**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 снапшоты виртуальной машины, чтобы была возможность откатиться на состояние, когда были созданы диски sdb, sdc, sdd. После выполнения первой части LVM+RAID граф снапшотов выглядит как показано ниже (рис. 1).

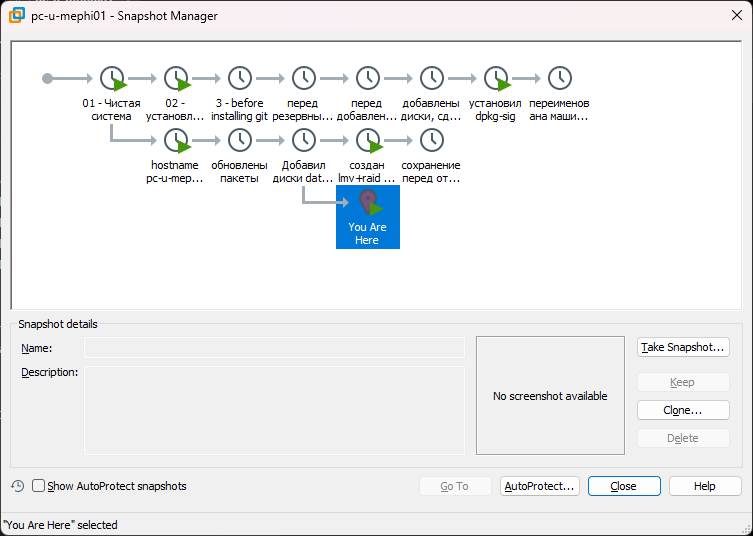


Рисунок 1. Снапшоты ВМ pc-u-mephi01.

**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

mke2fs 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 произошел:

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] [UUU]

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 поверх 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.