

Первая часть (LVM+RAID):

Подготовка:

Создадим виртуальную машину на Ubuntu Server 24.04.03 LTS (Linux pc-u-mephi01 6.8.0-85-generic #85-Ubuntu SMP PREEMPT_DYNAMIC Thu Sep 18 15:26:59 UTC 2025 x86_64 x86_64 x86_64 GNU/Linux)

Для создания RAID 5 массива необходимо минимум три физических диска. Средствами VMware Workstation Pro 17.5.1 build-23298084 создадим три диска (табл. 1).

Табл. 1 — диски для RAID 5 массива.

| Диск | Название в гипервизоре | Объем, Гб |
|------|------------------------|-----------|
| sdb | pc-u-mephi01-data1 | 1 |
| sdc | pc-u-mephi01-data2 | 2 |
| sdd | pc-u-mephi01-data3 | 3 |

В процессе работы будем использовать снимоты виртуальной машины, чтобы была возможность откатиться на состояние, когда были созданы диски sdb, sdc, sdd. После выполнения первой части LVM+RAID граф снимотов выглядит как показано ниже (рис. 1).

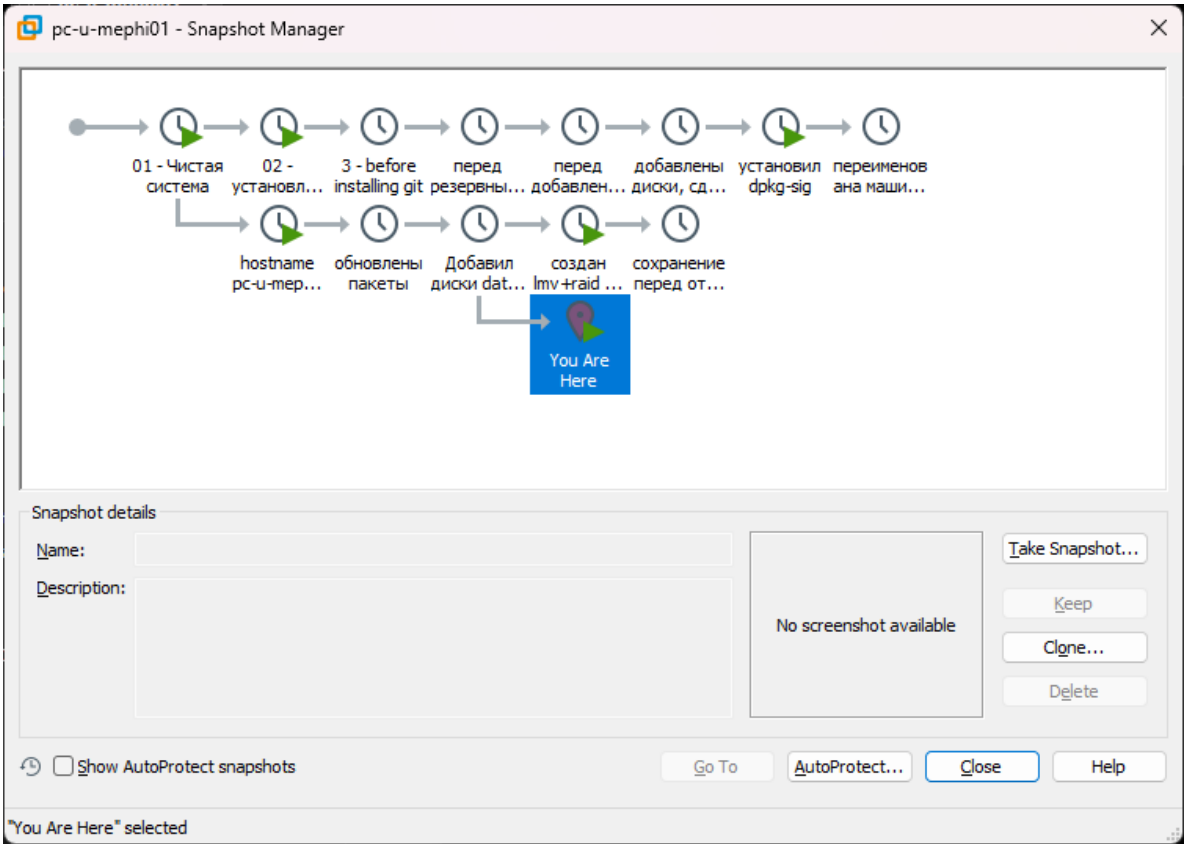


Рисунок 1. Снимоты ВМ pc-u-mephi01.

Настройка RAID:

Создайте RAID-массив с использованием технологии RAID 5 (или другой подходящей конфигурации) на трех физических дисках.

Диски созданы и подключены к ВМ:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ lsblk
```

| NAME | MAJ:MIN | RM | SIZE | RO | TYPE | MOUNTPOINTS |
|------------------------|---------|----|-------|----|------|-------------|
| sda | 8:0 | 0 | 100G | 0 | disk | |
| ├sda1 | 8:1 | 0 | 1M | 0 | part | |
| ├sda2 | 8:2 | 0 | 2G | 0 | part | /boot |
| └sda3 | 8:3 | 0 | 98G | 0 | part | |
| └ubuntu--vg-ubuntu--lv | 252:0 | 0 | 49G | 0 | lvm | / |
| sdb | 8:16 | 0 | 1G | 0 | disk | |
| sdc | 8:32 | 0 | 2G | 0 | disk | |
| sdd | 8:48 | 0 | 3G | 0 | disk | |
| sr0 | 11:0 | 1 | 1024M | 0 | rom | |

Создадим RAID 5 командой:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --create --verbose /dev/md0 --level=5 --raid-devices=3 /dev/sdb /dev/sdc /dev/sdd
```

```
[sudo] password for alexander:
mdadm: layout defaults to left-symmetric
mdadm: layout defaults to left-symmetric
mdadm: chunk size defaults to 512K
mdadm: size set to 1046528K
mdadm: largest drive (/dev/sdd) exceeds size (1046528K) by more than 1%
Continue creating array? y
Continue creating array? (y/n) y
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md0 started.
```

Проверим, что массив создан:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ lsblk
```

| NAME | MAJ:MIN | RM | SIZE | RO | TYPE | MOUNTPOINTS |
|------------------------|---------|----|-------|----|-------|-------------|
| sda | 8:0 | 0 | 100G | 0 | disk | |
| ├sda1 | 8:1 | 0 | 1M | 0 | part | |
| ├sda2 | 8:2 | 0 | 2G | 0 | part | /boot |
| └sda3 | 8:3 | 0 | 98G | 0 | part | |
| └ubuntu--vg-ubuntu--lv | 252:0 | 0 | 49G | 0 | lvm | / |
| sdb | 8:16 | 0 | 1G | 0 | disk | |
| └md0 | 9:0 | 0 | 2G | 0 | raid5 | |
| sdc | 8:32 | 0 | 2G | 0 | disk | |
| └md0 | 9:0 | 0 | 2G | 0 | raid5 | |
| sdd | 8:48 | 0 | 3G | 0 | disk | |
| └md0 | 9:0 | 0 | 2G | 0 | raid5 | |
| sr0 | 11:0 | 1 | 1024M | 0 | rom | |

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /proc/mdstat
```

```
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
```

```
md0 : active raid5 sdd[3] sdc[1] sdb[0]
      2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/3] [UUU]

unused devices: <none>
```

Состояние `active` напротив md0 говорит о том, что массив успешно запущен.

Настройка LVM:

Создайте физические тома на RAID-массиве.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo pvcreate /dev/md0
Physical volume "/dev/md0" successfully created.
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo pvs
```

| PV | VG | Fmt | Attr | PSize | PFree |
|-----------|-----------|------|------|---------|--------|
| /dev/md0 | | lvm2 | --- | <2.00g | <2.00g |
| /dev/sda3 | ubuntu-vg | lvm2 | a-- | <98.00g | 49.00g |

Создайте группу томов (VG) на основе физических томов.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo vgcreate vg_data /dev/md0
Volume group "vg_data" successfully created
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo vgs
```

| VG | #PV | #LV | #SN | Attr | VSize | VFree |
|-----------|-----|-----|-----|--------|---------|--------|
| ubuntu-vg | 1 | 1 | 0 | wz--n- | <98.00g | 49.00g |
| vg_data | 1 | 0 | 0 | wz--n- | 1.99g | 1.99g |

Создайте логический том (LV) на основе группы томов.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo lvcreate -l 100%FREE -n lv_storage vg_data
Logical volume "lv_storage" created.
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo lvs
```

| LV | VG | Attr | LSize | Pool | Origin | Data% | Meta% | Move |
|--------------|-----------|------------|---------|------|--------|-------|-------|------|
| Log Cpy%Sync | Convert | | | | | | | |
| ubuntu-lv | ubuntu-vg | -wi-ao---- | <49.00g | | | | | |
| lv_storage | vg_data | -wi-a----- | 1.99g | | | | | |

Форматирование и монтирование файловой системы:

Отформатируйте логический том в файловую систему ext4.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mkfs.ext4 /dev/vg_data/lv_storage
mkfs2fs 1.47.0 (5-Feb-2023)
Creating filesystem with 522240 4k blocks and 130560 inodes
Filesystem UUID: 68a3a2b7-3fd9-4fa4-95c2-2680de9ac792
Superblock backups stored on blocks:
      32768, 98304, 163840, 229376, 294912
```

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

Смонтируйте файловую систему в директорию.

Для этого создадим папку "storage" в /mnt, затем примонтируем том в эту папку.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mkdir -p /mnt/storage
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mount /dev/vg_data/lv_storage /mnt/storage
```

Убедимся, что том смонтирован в указанное расположение и виден в списке.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ df -h /mnt/storage
Filesystem                                Size  Used Avail Use% Mounted on
/dev/mapper/vg_data-lv_storage            2.0G   24K  1.9G   1% /mnt/storage
alexander@pc-u-mephi01:~$ lsblk
NAME                                MAJ:MIN RM  SIZE RO TYPE  MOUNTPOINTS
sda                                8:0      0   100G  0 disk
├─sda1                             8:1      0    1M  0 part
├─sda2                             8:2      0    2G  0 part  /boot
└─sda3                             8:3      0   98G  0 part
   └─ubuntu--vg-ubuntu--lv         252:0    0   49G  0 lvm    /
sdb                                8:16     0    1G  0 disk
├─md0                             9:0      0    2G  0 raid5
│   └─vg_data-lv_storage           252:1    0    2G  0 lvm    /mnt/storage
sdc                                8:32     0    2G  0 disk
├─md0                             9:0      0    2G  0 raid5
│   └─vg_data-lv_storage           252:1    0    2G  0 lvm    /mnt/storage
sdd                                8:48     0    3G  0 disk
├─md0                             9:0      0    2G  0 raid5
│   └─vg_data-lv_storage           252:1    0    2G  0 lvm    /mnt/storage
sr0                                11:0     1 1024M  0 rom
```

Также добавим том в /etc/fstab, чтобы при запуске ОС происходил автоматический монтаж:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo nano /etc/fstab
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo cat /etc/fstab
# /etc/fstab: static file system information.
#
# Use 'blkid' to print the universally unique identifier for a
# device; this may be used with UUID= as a more robust way to name devices
# that works even if disks are added and removed. See fstab(5).
#
```

```
# <file system> <mount point> <type> <options> <dump> <pass>
# / was on /dev/ubuntu-vg/ubuntu-lv during curtin installation
/dev/disk/by-id/dm-uuid-LVM-
tPuCK1VrVo0cdhWimPrwpVe6tmu1rIpP7tfYVa4MQTzHJBhyz6Z9Vh9nLR4UblB4 / ext4
defaults 0 1
# /boot was on /dev/sda2 during curtin installation
/dev/disk/by-uuid/e01963b4-73bc-4359-809e-ff11ace198d5 /boot ext4 defaults
0 1
/swap.img none swap sw 0 0
/dev/vg_data/lv_storage /mnt/storage ext4 defaults 0 0
```

Эмуляция отказа диска:

Эмулируйте отказ одного из дисков в RAID-массиве.

Перед отказом диска убедимся, что все диски работают:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /proc/mdstat
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
md0 : active raid5 sdd[3] sdc[1] sdb[0]
      2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/3] [UUU]

unused devices: <none>
```

Эмулируем отказ диска sdb. Убедимся, что отказ произошёл:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --fail /dev/md0 /dev/sdb
mdadm: set /dev/sdb faulty in /dev/md0
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --remove /dev/md0 /dev/sdb
mdadm: hot removed /dev/sdb from /dev/md0
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /proc/mdstat
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
md0 : active raid5 sdd[3] sdc[1]
      2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/2]
[_UU]

unused devices: <none>
```

Проверьте, что система продолжает работать и доступ к данным сохраняется.

Для этого создадим текстовый файл, запишем в него некоторый текст, а затем попытаемся его прочитать:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ echo "Тест после отказа" | sudo tee
/mnt/storage/test_after_failure.txt
Тест после отказа
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /mnt/storage/test_after_failure.txt
Тест после отказа
```

Восстановление и проверка:

Восстановите отказавший диск и добавьте его обратно в RAID-массив.

Для восстановления диска добавим «испорченный» диск обратно в массив, затем понаблюдаем за процессом восстановления диска в массиве. Однако, в нашем случае диск `sdb` имеет объем 1 Гб, в связи с чем его восстановление занимает очень небольшое время.

Когда восстановление завершится, в `/proc/mdstat` будет показано, что все три диска – активны.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --add /dev/md0 /dev/sdb
mdadm: added /dev/sdb
alexander@pc-u-mephi01:~$ watch -n 1 cat /proc/mdstat
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /proc/mdstat
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
md0 : active raid5 sdb[4] sdd[3] sdc[1]
      2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/3]
[UUU]

unused devices: <none>
```

Проверьте процесс восстановления и убедитесь, что данные корректно синхронизированы.

Проверим доступность информации, записанной в текстовый документ.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /mnt/storage/test_after_failure.txt
Тест после отказа
```

Заключение:

Было выполнено создание отказоустойчивого хранилища на базе RAID 5 + LVM. Проверена работоспособность хранилища при отказе диска. Успешно восстановлен массив, выполнена проверка целостности и доступности данных.

Вторая часть (RAID+LVM):

Настройка LVM:

Создайте физические тома на отдельных физических дисках (не обязательно использовать RAID на этом этапе).

Откатимся на снапшот, на котором были подключены к ВМ диски sdb, sdc, sdd. Убедимся, что данные диски существуют и определяются системой:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ lsblk
```

| NAME | MAJ:MIN | RM | SIZE | RO | TYPE | MOUNTPOINTS |
|-------------------------|---------|----|-------|----|------|-------------|
| sda | 8:0 | 0 | 100G | 0 | disk | |
| └─sda1 | 8:1 | 0 | 1M | 0 | part | |
| └─sda2 | 8:2 | 0 | 2G | 0 | part | /boot |
| └─sda3 | 8:3 | 0 | 98G | 0 | part | |
| └─ubuntu--vg-ubuntu--lv | 252:0 | 0 | 49G | 0 | lvm | / |
| sdb | 8:16 | 0 | 1G | 0 | disk | |
| sdc | 8:32 | 0 | 2G | 0 | disk | |
| sdd | 8:48 | 0 | 3G | 0 | disk | |
| sr0 | 11:0 | 1 | 1024M | 0 | rom | |

Создайте группу томов (VG) на основе физических томов.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo pvcreate /dev/sdb /dev/sdc /dev/sdd
```

```
[sudo] password for alexander:
```

```
Physical volume "/dev/sdb" successfully created.
```

```
Physical volume "/dev/sdc" successfully created.
```

```
Physical volume "/dev/sdd" successfully created.
```

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo vgcreate vg_raid /dev/sdb /dev/sdc /dev/sdd
```

```
Volume group "vg_raid" successfully created
```

Создайте логический том (LV) на основе группы томов.

Создадим три логических тома по 1 ГБ каждый (для RAID 5):

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo lvcreate -L 1G -n lv1 vg_raid
```

```
Logical volume "lv1" created.
```

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo lvcreate -L 1G -n lv2 vg_raid
```

```
Logical volume "lv2" created.
```

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo lvcreate -L 1G -n lv3 vg_raid
```

```
Logical volume "lv3" created.
```

Проверим:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo lvs
```

| LV | VG | Attr | LSize | Pool | Origin | Data% | Meta% | Move |
|--------------|-----------|------------|---------|------|--------|-------|-------|------|
| Log Cpy%Sync | Convert | | | | | | | |
| ubuntu-lv | ubuntu-vg | -wi-ao---- | <49.00g | | | | | |
| lv1 | vg_raid | -wi-a----- | 1.00g | | | | | |
| lv2 | vg_raid | -wi-a----- | 1.00g | | | | | |


```
lv3          vg_raid  -wi-a-----  1.00g
```

Настройка RAID:

Создайте RAID-массив на основе логических томов (например, RAID 1 или RAID 5).

Создадим RAID 5 массив на основе логических томов.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --create --verbose /dev/md1 --level=5
--raid-devices=3 /dev/vg_raid/lv1 /dev/vg_raid/lv2 /dev/vg_raid/lv3
mdadm: layout defaults to left-symmetric
mdadm: layout defaults to left-symmetric
mdadm: chunk size defaults to 512K
mdadm: size set to 1046528K
mdadm: Defaulting to version 1.2 metadata
mdadm: array /dev/md1 started.
```

Проверьте, что RAID-массив успешно создан и работает корректно.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /proc/mdstat
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
md1 : active raid5 dm-3[3] dm-2[1] dm-1[0]
      2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/3]
[UUUU]

unused devices: <none>
```

Форматирование и монтирование файловой системы:

Отформатируйте RAID-массив в файловую систему (например, ext4).

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mkfs.ext4 /dev/md1
mke2fs 1.47.0 (5-Feb-2023)
Creating filesystem with 523264 4k blocks and 130816 inodes
Filesystem UUID: 804e3c69-6bf6-48a0-9d18-ab1d1ee37e52
Superblock backups stored on blocks:
    32768, 98304, 163840, 229376, 294912

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

Смонтируйте файловую систему в директорию (например, /mnt/data).

Дополнительно проверим командами lsblk и df.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mount /dev/md1 /mnt/data
```



```
alexander@pc-u-mephi01:~$ df -h /mnt/data
```

| Filesystem | Size | Used | Avail | Use% | Mounted on |
|------------|------|------|-------|------|------------|
| /dev/md1 | 2.0G | 28K | 1.9G | 1% | /mnt/data |

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ lsblk
```

| NAME | MAJ:MIN | RM | SIZE | RO | TYPE | MOUNTPOINTS |
|-------------------------|---------|----|-------|----|-------|-------------|
| sda | 8:0 | 0 | 100G | 0 | disk | |
| └─sda1 | 8:1 | 0 | 1M | 0 | part | |
| └─sda2 | 8:2 | 0 | 2G | 0 | part | /boot |
| └─sda3 | 8:3 | 0 | 98G | 0 | part | |
| └─ubuntu--vg-ubuntu--lv | 252:0 | 0 | 49G | 0 | lvm | / |
| sdb | 8:16 | 0 | 1G | 0 | disk | |
| sdc | 8:32 | 0 | 2G | 0 | disk | |
| └─vg_raid-lv1 | 252:1 | 0 | 1G | 0 | lvm | |
| └─md1 | 9:1 | 0 | 2G | 0 | raid5 | /mnt/data |
| sdd | 8:48 | 0 | 3G | 0 | disk | |
| └─vg_raid-lv2 | 252:2 | 0 | 1G | 0 | lvm | |
| └─md1 | 9:1 | 0 | 2G | 0 | raid5 | /mnt/data |
| └─vg_raid-lv3 | 252:3 | 0 | 1G | 0 | lvm | |
| └─md1 | 9:1 | 0 | 2G | 0 | raid5 | /mnt/data |
| sr0 | 11:0 | 1 | 1024M | 0 | rom | |

Также проверим работоспособность файловой системы:

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ echo "Тест RAID поверх LVM" | sudo tee /mnt/data/test.txt
```

```
Тест RAID поверх LVM
```

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /mnt/data/test.txt
```

```
Тест RAID поверх LVM
```

Эмуляция отказа диска:

Эмулируйте отказ одного из дисков в RAID-массиве.

Поскольку RAID построен на логических томах, а не на физических дисках, мы эмулируем отказ через LVM — удалим один из LV. Однако, mdadm не может "отказывать" LV напрямую.

Поэтому сначала отметим устройство как неисправное, затем удалим его из массива.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo cat /proc/mdstat
```

```
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
```

```
md1 : active raid5 dm-3[3] dm-2[1] dm-1[0]
```

```
2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/3]
```

```
[UUU]
```

```
unused devices: <none>
```

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --fail /dev/md1 /dev/vg_raid/lv1
```

```
mdadm: set /dev/vg_raid/lv1 faulty in /dev/md1
```

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --remove /dev/md1 /dev/vg_raid/lv1
mdadm: hot removed /dev/vg_raid/lv1 from /dev/md1
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo cat /proc/mdstat
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
md1 : active raid5 dm-3[3] dm-2[1]
      2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/2]
[UU]

unused devices: <none>
```

[UU] — работает в degraded-режиме.

Проверьте, что система продолжает работать и доступ к данным сохраняется.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /mnt/data/test.txt
Тест RAID проверх LVM
alexander@pc-u-mephi01:~$ echo "После отказа" | sudo tee
/mnt/data/after_fail.txt
[sudo] password for alexander:
После отказа
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /mnt/data/after_fail.txt
После отказа
```

Восстановление и проверка:

Восстановите отказавший диск и добавьте его обратно в RAID-массив.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo mdadm --add /dev/md1 /dev/vg_raid/lv1
mdadm: added /dev/vg_raid/lv1
alexander@pc-u-mephi01:~$ lsblk
```

| NAME | MAJ:MIN | RM | SIZE | RO | TYPE | MOUNTPOINTS |
|-------------------------|---------|----|------|----|-------|-------------|
| sda | 8:0 | 0 | 100G | 0 | disk | |
| └─sda1 | 8:1 | 0 | 1M | 0 | part | |
| └─sda2 | 8:2 | 0 | 2G | 0 | part | /boot |
| └─sda3 | 8:3 | 0 | 98G | 0 | part | |
| └─ubuntu--vg-ubuntu--lv | 252:0 | 0 | 49G | 0 | lvm | / |
| sdb | 8:16 | 0 | 1G | 0 | disk | |
| └─vg_raid-lv1_new | 252:4 | 0 | 1G | 0 | lvm | |
| sdc | 8:32 | 0 | 2G | 0 | disk | |
| └─vg_raid-lv1 | 252:1 | 0 | 1G | 0 | lvm | |
| └─md1 | 9:1 | 0 | 2G | 0 | raid5 | /mnt/data |
| sdd | 8:48 | 0 | 3G | 0 | disk | |
| └─vg_raid-lv2 | 252:2 | 0 | 1G | 0 | lvm | |
| └─md1 | 9:1 | 0 | 2G | 0 | raid5 | /mnt/data |
| └─vg_raid-lv3 | 252:3 | 0 | 1G | 0 | lvm | |
| └─md1 | 9:1 | 0 | 2G | 0 | raid5 | /mnt/data |

```
sr0                11:0      1 1024M  0 rom
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo cat /proc/mdstat
Personalities : [raid0] [raid1] [raid6] [raid5] [raid4] [raid10]
md1 : active raid5 dm-1[5] dm-3[3] dm-2[1]
      2093056 blocks super 1.2 level 5, 512k chunk, algorithm 2 [3/3]
[UUU]

unused devices: <none>
```

Проверьте процесс восстановления и убедитесь, что данные корректно синхронизированы.

Данные синхронизированы корректно после восстановления. Данные доступны.

```
alexander@pc-u-mephi01:~$ watch -n 1 cat /proc/mdstat
alexander@pc-u-mephi01:~$ cat /mnt/data/after_fail.txt
После отказа
alexander@pc-u-mephi01:~$ ls /mnt/data/
after_fail.txt  lost+found  test.txt
alexander@pc-u-mephi01:~$ sudo cat /mnt/data/test.txt
Тест RAID поверх LVM
```

Заключение:

В рамках работы был создан LVM массив на физических дисках. Был построен RAID 5 массив поверх логических томов. Осуществлена проверка отказоустойчивости при отказе «одного тома». Проведено успешное восстановление и синхронизация данных.