

Программный RAID

Часть 1

Славинский В.В.

20 декабря 2025

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Информация

:::::::::: {.columns align=center} :::: {.column width="70%"}
:::: :::: {.column width="30%"}
:::::::

- Славинский Владислав Вадимович
- Студент
- Российский университет дружбы народов
- [1132246169@pfur.ru]

Вводная часть

Проверка создания дисков

После создания трех дисков размером 512МБ, получаем полномочия администратора, и проверим наличие созданных на предыдущем этапе дисков: `fdisk -l | grep /dev/sd`

```
Password:  
[root@slavinskiyvv ~]# fdisk -l | grep /dev/sd  
Disk /dev/sda: 31.16 GiB, 33458307072 bytes, 65348256 sectors  
/dev/sda1 *      2048  2099199  2097152   16 83 Linux  
/dev/sda2        2099200  65347583  63248384 30.2G 8e Linux LVM  
Disk /dev/sdb: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors  
/dev/sdb1        2048  206847  204800  100M 8e Linux LVM  
/dev/sdb2        206848  616447  409600  200M 8e Linux LVM  
/dev/sdb3        616448  923647  307200  150M 8e Linux LVM  
Disk /dev/sdf: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors  
Disk /dev/sdd: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors  
Disk /dev/sdf: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors  
Disk /dev/sde: 512 GiB, 549755813888 bytes, 1073741824 sectors  
[root@slavinskiyvv ~]# █
```

Создание разделов EOF

Создадим на каждом из дисков раздел EOF.

```
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0xb3906f2a

Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type
/dev/sdd1          2848 1048575 1046528 511M 83 Linux

The partition table has been altered.
Calling ioctl() to re-read partition table.
Syncing disks.
[root@slavinskiyv ~]# sfdisk /dev/sde <<EOF
> ;
> EOF
Checking that no-one is using this disk right now ... OK

Disk /dev/sde: 512 GiB, 549755813888 bytes, 1073741824 sectors
Disk model: VBOX HARDDISK
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes

>>> Created a new DOS disklabel with disk identifier 0x9585f294.
/dev/sde1: Created a new partition 1 of type 'Linux' and of size 512 GiB
.
/dev/sde2: Done.

New situation:
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0x9585f294

Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type
/dev/sde1          2848 1073741823 1073739776 512G 83 Linux

The partition table has been altered.
```

Проверка типа созданных разделов

Проверим текущий тип созданных разделов. Все созданные разделы имеют тип 83 Linux.

```
Syncing disks.  
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk --print-id /dev/sdd 1  
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type  
83  
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk --print-id /dev/sde 1  
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type  
83  
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk --print-id /dev/sdf 1  
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type  
83  
[root@slavinskiyvv ~]# █
```

Рис. 3: sc3

Проверкаパーティций

Просмотрим, какие типыパーティций, относящиеся к RAID, можно задать: sfdisk -T | grep -i raid.
Можно задать Linux raid autodetect.

```
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk -T | grep -i raid
fd Linux raid autodetect
[root@slavinskiyvv ~]# █
```

Рис. 4: sc4

Установка типа разделов

Установим тип разделов в Linux raid autodetect.

```
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk --change-id /dev/sdd 1 fd
sfdisk: change-id is deprecated in favour of --part-type
```

The partition table has been altered.

Calling ioctl() to re-read partition table.

Syncing disks.

```
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk --change-id /dev/sde 1 fd
sfdisk: change-id is deprecated in favour of --part-type
```

The partition table has been altered.

Calling ioctl() to re-read partition table.

Syncing disks.

```
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk --change-id /dev/sdf 1 fd
sfdisk: change-id is deprecated in favour of --part-type
```

The partition table has been altered.

Calling ioctl() to re-read partition table.

Syncing disks.

Состояние дисков

Просмотрим состояние дисков

```
Syncing disks.  
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk -l /dev/sdd  
Disk /dev/sdd: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors  
Disk model: VBOX HARDDISK  
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes  
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes  
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes  
Disklabel type: dos  
Disk identifier: 0xb3906f2a  
  
Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type  
/dev/sdd1        2048 1048575 1046528 511M fd Linux raid autodetect  
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk -l /dev/sde  
Disk /dev/sde: 512 GiB, 549755813888 bytes, 1073741824 sectors  
Disk model: VBOX HARDDISK  
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes  
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes  
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes  
Disklabel type: dos  
Disk identifier: 0x9585f294  
  
Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type  
/dev/sde1        2048 1073741823 1073739776 512G fd Linux raid autodetect  
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk -l /dev/sdf  
Disk /dev/sdf: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors  
Disk model: VBOX HARDDISK  
Units: sectors of 1 * 512 = 512 bytes  
Sector size (logical/physical): 512 bytes / 512 bytes  
I/O size (minimum/optimal): 512 bytes / 512 bytes  
Disklabel type: dos  
Disk identifier: 0x8af1f52c
```

Массив RAID 1 из дисков sdd1 и sde1

При помощи утилиты mdadm создадим массив RAID 1 из двух дисков

```
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=1 --rai  
d-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1  
To optimalize recovery speed, it is recommended to enable write-intent b  
itmap, do you want to enable it now? [y/N]? y  
mdadm: Note: this array has metadata at the start and  
      may not be suitable as a boot device. If you plan to  
      store '/boot' on this device please ensure that  
      your boot-loader understands md/v1.x metadata, or use  
      --metadata=0.98  
mdadm: size set to 522240K  
mdadm: largest drive (/dev/sde1) exceeds size (522240K) by more than 1%  
Continue creating array [y/N]? y  
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata  
mdadm: array /dev/md0 started.  
[root@slavinskiyvv ~]#
```

Проверка состояния массива

Проверим состояние массива RAID, используя команды cat /proc/mdstat, mdadm –query /dev/md0, mdadm –detail /dev/md0. Массив RAID 1 создан и синхронизирован. Состояние clean, все данные согласованы. В массиве 2 активных устройства. Политика согласованности bitmap.

```
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --query /dev/md0
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 0 spares. Use mdadm --detail for more detail.
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Sat Dec 28 20:27:30 2025
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 2
      Persistence : Superblock is persistent

      Intent Bitmap : Internal

      Update Time : Sat Dec 28 20:27:32 2025
      State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 2
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 0
```

Создание файловой системы

Создадим файловую систему на RAID: mkfs.ext4 /dev/md0.

```
      1      8      65      1    active sync   /dev/sde1
root@slavinskiyvv ~]# mkfs.ext4 /dev/md0
  e2fsck 1.46.5 (30-Dec-2021)
  creating filesystem with 522240 1k blocks and 138560 inodes
  filesystem UUID: ff1c7061-5dce-4a37-ba7d-7a80bbb3f388
  superblock backups stored on blocks:
        8193, 24577, 40961, 57345, 73729, 204801, 221155, 401409
  allocating group tables: done
  writing inode tables: done
  creating journal (8192 blocks): done
  writing superblocks and filesystem accounting information: done

root@slavinskiyvv ~]#
```

Рис. 9: sc9

Монтирование

Подмонтируем RAID

```
[root@slavinskiyvv ~]# mkdir /data
mkdir: cannot create directory '/data': File exists
[root@slavinskiyvv ~]# mount /dev/md0 /data
[root@slavinskiyvv ~]# nano █
```

Рис. 10: sc10

Запись для автомонтирования

Далее для автомонтирования добавим запись в /etc/fstab: /dev/md0 /data ext4 defaults 1 2

```
#  
# /etc/fstab  
# Created by anaconda on Thu Sep  4 17:29:09 2025  
#  
# Accessible filesystems, by reference, are maintained under '/dev/disk'  
# See man pages fstab(5), findfs(8), mount(8) and/or blkid(8) for more  
#  
# After editing this file, run 'systemctl daemon-reload' to update syst  
# units generated from this file.  
#  
/dev/mapper/rl-root      /           xfs     defaults  
UUID=5998ae84-028d-440d-bd4d-b8717a06a641 /boot          xfs  
#/dev/mapper/rl-swap     none        swap    defaults  
#UUID=fe741b8a-4aa4-4043-aa6c-65cb3e49858f /mnt/data xfs defaults 1 2  
  
#UUID=8ed6b691-e063-4d7c-8b13-21625ba612b2 /mnt/data-ext      ext4 de  
#UUID=91761857-d2f7-4795-be86-5ebbc5fe3584 none swap defaults 0 0  
/dev/vgdata/lvdata /mnt/data ext4 defaults 1 2  
/dev/vgdata/lvgroup /mnt/groups xfs defaults 0 0  
  
/dev/md0 /data ext4 defaults 1 2
```

1

Измененное состояние массива

Сымитируем сбой одного из дисков: mdadm /dev/md0 –fail /dev/sde1. Потом удалим сбойный диск: mdadm /dev/md0 –remove /dev/sde. И заменим диск в массиве: mdadm /dev/md0 –add /dev/sdf. Массив перестраивается с использованием bitmap. Bitmap ускоряет процесс восстановления, так как остигивает только измененные блоки данных.

```
[root@slavinskiyvv ~]# mkdir /data
mkdir: cannot create directory '/data': File exists
[root@slavinskiyvv ~]# mount /dev/md0 /data
[root@slavinskiyvv ~]# nano /etc/fstab
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm /dev/md0 --fail /dev/sde1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm /dev/md0 --remove /dev/sde1
mdadm: hot removed /dev/sde1 from /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm /dev/md0 --add /dev/sdf1
mdadm: added /dev/sdf1
[root@slavinskiyvv ~]# cat /proc/mdstat
Personalities : [raid1]
md0 : active raid1 sdf1[2] sdd1[0]
      522240 blocks super 1.2 [2/2] (UU)
```

Удаление массива и очистка

Удалим массив и очистим метаданные

```
522240 blocks super 1.2 [2/2] [UU]
bitmap: 0/1 pages [0KB], 65536KB chunk

unused devices: <none>
[root@slavinskiyvv ~]# umount /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --stop /dev/md0
mdadm: stopped /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sde1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdf1
[root@slavinskiyvv ~]# █
```

Рис. 13: sc13

Создание массива из двух дисков и добавление третьего

Создадим массив RAID 1 из двух дисков. Потом добавим третий диск sdf1.

```
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sde1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdf1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=1 --rai
d-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1
To optimalize recovery speed, it is recommended to enable write-intent b
itmap, do you want to enable it now? [y/N]? y
mdadm: Note: this array has metadata at the start and
      may not be suitable as a boot device. If you plan to
      store '/boot' on this device please ensure that
      your boot-loader understands md/v1.x metadata, or use
      --metadata=0.98
mdadm: size set to 522240K
mdadm: largest drive (/dev/sde1) exceeds size (522240K) by more than 1%
Continue creating array [y/N]? y
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md0 started.
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --add /dev/md0 /dev/sdf1
```

Мониторинг и просмотр состояния массива

Подмонтируем /dev/md0 и посмотрим состояние массива. Массив имеет два активных диска и одним резервным (spare). Используется bitmap для отслеживания изменений.

```
unused devices: <none>
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --query /dev/md0
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 1 spare. Use mdadm --detail for more detail.
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Sat Dec 28 20:33:37 2025
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Intent Bitmap : Internal

      Update Time : Sat Dec 28 20:33:51 2025
      State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 3
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 1

      Consistency Policy : bitmap

                  Name : slavinskiyvv:@ (local to host slavinskiyvv)
                  UUID : b44008b6:14aeeec09:dfb79cbd:86fad747
                  Events : 18
```

Имитация сбоя одного из дисков

Сымитируем сбой одного из дисков: mdadm /dev/md0 –fail /dev/sde1. Проверим состояние массива: mdadm –detail /dev/md0. Hotspare диск автоматически заменил сбойный диск. Bitmap позволил быстро восстановить данные, так как отслеживал измененные блоки.

```
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm /dev/md0 --fail /dev/sde1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Sat Dec 20 20:33:37 2025
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Intent Bitmap : Internal

      Update Time : Sat Dec 20 20:34:29 2025
                  State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 2
      Failed Devices : 1
      Spare Devices : 0

      Consistency Policy : bitmap

                  Name : slavinskiyvv:0  (local to host slavinskiyvv)
                  UUID : b44008b6:14aeeec8:dfb79cbd:86fad747
                  Events : 37
```

Удаление массива и очистка

Удалим массив и очистим метаданные.

Number	Major	Minor	RaidDevice	State	
0	8	49	0	active sync	/dev/sdd1
2	8	81	1	active sync	/dev/sdf1
1	8	65	-	faulty	/dev/sde1

```
[root@slavinskiyvv ~]# umount /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --stop /dev/md0
mdadm: stopped /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sde1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdf1
[root@slavinskiyvv ~]# █
```

Рис. 17: sc17

Создание массива с двумя дисками

Создадим массив RAID 1 из двух дисков: mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=1 --raid-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1. И добавим третий диск sdf1

```
mdadm: stopped /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sde1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdf1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=1 --rai
d-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1
To optimalize recovery speed, it is recommended to enable write-intent b
itmap, do you want to enable it now? [y/N]? y
mdadm: Note: this array has metadata at the start and
      may not be suitable as a boot device. If you plan to
      store '/boot' on this device please ensure that
      your boot-loader understands md/v1.x metadata, or use
      --metadata=0.98
mdadm: size set to 522240K
mdadm: largest drive (/dev/sde1) exceeds size (522240K) by more than 1%
Continue creating array [y/N]? y
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md0 started.
```

Мониторинг и проверка состояния

Подмонтируем /dev/md0 и проверим состояние массива.

```
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --query /dev/md0
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 1 spare. Use mdadm --detail for more detail.
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Sat Dec 28 20:35:30 2025
      Raid Level : raid1
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Intent Bitmap : Internal

      Update Time : Sat Dec 28 20:35:41 2025
      State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 3
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 1

      Consistency Policy : bitmap

                  Name : slavinskiyvv:0 (local to host slavinskiyvv)
                  UUID : d241ee3b:86a9a6da:7ab9905d:4bfd56d5
                  Events : 18

      Number  Major  Minor  RaidDevice State
          0       8       49        0     active sync   /dev/sdd1
          1       8       65        1     active sync   /dev/sde1
```

Изменение типа массива

Измените тип массива RAID 5 и проверим состояние. Массив преобразован в RAID 5 с использованием bitmap. Преобразование происходит постепенно с сохранением данных.

```
mdadm: level of /dev/md0 changed to raid5
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Sat Dec 20 20:35:30 2025
      Raid Level : raid5
      Array Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 2
      Total Devices : 3
      Persistence : Superblock is persistent

      Intent Bitmap : Internal

      Update Time : Sat Dec 20 20:36:10 2025
      State : clean
      Active Devices : 2
      Working Devices : 3
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 1

      Layout : left-symmetric
      Chunk Size : 64K

Consistency Policy : bitmap

      Name : $slavinskiyvv:0 (local to host slavinskiyvv)
      UUID : d241ee3b:86a9a6da:7ab9905d:4bdf56d5
      Events : 19
```

Изменение кол-во дисков в массиве

Изменим количество дисков в массиве RAID 5 и посмотрим изменения. RAID 5 с тремя дисками, полезный объем увеличен до 1гб. Bitmap продолжает использоваться для отслеживания изменений.

```
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --grow /dev/md0 --raid-devices 3
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
      Version : 1.2
      Creation Time : Sat Dec 28 20:35:30 2025
      Raid Level : raid5
      Array Size : 1044480 (1020.00 MiB 1069.55 MB)
      Used Dev Size : 522240 (510.00 MiB 534.77 MB)
      Raid Devices : 3
      Total Devices : 3
          Persistence : Superblock is persistent

          Intent Bitmap : Internal

      Update Time : Sat Dec 28 20:36:39 2025
          State : clean
      Active Devices : 3
      Working Devices : 3
      Failed Devices : 0
      Spare Devices : 0

          Layout : left-symmetric
          Chunk Size : 64K

Consistency Policy : bitmap

Name : slavinskiyvv:0 (local to host slavinskiyvv)
```

Удаление массива и очистка

Удалим массив и очистим метаданные и закомментируем запись в /etc/fstab.

```
      1      8      65      1      active sync    /dev/sde1
      2      8      81      2      active sync    /dev/sdf1
[root@slavinskiyvv ~]# umount /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --stop /dev/md0
mdadm: stopped /dev/md0
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sde1
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --zero-superblock /dev/sdf1
[root@slavinskiyvv ~]# nano ■
```

Рис. 22: sc22