

# Программный RAID

## Часть 1

---

Славинский В.В.

20 декабря 2025

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия Россия

## Информация

---

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

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

::: ::: {.column width="30%"}

## 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@slavinskiyv ~]# fdisk -l | grep /dev/sd
Disk /dev/sda: 31.16 GiB, 33458307072 bytes, 65348256 sectors
/dev/sda1 *      2048 2099199 2097152    1G 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/sdc: 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@slavinskiyv ~]#
```

Создадим на каждом из дисков раздел EOF.

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

Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type
/dev/sdd1    2048 1048575 1046528   511M 83 Linux

The partition table has been altered.
Calling ioctl() to re-read partition table.
Syncing disks.
[root@slavinskiyvv ~]# 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 HARDISK
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    2048 1073741823 1073739776   512G 83 Linux

The partition table has been altered.
```

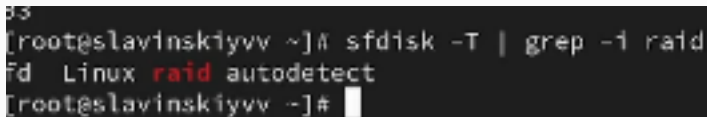
## Проверка типа созданных разделов

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

Посмотрим, какие типы 파티ций, относящиеся к RAID, можно задать: `sfdisk -T | grep -i raid`.  
Можно задать Linux raid autodetect.



```
83  
[root@slavinskiyvv ~]# sfdisk -T | grep -i raid  
fd Linux raid autodetect  
[root@slavinskiyvv ~]#
```

Рис. 4: sc4



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.
```

### Посмотрим 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

```
mdadm: cannot open /dev/sde2: No such file or directory
[root@slavinskiyvv ~]# mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=1 --raid-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1
To optimize recovery speed, it is recommended to enable write-indent bitmap, 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 20 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 20 20:27:32 2025
      State : clean
  Active Devices : 2
 Working Devices : 2
  Failed Devices : 0
   Spare Devices : 0
```

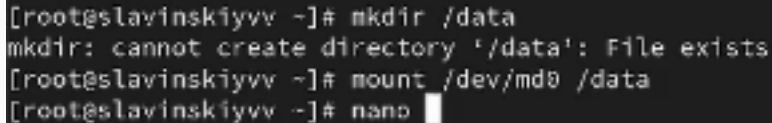
Создадим файловую систему на RAID: `mkfs.ext4 /dev/md0`.

```
1      8      65      1      active sync  /dev/sde1
root@slavinskiyvv ~]# mkfs.ext4 /dev/md0
mke2fs 1.46.5 (30-Dec-2021)
Creating filesystem with 522240 1k blocks and 130560 inodes
Filesystem UUID: ff1c7062-5dce-4a37-ba7d-7a80bbb3f388
Superblock backups stored on blocks:
    8193, 24577, 40961, 57345, 73729, 204801, 221185, 401409

Allocating group tables: done
Writing inode tables: done
Creating journal (8192 blocks): done
Writing superblocks and filesystem accounting information: done

root@slavinskiyvv ~]#
```

Подмонтируем RAID

A terminal window with a black background and white text. The text shows a sequence of commands and their outputs in a root shell on a system named 'slavinskiyvv'.

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

Рис. 10: sc10

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 systemd
# units generated from this file.
#
/dev/mapper/rl-root    /                    xfs     defaults
UUID=5098ae84-028d-440d-bd4d-b0717a06a641 /boot                xfs
#/dev/mapper/rl-swap   none                swap     defaults
#UUID=fe741b8a-4aa4-4043-aa6c-65cb3e49058f /mnt/data xfs defaults 1 2

#UUID=8ed6b691-e063-4d7c-8b13-21625ba612b2 /mnt/data-ext        ext4 de
#UUID=91761857-d2f7-4795-be86-5ebbc5fe3504 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
```

## Измененное состояние массива

Сымитируем сбой одного из дисков: `mdadm /dev/md0 --fail /dev/sde1`. Потом удалим сбойный диск: `mdadm /dev/md0 --remove /dev/sde1`. И заменим диск в массиве: `mdadm /dev/md0 --add /dev/sdf1`. Массив перестраивается с использованием bitmap. Bitmap ускоряет процесс восстановления, так как отслеживает 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]
```



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 --raid-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1
To optimize recovery speed, it is recommended to enable write-indent bitmap, 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=0.90
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
```

## Монтирование 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 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 20:33:51 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 : b44008b6:14aee09:d7b79cbd:06fad747
  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 : b44008b6:14aee09:dfb79cbd:86fad747
        Events : 37
```

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 ~]#
```

## 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 --raid-devices=2 /dev/sdd1 /dev/sde1
To optimize recovery speed, it is recommended to enable write-indent bitmap, 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=0.90
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.
```

## Монтирование 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 20 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 20 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:4bdf56d5
    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 20 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 20 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)
```

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