

Отчёт по лабораторной работе №16

Программный RAID

Щемелев Илья Владимирович

Содержание

1	Цель работы	5
2	Ход выполнения	6
2.1	Создание программного RAID-массива (RAID 1)	6
2.2	RAID-массив с горячим резервом (hot spare)	15
2.3	Преобразование массива RAID 1 в RAID 5	19
3	Контрольные вопросы	25
4	Заключение	28

Список иллюстраций

2.1	Проверка подключённых дисков	6
2.2	Создание раздела на диске	7
2.3	Проверка типа разделов	8
2.4	Изменение типа разделов на RAID	9
2.5	Состояние дисков после изменения типа	10
2.6	Создание RAID 1 и проверка состояния	11
2.7	Детальная информация о RAID-массиве	12
2.8	Настройка автомонтирования RAID	13
2.9	Имитация отказа и замена диска в RAID	14
2.10	Удаление RAID-массива и очистка метаданных	15
2.11	Добавление горячего резервного диска	16
2.12	Проверка состояния RAID с горячим резервом	17
2.13	Состояние RAID после сбоя диска	18
2.14	Остановка RAID и очистка метаданных	19
2.15	Создание RAID1 и добавление третьего диска	20
2.16	Состояние RAID1 перед преобразованием	21
2.17	Изменение уровня массива на RAID5	22
2.18	Расширение RAID5 до трёх дисков и проверка состояния	23
2.19	Остановка массива и очистка метаданных	24
2.20	Комментирование записи /dev/md0 в /etc/fstab	24

Список таблиц

1 Цель работы

Освоить работу с RAID-массивами при помощи утилиты mdadm.

2 Ход выполнения

2.1 Создание программного RAID-массива (RAID 1)

1. Виртуальная машина была запущена, после чего получены полномочия администратора.

Далее выполнена проверка наличия ранее добавленных дисков.

В системе дополнительные диски определились как **/dev/sdc**, **/dev/sdd** и **/dev/sde**, каждый объёмом **512 MiB**.

```
ivschemelev@ivschemelev:~$ su
Password:
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# fdisk -l | grep /dev/sd
Disk /dev/sdb: 1.5 GiB, 1610612736 bytes, 3145728 sectors
/dev/sdb1      2048 1230847 1228800 600M 8e Linux LVM
/dev/sdb2      1230848 2152447 921600 450M 8e Linux LVM
Disk /dev/sda: 1.5 GiB, 1610612736 bytes, 3145728 sectors
/dev/sda1      2048 616447 614400 300M 8e Linux LVM
/dev/sda2      616448 1230847 614400 300M 8e Linux LVM
Disk /dev/sdd: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk /dev/sdc: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk /dev/sde: 512 MiB, 536870912 bytes, 1048576 sectors
Disk /dev/sdf: 50 GiB, 53687091200 bytes, 104857600 sectors
/dev/sdf1      2048 4095 2048 1M BIOS boot
/dev/sdf2      4096 2101247 2097152 1G Linux extended boot
/dev/sdf3      2101248 104855551 102754304 49G Linux LVM
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#
```

Рис. 2.1: Проверка подключённых дисков

2. На каждом из обнаруженных дисков был создан один раздел на весь доступный объём.

В процессе была автоматически создана таблица разделов типа **DOS (MBR)**.

В результате на каждом диске появился раздел вида **/dev/sdX1**.

```
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk /dev/sdc <<EOF
;
EOF
Checking that no-one is using this disk right now ... OK

Disk /dev/sdc: 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

>>> Created a new DOS (MBR) disklabel with disk identifier 0x6d0b2ca3.
/dev/sdc1: Created a new partition 1 of type 'Linux' and of size 511 MiB.
/dev/sdc2: Done.

New situation:
Disklabel type: dos
Disk identifier: 0x6d0b2ca3

Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type
/dev/sdc1                2048 1048575 1046528   511M 83 Linux

The partition table has been altered.
Calling ioctl() to re-read partition table.
Syncing disks.
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# █
```

Рис. 2.2: Создание раздела на диске

3. После создания разделов был проверен их тип.

Для всех созданных разделов был получен идентификатор **83**, что соответствует типу **Linux**.

Это означает, что по умолчанию разделы не предназначены для использования в RAID.

```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev#
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --print-id /dev/sdd 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --print-id /dev/sde 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --print-id /dev/sdc 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk -T | grep -i raid
fd Linux raid autodetect
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# 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@ivschemelev:/home/ivschemelev# 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@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --change-id /dev/sdc 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@ivschemelev:/home/ivschemelev#

```

Рис. 2.3: Проверка типа разделов

4. Далее были просмотрены доступные типы разделов, относящиеся к RAID.

Определено, что для программного RAID используется тип **fd — Linux raid autodetect**.

После этого тип всех созданных разделов был изменён на **fd**.

Изменения таблицы разделов успешно применены и перечитаны ядром системы.


```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev#
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --print-id /dev/sdd 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --print-id /dev/sde 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --print-id /dev/sdc 1
sfdisk: print-id is deprecated in favour of --part-type
83
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk -T | grep -i raid
fd Linux raid autodetect
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# 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@ivschemelev:/home/ivschemelev# 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@ivschemelev:/home/ivschemelev# sfdisk --change-id /dev/sdc 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@ivschemelev:/home/ivschemelev#

```

Рис. 2.4: Изменение типа разделов на RAID

5. Выполнена повторная проверка состояния и структуры всех трёх дисков.

Каждый диск имеет один раздел размером **511 MiB**, тип таблицы разделов — **dos**, тип раздела — **Linux raid autodetect (fd)**.

Диски полностью готовы к включению в RAID-массив.

```

root@ivschemellev:/home/ivschemellev# 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: 0x9e70955a

Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type
/dev/sdd1    2048 1048575 1046528  511M fd Linux raid autodetect
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# sfdisk -l /dev/sde
Disk /dev/sde: 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: 0xe9cb286d

Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type
/dev/sde1    2048 1048575 1046528  511M fd Linux raid autodetect
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# sfdisk -l /dev/sdc
Disk /dev/sdc: 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: 0x6d0b2ca3

Device      Boot Start      End Sectors  Size Id Type
/dev/sdc1    2048 1048575 1046528  511M fd Linux raid autodetect
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# █

```

Рис. 2.5: Состояние дисков после изменения типа

6. С использованием утилиты **mdadm** был создан программный RAID-массив уровня **RAID 1** из двух разделов.

В процессе создания массива система вывела предупреждение о формате метаданных и предложила включить write-intent bitmap, от чего было отказано.

После подтверждения массив **/dev/md0** был успешно создан.

Состояние массива проверено:

массив активен, уровень — **raid1**, оба диска находятся в рабочем состоянии.

```

root@ivschemelov:/home/ivschemelov# 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]?
mdadm: assuming no.
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
Continue creating array [y/N]? y
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md0 started.
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# cat /proc/mdstat
Personalities : [raid1]
md0 : active raid1 sde1[1] sdd1[0]
      522240 blocks super 1.2 [2/2] [UU]

unused devices: <none>
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# mdadm --query /dev/md0
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 0 spares. Use mdadm --detail for more detail.
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# █

```

Рис. 2.6: Создание RAID 1 и проверка состояния

7. Выполнен детальный просмотр параметров массива.

RAID-массив находится в состоянии **clean**, количество активных устройств — **2**, отказавших и резервных устройств нет.

Оба диска работают в режиме **active sync**, что подтверждает корректную работу зеркалирования.

```

root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
    Version : 1.2
    Creation Time : Sat Jan 17 14:01:57 2026
    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

    Update Time : Sat Jan 17 14:01:59 2026
    State : clean
    Active Devices : 2
    Working Devices : 2
    Failed Devices : 0
    Spare Devices : 0

Consistency Policy : resync

    Name : ivschemelev.localdomain:0 (local to host ivschemelev.localdomain)
    UUID : bfae9416:9ca2c450:7d26356d:013112d7
    Events : 17

    Number Major Minor RaidDevice State
       0     8     49        0     active sync  /dev/sdd1
       1     8     65        1     active sync  /dev/sde1
root@ivschemellev:/home/ivschemellev#

```

Рис. 2.7: Детальная информация о RAID-массиве

8. На созданном RAID-массиве была создана файловая система **ext4**.

Массив был смонтирован в каталог **/data**.

Для обеспечения автоматического монтирования при загрузке системы в файл **/etc/fstab** добавлена соответствующая запись.

```
GNU nano 8.1 /etc/fstab

#
# /etc/fstab
# Created by anaconda on Fri Jan 16 11:32:16 2026
#
# Accessible filesystems, by reference, are maintained under '/dev/disk/'.
# See man pages fstab(5), findfs(8), mount(8) and/or blkid(8) for more info.
#
# After editing this file, run 'systemctl daemon-reload' to update systemd
# units generated from this file.
#
UUID=b552a213-cc13-43ac-b518-a1c5c52c8d5e / xfs defaults 0 0
UUID=7ac262fa-85bd-4a83-808b-8111bf61c34d /boot xfs defaults 0 0
UUID=033ba33a-9b4a-4407-81fd-3c8462b17b78 none swap defaults 0 0
/dev/vgdata/lvdata /mnt/data ext4 defaults 1 2
/dev/vggroup/lvggroup /mnt/groups xfs defaults 1 2
/dev/md0 /data ext4 defaults 1 2
#UUID=dbdd84e0-a5ff-48a5-b476-9ba5eb00e66d /mnt/data xfs defaults 1 2
#UUID=397e2311-797e-4490-b3a9-f703326e0342 /mnt/data-ext ext4 defaults 1 2
#UUID=e95c3a0f-a9bf-44f3-811c-cbd748688f8d none swap defaults 0 0
```

Рис. 2.8: Настройка автомонтирования RAID

9. Для проверки отказоустойчивости массива был смоделирован сбой одного из дисков.

Один из разделов был помечен как сбойный и удалён из массива.

После этого в массив был добавлен новый раздел с третьего диска.

Проверка состояния показала, что массив продолжает корректно работать, оба активных диска находятся в состоянии синхронизации, состояние массива — **clean**.

```

root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mount | grep md0
/dev/md0 on /data type ext4 (rw,relatime,seclabel)
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm /dev/md0 --fail /dev/sde1
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm /dev/md0 --remove /dev/sde1
mdadm: hot removed /dev/sde1 from /dev/md0
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm /dev/md0 --add /dev/sdc1
mdadm: added /dev/sdc1
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
    Version : 1.2
  Creation Time : Sat Jan 17 14:01:57 2026
    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

    Update Time : Sat Jan 17 14:05:38 2026
      State : clean
 Active Devices : 2
Working Devices : 2
 Failed Devices : 0
  Spare Devices : 0

Consistency Policy : resync

    Name : ivschemellev.localdomain:0 (local to host ivschemellev.localdomain)
    UUID : bfae9416:9ca2c450:7d26356d:013112d7
    Events : 39

   Number  Major   Minor  RaidDevice State
    0         8       49         0   active sync  /dev/sdd1
    2         8       33         1   active sync  /dev/sdc1
root@ivschemellev:/home/ivschemellev#

```

Рис. 2.9: Имитация отказа и замена диска в RAID

10. По завершении лабораторной работы RAID-массив был корректно удалён. Сначала массив был размонтирован и остановлен, после чего с каждого из использованных разделов были удалены RAID-метаданные. Система приведена в исходное состояние.

```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev#
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# umount /dev/md0
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --stop /dev/md0
mdadm: stopped /dev/md0
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --zero-superblock /dev/sde1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --zero-superblock /dev/sdc1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# █

```

Рис. 2.10: Удаление RAID-массива и очистка метаданных

2.2 RAID-массив с горячим резервом (hot spare)

1. После запуска виртуальной машины были получены полномочия администратора.

Далее с использованием утилиты **mdadm** создан программный RAID-массив уровня **RAID 1** из двух разделов **/dev/sdd1** и **/dev/sde1**.

В процессе создания массива система выдала рекомендации по использованию write-intent bitmap и предупреждение о формате метаданных.

После подтверждения операции массив **/dev/md0** был успешно инициализирован и запущен.

2. После создания массива в него был добавлен третий раздел **/dev/sdc1**, который использован в качестве горячего резерва (hot spare).

Добавление диска выполнено без остановки массива, что подтверждает возможность динамического управления RAID.

```

-----
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# 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]?
mdadm: assuming no.
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
Continue creating array [y/N]? y
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md0 started.
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --add /dev/md0 /dev/sdc1
mdadm: added /dev/sdc1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mount /dev/md0
mount: (hint) your fstab has been modified, but systemd still uses
      the old version; use 'systemctl daemon-reload' to reload.
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# cat /proc/mdstat
Personalities : [raid1]
md0 : active raid1 sdc1[2](S) sde1[1] sdd1[0]
      522240 blocks super 1.2 [2/2] [UU]

unused devices: <none>
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --query /dev/md0
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 1 spare. Use mdadm --detail for more detail.
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# █

```

Рис. 2.11: Добавление горячего резервного диска

3. RAID-массив был смонтирован, после чего выполнена проверка его состояния.

Согласно выводу системных утилит:

- массив **md0** активен;
- уровень массива — **raid1**;
- два диска находятся в состоянии **active sync**;
- один диск определён как **spare** (горячий резерв);
- состояние массива — **clean**.

Это подтверждает, что массив функционирует корректно и имеет резервное устройство для автоматического восстановления.


```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
    Version : 1.2
  Creation Time : Sat Jan 17 14:07:58 2026
    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

    Update Time : Sat Jan 17 14:08:29 2026
      State : clean
  Active Devices : 2
 Working Devices : 3
 Failed Devices : 0
  Spare Devices : 1


Consistency Policy : resync

    Name : ivschemelev.localdomain:0 (local to host ivschemelev.localdomain)
    UUID : ec64a403:c5f71fc3:fcd688b5:e4c110fd
    Events : 18

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

     2         8       33         -   spare        /dev/sdc1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#

```

Рис. 2.12: Проверка состояния RAID с горячим резервом

4. Для проверки отказоустойчивости был смоделирован сбой одного из рабочих дисков массива.

Раздел **/dev/sde1** был помечен как неисправный.

После этого система автоматически исключила его из массива и задействовала резервный диск **/dev/sdc1**, который перешёл в состояние **active sync**.

Массив продолжил работу без остановки и потери доступности данных.

5. Состояние массива после сбоя подтверждает корректную автоматическую перестройку:

- один диск имеет состояние **faulty**;
- два оставшихся диска находятся в состоянии **active sync**;

- массив остаётся в состоянии **clean** и доступен для использования.

Данный результат демонстрирует работу механизма горячего резерва и автоматического восстановления RAID 1.

```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm /dev/md0 --fail /dev/sde1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
    Version : 1.2
  Creation Time : Sat Jan 17 14:07:58 2026
    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

    Update Time : Sat Jan 17 14:09:56 2026
      State : clean
  Active Devices : 2
 Working Devices : 2
 Failed Devices : 1
  Spare Devices : 0

Consistency Policy : resync

    Name : ivschemelev.localdomain:0 (local to host ivschemelev.localdomain)
   UUID : ec64a403:c5f71fc3:fcd688b5:e4c110fd
  Events : 37

   Number  Major   Minor  RaidDevice State
    0         8       49         0   active sync   /dev/sdd1
    2         8       33         1   active sync   /dev/sdc1

    1         8       65         -   faulty   /dev/sde1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#

```

Рис. 2.13: Состояние RAID после сбоя диска

- По завершении эксперимента RAID-массив был корректно удалён.

Массив предварительно размонтирован, затем остановлен, после чего с каждого из задействованных разделов были удалены RAID-метаданные. Это гарантирует отсутствие конфликтов при последующем использовании дисков.

```
root@ivschemellev:/home/ivschemellev#  
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# umount /dev/md0  
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm --stop /dev/md0  
mdadm: stopped /dev/md0  
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1  
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm --zero-superblock /dev/sde1  
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# mdadm --zero-superblock /dev/sdc1  
root@ivschemellev:/home/ivschemellev# █
```

Рис. 2.14: Остановка RAID и очистка метаданных

2.3 Преобразование массива RAID 1 в RAID 5

1. После запуска виртуальной машины были получены полномочия администратора.

Далее с использованием утилиты **mdadm** создан программный RAID-массив уровня **RAID 1** из двух разделов **/dev/sdd1** и **/dev/sde1**.

В процессе создания массива система вывела предупреждение о метаданных и рекомендацию включить write-intent bitmap, после чего массив **/dev/md0** был успешно запущен.

Затем в массив добавлен третий диск **/dev/sdc1** (на данном этапе он используется как резервный, spare).

```

root@ivschemelov:/home/ivschemelov# 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]?
mdadm: assuming no.
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
Continue creating array [y/N]? y
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md0 started.
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# mdadm --add /dev/md0 /dev/sdc1
mdadm: added /dev/sdc1
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# mount /dev/md0
mount: (hint) your fstab has been modified, but systemd still uses
      the old version; use 'systemctl daemon-reload' to reload.
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# cat /proc/mdstat
Personalities : [raid1]
md0 : active raid1 sdc1[2](S) sde1[1] sdd1[0]
      522240 blocks super 1.2 [2/2] [UU]

unused devices: <none>
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# mdadm --query /dev/md0
/dev/md0: 510.00MiB raid1 2 devices, 1 spare. Use mdadm --detail for more detail.
root@ivschemelov:/home/ivschemelov# █

```

Рис. 2.15: Создание RAID1 и добавление третьего диска

2. RAID-массив был смонтирован, после чего выполнена проверка его состояния.

По результатам проверки:

- уровень массива — **raid1**;
- состояние — **clean**;
- активных устройств — **2** (оба в режиме **active sync**);
- всего устройств — **3**, из них **1** находится в состоянии **spare** (горячий резерв).

Это означает, что массив RAID 1 работает штатно, а третий диск подготовлен для автоматической замены при отказе одного из основных дисков.

```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
    Version : 1.2
    Creation Time : Sat Jan 17 14:11:49 2026
    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

    Update Time : Sat Jan 17 14:12:09 2026
    State : clean
    Active Devices : 2
    Working Devices : 3
    Failed Devices : 0
    Spare Devices : 1

Consistency Policy : resync

    Name : ivschemelev.localdomain:0 (local to host ivschemelev.localdomain)
    UUID : 304cd325:247cbd0c:bed7440e:44abbb23
    Events : 18

   Number Major Minor RaidDevice State
    0         8      49        0     active sync  /dev/sdd1
    1         8      65        1     active sync  /dev/sde1
    2         8      33        -     spare    /dev/sdc1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#

```

Рис. 2.16: Состояние RAID1 перед преобразованием

3. Выполнено изменение уровня массива с **RAID 1** на **RAID 5** командой изменения типа массива.

После выполнения операции уровень массива в выводе `mdadm --detail` изменился на **raid5**, при этом конфигурация устройств ещё не изменилась: активных дисков по-прежнему **2**, а третий диск остаётся **spare**.

Состояние массива сохраняется как **clean**, что указывает на корректное применение новой конфигурации уровня.

```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --grow /dev/md0 --level=5
mdadm: level of /dev/md0 changed to raid5
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
    Version : 1.2
  Creation Time : Sat Jan 17 14:11:49 2026
    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

    Update Time : Sat Jan 17 14:13:49 2026
      State : clean
  Active Devices : 2
Working Devices : 3
Failed Devices : 0
Spare Devices : 1

    Layout : left-symmetric
    Chunk Size : 64K

Consistency Policy : resync

    Name : ivschemelev.localdomain:0 (local to host ivschemelev.localdomain)
    UUID : 304cd325:247cbd0c:bed7440e:44abbb23
    Events : 19

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

    2         8       33            -   spare        /dev/sdc1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# █

```

Рис. 2.17: Изменение уровня массива на RAID5

4. Далее выполнено расширение массива до трёх устройств (изменение количества дисков в RAID 5).

В процессе проверки была допущена ошибка при обращении к устройству (/dev/md вместо /dev/md0), после чего команда была повторена корректно.

После расширения:

- уровень массива — **raid5**;
- активных устройств — **3**;
- резервных устройств — **0**;

- все три диска (**/dev/sdd1**, **/dev/sde1**, **/dev/sdc1**) находятся в состоянии **active sync**;
- размер массива увеличился до **~1020 MiB**, что соответствует объединению трёх дисков по **~510 MiB** с учётом избыточности RAID 5.

```

root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --grow /dev/md0 --raid-devices=3
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --detail /dev/md
mdadm: cannot open /dev/md: No such file or directory
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --detail /dev/md0
/dev/md0:
    Version : 1.2
  Creation Time : Sat Jan 17 14:11:49 2026
    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

    Update Time : Sat Jan 17 14:14:27 2026
      State : clean
 Active Devices : 3
Working Devices : 3
 Failed Devices : 0
  Spare Devices : 0


    Layout : left-symmetric
   Chunk Size : 64K

Consistency Policy : resync

           Name : ivschemelev.localdomain:0 (local to host ivschemelev.localdomain)
          UUID : 304cd325:247cbd0c:bed7440e:44abbb23
         Events : 37


   Number   Major   Minor   RaidDevice State
     0         8       49         0     active sync  /dev/sdd1
     1         8       65         1     active sync  /dev/sde1
     2         8       33         2     active sync  /dev/sdc1
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#

```

Рис. 2.18: Расширение RAID5 до трёх дисков и проверка состояния

5. По завершении преобразования массив был корректно удалён и выполнена очистка метаданных.

Массив размонтирован и остановлен, после чего выполнено удаление RAID superblock на всех задействованных разделах (**/dev/sdd1**, **/dev/sde1**, **/dev/sdc1**).

Это исключает конфликты при повторном использовании дисков.

```
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#  
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# umount /dev/md0  
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --stop /dev/md0  
mdadm: stopped /dev/md0  
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --zero-superblock /dev/sdd1  
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --zero-superblock /dev/sde1  
root@ivschemelev:/home/ivschemelev# mdadm --zero-superblock /dev/sdc1  
root@ivschemelev:/home/ivschemelev#
```

Рис. 2.19: Остановка массива и очистка метаданных

6. Для предотвращения ошибок при последующих загрузках системы запись автомонтирования массива в файле **/etc/fstab** была закомментирована. Таким образом, система больше не пытается автоматически монтировать несуществующее устройство **/dev/md0** в каталог **/data**.

```
GNU nano 8.1 /etc/fstab  
  
#  
# /etc/fstab  
# Created by anaconda on Fri Jan 16 11:32:16 2026  
#  
# Accessible filesystems, by reference, are maintained under '/dev/disk/'.  
# See man pages fstab(5), findfs(8), mount(8) and/or blkid(8) for more info.  
#  
# After editing this file, run 'systemctl daemon-reload' to update systemd  
# units generated from this file.  
#  
UUID=b552a213-cc13-43ac-b518-a1c5c52c8d5e / xfs defaults 0 0  
UUID=7ac262fa-85bd-4a83-808b-8111bf61c34d /boot xfs defaults 0 0  
UUID=033ba33a-9b4a-4407-81fd-3c8462b17b78 none swap defaults 0 0  
/dev/vgdata/lvdata /mnt/data ext4 defaults 1 2  
/dev/vggroup/lvggroup /mnt/groups xfs defaults 1 2  
  
#/dev/md0 /data ext4 defaults 1 2  
#UUID=dbdd84e0-a5ff-48a5-b476-9ba5eb00e66d /mnt/data xfs defaults 1 2  
#UUID=397e2311-797e-4490-b3a9-f703326e0342 /mnt/data-ext ext4 defaults 1 2  
#UUID=e95c3a0f-a9bf-44f3-811c-cbd748688f8d none swap defaults 0 0
```

Рис. 2.20: Комментирование записи /dev/md0 в /etc/fstab

3 Контрольные вопросы

1. **RAID (Redundant Array of Independent Disks)** — это технология объединения нескольких физических дисков в один логический массив с целью повышения производительности, отказоустойчивости или сочетания этих характеристик.

RAID позволяет распределять данные между дисками по определённому алгоритму, обеспечивая либо ускорение операций ввода-вывода, либо сохранность данных при выходе из строя одного или нескольких накопителей.

2. На сегодняшний день используются следующие основные типы RAID-массивов:

- **RAID 0** — массив с чередованием данных (striping) без избыточности;
- **RAID 1** — зеркальный массив (mirroring);
- **RAID 2** — массив с кодами Хэмминга (практически не используется);
- **RAID 3** — чередование данных с выделенным диском чётности;
- **RAID 4** — блочное чередование с выделенным диском чётности;
- **RAID 5** — блочное чередование с распределённой чётностью;
- **RAID 6** — аналог RAID 5 с двойной чётностью;
- **RAID 10 (1+0)** — комбинация RAID 1 и RAID 0;
- **RAID 50, RAID 60** — комбинированные уровни для систем с большим количеством дисков.

На практике наибольшее распространение получили RAID 0, RAID 1, RAID 5,

RAID 6 и RAID 10.

3. Характеристика основных уровней RAID:

- **RAID 0**

Алгоритм работы основан на чередовании блоков данных между несколькими дисками.

Избыточность отсутствует, каждый файл разбивается на части и записывается параллельно.

Назначение — максимальное увеличение производительности операций чтения и записи.

Отказ любого диска приводит к полной потере данных.

Примеры применения: временные хранилища, рабочие каталоги, системы обработки видео и графики, где важна скорость и допустима потеря данных.

- **RAID 1**

Алгоритм работы основан на зеркалировании данных: информация полностью дублируется на каждом диске массива.

Обеспечивает высокую отказоустойчивость — при выходе из строя одного диска данные сохраняются.

Эффективный объём массива равен объёму одного диска.

Примеры применения: серверы баз данных, системные разделы, критически важные данные, требующие высокой надёжности.

- **RAID 5**

Использует блочное чередование данных с распределённой информацией чётности по всем дискам массива.

Позволяет восстановить данные при отказе одного диска без полной потери информации.

Обеспечивает баланс между производительностью, отказоустойчивостью и эффективным использованием дискового пространства.

Примеры применения: файловые серверы, серверы общего назначения, корпоративные хранилища данных.

- **RAID 6**

Является развитием RAID 5 и использует двойную распределённую чётность.

Позволяет выдержать одновременный отказ двух дисков без потери данных.

Требует больше вычислительных ресурсов и дискового пространства по сравнению с RAID 5.

Примеры применения: крупные серверные хранилища, системы резервного копирования, архивные хранилища с повышенными требованиями к надёжности.

4 Заключение

В ходе лабораторной работы была изучена технология программного RAID и отработаны практические навыки создания, настройки и управления RAID-массивами с использованием утилиты **mdadm**.

Были рассмотрены режимы зеркалирования, горячего резерва и преобразования уровня массива, а также выполнена проверка отказоустойчивости и корректного восстановления данных.