 kB

...
```

Файл `/proc/devices` – перечень устройств в системе.

```
sa@astra:~$ cat /proc/devices
Character devices:
  1 mem
  4 /dev/vc/0
  4 tty
  4 ttyS
  5 /dev/tty
...
Block devices:
  7 loop
  8 sd
  9 md
 11 sr
 65 sd
 66 sd
 67 sd
...
```

Файл `/proc/filesystem` – перечень файловых систем, поддерживаемых ядром ОС.

```
sa@astra:~$ cat /proc/filesystems
nodev   sysfs
nodev   tmpfs
nodev   bdev
nodev   proc
...
        ext3
        ext2
        ext4
...
```

Файл `/proc/mounts` – перечень смонтированных файловых систем (формат данных, аналогичен файлу /etc/fstab).

```
sa@astra:~$ cat /proc/mounts
sysfs /sys sysfs rw,nosuid,nodev,noexec,relatime 0 0
proc /proc proc rw,nosuid,nodev,noexec,relatime 0 0
udev /dev devtmpfs rw,nosuid,relatime,size=963204k,nr_inodes=240801,mode=755,inode64
0 0
devpts /dev/pts devpts rw,nosuid,noexec,relatime,gid=5,mode=620,ptmxmode=000 0 0
tmpfs /run tmpfs rw,nosuid,noexec,relatime,size=202548k,mode=755,inode64 0 0
/dev/sda1 / ext4 rw,relatime,errors=remount-ro 0 0
parsecfs /parsecfs parsecfs rw,sync,relatime 0 0
securityfs /sys/kernel/security securityfs rw,nosuid,nodev,noexec,relatime 0 0
```

```
tmpfs /dev/shm tmpfs rw,nosuid,nodev,inode64 0 0
tmpfs /run/lock tmpfs rw,nosuid,nodev,noexec,relatime,size=5120k,inode64 0 0
...
```

Файл `/proc/modules` – список подгруженных модулей ядра. Ядро Linux монолитное, но модульное, и мы можем управлять тем, какие модули подгружать, а какие нет, тем самым определяя функционал запускаемой ОС.

```
sa@astra:~$ cat /proc/modules
binfmt_misc 24576 1 - Live 0x0000000000000000 (E)
vboxvideo 36864 0 - Live 0x0000000000000000 (OE)
drm_ttm_helper 16384 1 vboxvideo, Live 0x0000000000000000 (E)
intel_rapl_msr 20480 0 - Live 0x0000000000000000 (E)
intel_rapl_common 32768 1 intel_rapl_msr, Live 0x0000000000000000 (E)
...
```

Файл `/proc/swaps` – список разделов подкачки.

```
sa@astra:~$ cat /proc/swaps
Filename                Type            Size        Used      Priority
/dev/sda5               partition       998396      0         -2
```

Файл `/proc/version` – версия ядра ОС.

```
sa@astra:~$ cat /proc/version
Linux version 5.15.0-33-generic (builder@build5) (gcc (AstraLinuxSE 8.3.0-6) 8.3.0, GNU ld
(GNU Bin utils for AstraLinux) 2.31.1) #astra2+ci96 SMP Fri Oct 28 18:23:37 UTC 2
```

Каталог `/sys/kernel/` содержит набор файлов, которые позволяют нам оперативно без перезагрузки изменять параметры ядра ОС (но таких параметров не очень много). Поэтому часть файлов в этом каталоге доступна для записи, и через эти интерфейсы мы можем управлять ядром. Некоторые из них будут рассмотрены в лабораторной, посвящённой ядру ОС.

```
sa@astra:~$ ls /proc/sys/kernel/
acct                                perf_event_max_stack
acpi_video_flags                    perf_event_mlock_kb
auto_msgmni                         perf_event_paranoid
bootloader_type                     pid_max
bootloader_version                  poweroff_cmd
bpf_stats_enabled                   print-fatal-signals
cad_pid                             printk
cap_last_cap                        printk_delay
core_pattern                        printk_devkmsg
core_pipe_limit                     printk_ratelimit
core_uses_pid                       printk_ratelimit_burst
ctrl-alt-del                        pty
dmesg_restrict                      random
...
```

Управление процессами

Для управления процессами в Linux существует набор утилит. Рассмотрим работу с основными из них: консольными утилитами (`ps`, `top` и `htop`, `kill`), а для графической (системный монитор).

Управление процессами через консольные утилиты

Просмотр процессов

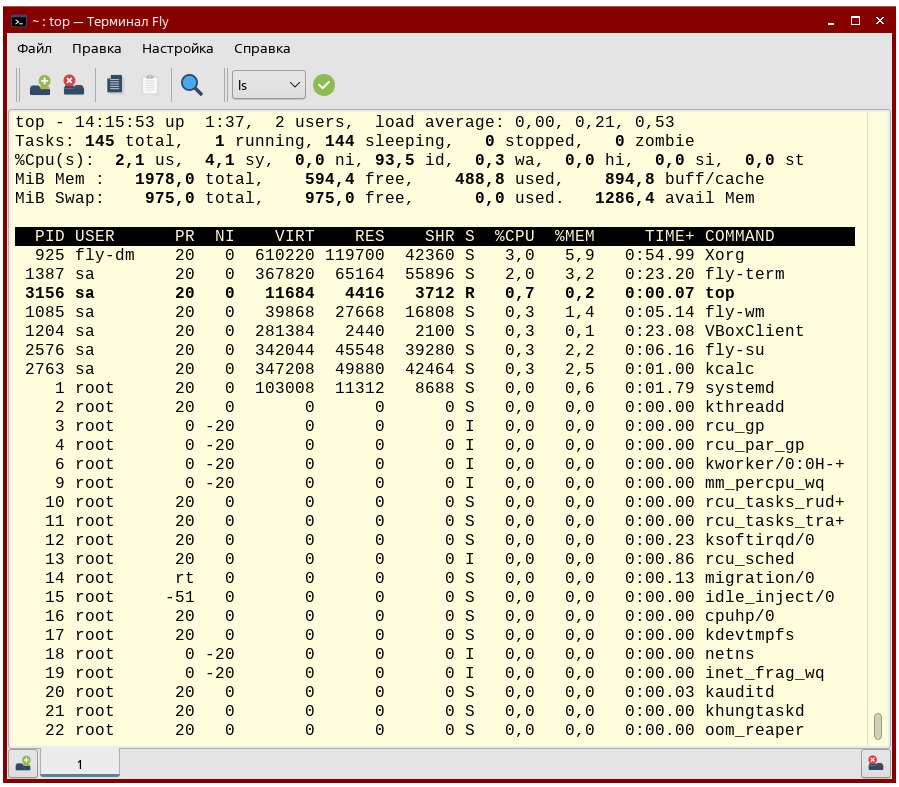
Для просмотра процессов есть три основные консольные утилиты (`ps`, `top` и `htop`) и одна графическая (системный монитор). Утилита ps позволяет получить снимок текущего состояния всех или заданных процессов и их параметров.

```
sa@astra:~$ ps
PID TTY          TIME CMD
1390 pts/0    00:00:00 bash
2757 pts/0    00:00:00 kcalc
2763 pts/0    00:00:00 kcalc
2768 pts/0    00:00:00 kcalc
3150 pts/0    00:00:00 ps
```

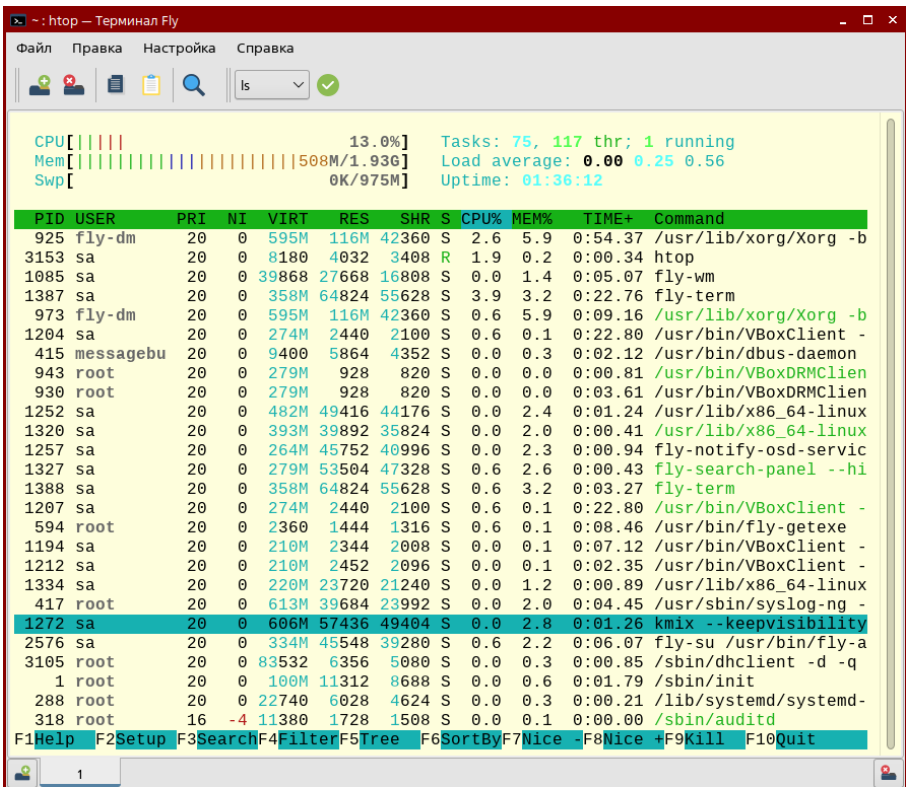
Просмотр процессов через утилиты top и htop

Утилиты `top` и `htop` позволяют просматривать загрузку системы и процессы в реальном времени, изменять сортировку, набор и вид отображаемых параметров, менять значение `nice` процессов или завершать процессы.

Основное отличие между ними в интерфейсе: `htop` более удобен для новичков и тех, кто работал с Windows Task Manager. Он поддерживает управление мышью и имеет более «дружелюбный» интерфейс управления.

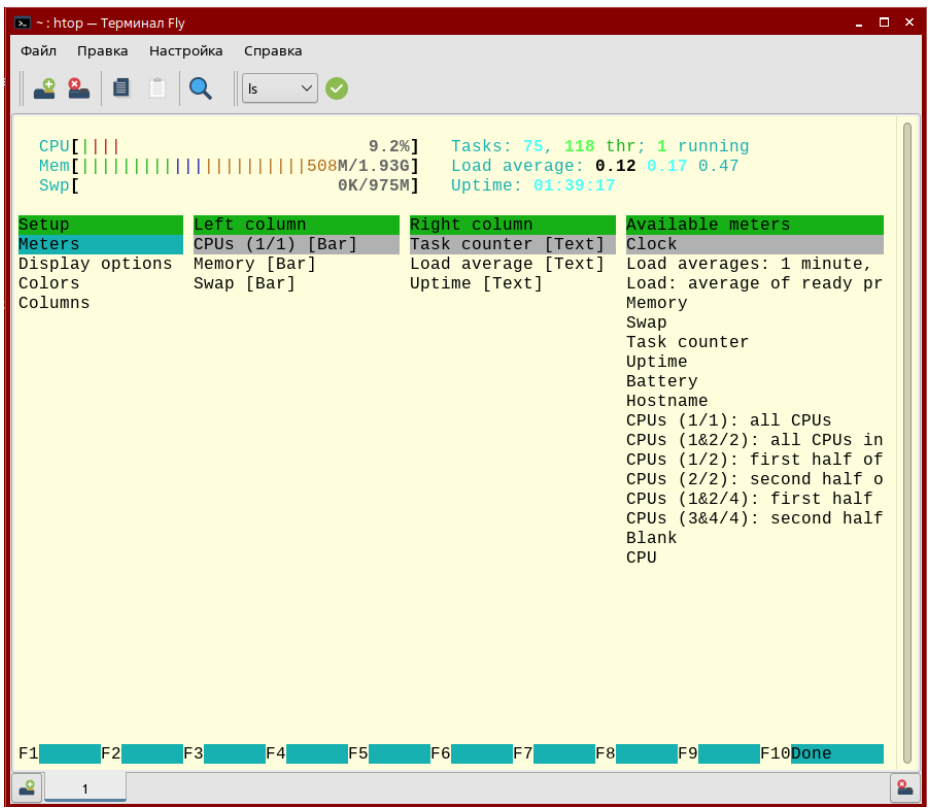


Интерфейс утилиты top

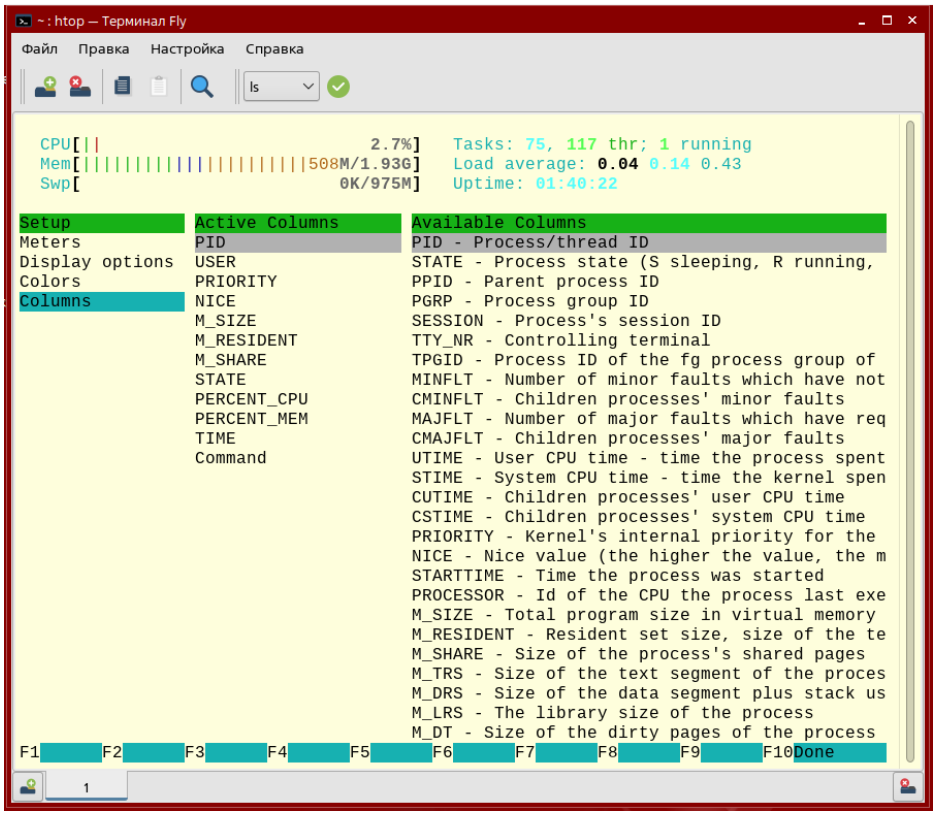


Интерфейс утилиты htop

В нижней части экрана расположена подсказка про доступные действия с помощью функциональных клавиш. Например, при нажатии `F2` мы попадем в меню настроек.



В меню Columns нам доступен выбор отображаемых столбцов и их описание.



Через клавишу `F1` нам доступна кратка справка. Полная справка доступна через man htop.

Утилита ps

Почти все те же действия можно выполнять и с помощью утилиты ps, но без удобного интерактивного режима. Вот некоторые её опции:

- `-e` – вывести на дисплей процессы всех пользователей. Не отображаются только процессы, не связанные с терминалом.
- `-a` – вывести информацию обо всех процессах, за исключением лидеров сессий и процессов, не ассоциированных с терминалом.
- `-t` – показывать только процессы из этого терминала.
- `-p` – показывать информацию только об указанном процессе.
- `-u` – вывод подробной информации в пользовательско-ориентированном формате.
- `-x` – показать процессы без управляющего терминала.
- `-o` – задать формат вывода информации.

Таким образом, команда `ps aux` выводит все активные процессы.

Для сортировки процессов можно воспользоваться параметром `--sort`, например, `ps aux --sort=%mem` или `ps aux --sort=%cpu`.

```
sa@astra:~$ ps aux --sort=%mem | tail -n 3
sa        1264  0.0  3.3 784012 68692 ?        Ssl  12:39   0:00 nm-applet
root      2599  0.0  3.8 671080 77856 ?        SNl  12:42   0:03 fly-admin-gmc --app
lication_name fly-admin-smc --plugin_path /usr/lib/x86_64-linux-gnu/fly-admin-smc --
app_icon fly-admin-smc --window_title Управление политикой безопасности --vertex_ele
```

```
ment_id LocalComputer
...
```

Команда `ps -eo euser,ruser,suser,fuser,f,comm,label` выведет информацию об атрибутах EUID, RUID, SUID.

```
sa@astra:~$ ps -eo euser,ruser,suser,fuser,f,comm,label
EUSER    RUSER    SUSER    FUSER    F COMMAND         LABEL
root     root     root     root     4 systemd         0:63:0:0
root     root     root     root     1 kthreadd        0:63:0:0
root     root     root     root     1 rcu_gp          0:63:0:0
...
sa       sa       sa       sa       4 systemd         0:63:0:0
sa       sa       sa       sa       5 (sd-pam)        0:63:0:0
sa       sa       sa       sa       4 fly-wm          0:63:0:0
...
```

С помощью утилиты ps можно посмотреть и потоки. Воспользуйтесь командами `ps -eLf` и `ps axms`.

```
sa@astra:~$ ps -eLf
UID          PID  PPID   LWP  C NLWP STIME TTY          TIME CMD
root           1     0     1  0    1 12:38 ?        00:00:01 /sbin/init
. . .
sa          2768  1390  2770  0    3 12:48 pts/0    00:00:00 kcalc
root        3063     2  3063  0    1 14:04 ?        00:00:00 [kworker/u2:42-events_unb
root        3069     2  3069  0    1 14:04 ?        00:00:00 [kworker/0:2-events]
root        3077     1  3077  0    1 14:04 ?        00:00:00 /lib/systemd/systemd-jour
root        3105   419  3105  0    2 14:04 ?        00:00:01 /sbin/dhclient -d -q -sf
root        3105   419  3111  0    2 14:04 ?        00:00:00 /sbin/dhclient -d -q -sf
root        3146     2  3146  0    1 14:09 ?        00:00:00 [kworker/u2:0-events_unbo
root        3154     2  3154  0    1 14:15 ?        00:00:00 [kworker/u2:1-events_unbo
root        3175     2  3175  0    1 14:17 ?        00:00:00 [kworker/0:0-events]
sa          3182  1390  3182  0    1 14:23 pts/0    00:00:00 ps -eLf
sa@astra:~$ ps axmu
USER         PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
root           1  0.0  0.5 103008 11312 ?        -    12:38   0:01 /sbin/init
root           -  0.0    -      -     - -        Ss   12:38   0:01 -
. . .
root           -  0.1    -      -     - -        Sl   14:04   0:01 -
root           -  0.0    -      -     - -        Sl   14:04   0:00 -
root        3146  0.0  0.0      0     0 ?        -    14:09   0:00 [kworker/u2:0-event
root           -  0.0    -      -     - -        I    14:09   0:00 -
root        3154  0.0  0.0      0     0 ?        -    14:15   0:00 [kworker/u2:1-event
root           -  0.0    -      -     - -        I    14:15   0:00 -
root        3175  0.0  0.0      0     0 ?        -    14:17   0:00 [kworker/0:0-events
root           -  0.0    -      -     - -        I    14:17   0:00 -
sa          3186  0.0  0.1  11112  3868 pts/0    -    14:28   0:00 ps axmu
sa             -  0.0    -      -     - -        R+   14:28   0:00 -
```

Утилита pstree

С помощью утилиты `pstree` можно вывести дерево процессов. Для её использования необходим пакет psmisc `sudo apt install psmisc`.

```
sa@astra:~$ pstree
systemd─┬─NetworkManager─┬─dhclient───{dhclient}
        │                └─2*[{NetworkManager}]
        ├─3*[VBoxClient───VBoxClient───3*[{VBoxClient}]]
        ├─VBoxClient───VBoxClient───4*[{VBoxClient}]
        ├─VBoxDRMClient───4*[{VBoxDRMClient}]
        ├─VBoxService───8*[{VBoxService}]
        ├─agetty
```

```
        ├─alsactl
        ├─anacron
        ├─astra-orientati───2*[{astra-orientati}]
        ├─at-spi2-registr───2*[{at-spi2-registr}]
        ├─auditd───{auditd}
        ├─avahi-daemon───avahi-daemon
        ├─cron
        ├─cupsd
        ├─3*[dbus-daemon]
        ├─2*[dbus-launch]
        ├─fly-dm─┬─Xorg───5*[{Xorg}]
        │        └─fly-dm───fly-wm─┬─astra-event-wat───{astra-event-wat}
        │                          ├─at-spi-bus-laun─┬─dbus-daemon
        │                          │                 └─3*[{at-spi-bus-laun}]
        │                          ├─baloo_file───2*[{baloo_file}]
        │                          ├─fly-cups-watch───{fly-cups-watch}
        │                          ├─fly-notify-osd-───2*[{fly-notify-osd-}]
        │                          ├─fly-reflex-serv───3*[{fly-reflex-serv}]
        │                          ├─fly-search-pane───2*[{fly-search-pane}]
        │                          ├─fly-term─┬─bash─┬─3*[kcalc───2*[{kcalc}]]
        │                          │          │      └─pstree
        │                          │          └─2*[{fly-term}]
        │                          ├─kmix───3*[{kmix}]
        │                          ├─kscreend───2*[{kscreend}]
        │                          ├─nm-applet───7*[{nm-applet}]
        │                          ├─org_kde_powerde───5*[{org_kde_powerde}]
        │                          ├─polkit-kde-auth───4*[{polkit-kde-auth}]
        │                          ├─ssh-agent
        │                          └─su-to-root───fly-su─┬─sudo───su_stub───fly-adm+
        │                                                └─2*[{fly-su}]
        ├─fly-getexe
```

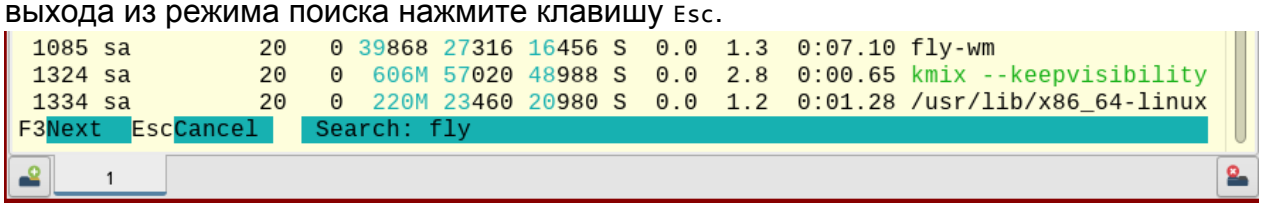
Ключ `-p` позволяет вывести PID процессов `pstree -p`.

```
sa@astra:~$ pstree -p
systemd(1)─┬─NetworkManager(419)─┬─dhclient(3105)───{dhclient}(3111)
           │                     ├─{NetworkManager}(455)
           │                     └─{NetworkManager}(461)
           ├─VBoxClient(1178)───VBoxClient(1179)─┬─{VBoxClient}(1180)
           │                                     ├─{VBoxClient}(1181)
           │                                     └─{VBoxClient}(1182)
...
```

Поиск процессов

Утилита htop

Для поиска процессов в htop необходимо воспользоваться пунктом Search. Для этого нажмите клавишу `F3`. Вам станет доступна строка поиска. После выполнения поиска вы можете переходить от одного процесса к другому. Для выхода из режима поиска нажмите клавишу `Esc`.



В целях поиска может использоваться и фильтрация. Она доступна по нажатию клавиши `F4`.

Для очистки фильтра нажмите клавишу `Esc`.

Утилита ps

Для фильтрации вывода команды `ps` используйте встроенные опции: `-123` или `123`, `-p "1 2"` – вывод информации по PID процессу(ам).

```
sa@astra:~$ ps -1
   PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1 ?        Ss     0:01 /sbin/init
sa@astra:~$ ps 1
   PID TTY      STAT   TIME COMMAND
   1 ?        Ss     0:01 /sbin/init
sa@astra:~$ ps -p "1 2"
   PID TTY          TIME CMD
   1 ?        00:00:01 systemd
   2 ?        00:00:00 kthreadd
```

`-C <имя_команды>` – вывод информации по процессам, имя команды которых соответствует указанному, например, `ps -C bash`.

```
sa@astra:~$ ps -C bash
   PID TTY          TIME CMD
1390 pts/0    00:00:00 bash
```

Используя опцию -o pid, можно вывести только колонку с PID найденных процессов, а используя -o pid=, только PID без названия колонки.

```
sa@astra:~$ ps -C bash -o pid
   PID
1390

sa@astra:~$ ps -C bash -o pid=
1390
```

Другие опции фильтрации ps в справке `man 1 ps`.

Для дополнительной фильтрации можно использовать утилиту **grep**, например, `ps aux | grep tty`.

```
sa@astra:~$ ps aux | grep tty
root       619  0.0  0.0   5808  1768 tty1     Ss+  12:38   0:00 /sbin/agetty -o -p
-- \u --noclear tty1 linux
fly-dm     925  1.1  5.9 610196 119700 tty7    Ssl+ 12:39   1:29 /usr/lib/xorg/Xorg
-br -novtswitch -quiet -keeptty :0 vt7 -logfile /var/log/fly-dm/Xorg.%s.log -seat se
at0 -auth /var/run/xauth/A:0-OOMBoc
sa        3369  0.0  0.0   6096   812 pts/0    S+   14:44   0:00 grep tty
```

Завершение процессов

При работе с утилитой htop для отправки сигнала процессу необходимо нажать `F9`. По умолчанию будет выбран сигнал SIGTERM. Для завершения процесса с этим сигналом необходимо нажать `F9` и `Enter` (или перед нажатием `Enter` вы можете выбрать по необходимости другой сигнал).

Управление через графику в Системном мониторе