

# **Отчёт по лабораторной работе №5**

## **Моделирование сетей передачи данных**

**Эмуляция и измерение потерь пакетов в глобальных сетях**

Выполнила: Коннова Татьяна Алексеевна,  
НПИбд-01-22, 1132221814

# **Содержание**

<b>1 Цель работы</b>	<b>5</b>
<b>2 Выполнение лабораторной работы</b>	<b>6</b>
<b>3 Вывод</b>	<b>26</b>
<b>4 Список литературы. Библиография</b>	<b>27</b>

# Список иллюстраций

2.1 Исправление прав запуска X-соединения в виртуальной машине mininet . . . . .	6
2.2 Создание простейшей топологии . . . . .	7
2.3 Отображение информации их сетевых интерфейсов и IP-адресов . . . . .	8
2.4 Проверка подключения между хостами h1 и h2 . . . . .	9
2.5 Добавление 10% потерь пакетов на хосте h1 . . . . .	9
2.6 Проверка . . . . .	10
2.7 Добавление 10% потерь пакетов на хосте h2 . . . . .	10
2.8 Проверка . . . . .	11
2.9 Восстановление конфигурации по умолчанию для хоста h1 и хоста h2 . . . . .	11
2.10 Проверка . . . . .	12
2.11 Добавление на узле h1 коэффициента потери пакетов 50% . . . . .	12
2.12 Проверка . . . . .	13
2.13 Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию . . . . .	13
2.14 Добавление на узле h1 0.01% повреждения пакетов . . . . .	13
2.15 Проверка конфигурации с помощью инструмента iPerf3 для проверки повторных передач . . . . .	14
2.16 Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию . . . . .	14
2.17 Добавление на узле h1 правила из лабораторной работы . . . . .	15
2.18 Проверка . . . . .	15
2.19 Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию . . . . .	15
2.20 Добавление на узле h1 правила с дублированием 50% пакетов . . . . .	16
2.21 Проверка . . . . .	17
2.22 Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию . . . . .	17
2.23 Создание каталога expname . . . . .	18
2.24 Создание каталога simple-drop и дальнейшее его открытие . . . . .	18
2.25 Создание скрипта для эксперимента . . . . .	19
2.26 Создание нового скрипта для вывода информации о потере пакетов . . . . .	20
2.27 Создание Makefile и помещение в него скрипта . . . . .	20
2.28 Выполнение эксперимента и последующая очистка каталога . . . . .	21
2.29 Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию параметров сети . . . . .	22
2.30 Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию параметров сети . . . . .	23
2.31 Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию параметров сети . . . . .	24

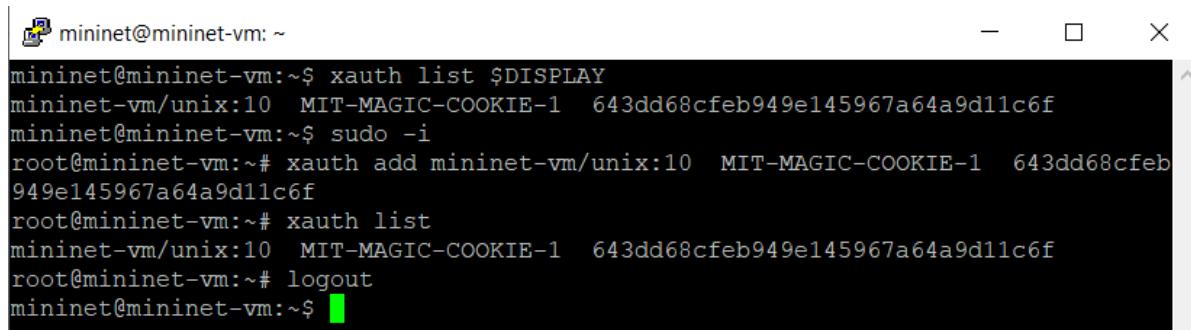
2.32 Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию па- раметров сети . . . . .	25
----------------------------------------------------------------------------------------------	----

# **1 Цель работы**

Основной целью работы является получение навыков проведения интерактивных экспериментов в среде Mininet по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных. Эти параметры влияют на производительность протоколов и сетей.

## 2 Выполнение лабораторной работы

В виртуальной машине mininet исправим права запуска X-соединения (рис. 2.1):



```
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  643dd68cfeb949e145967a64a9d11c6f
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  643dd68cfeb
949e145967a64a9d11c6f
root@mininet-vm:~# xauth list
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  643dd68cfeb949e145967a64a9d11c6f
root@mininet-vm:~# logout
mininet@mininet-vm:~$
```

Рис. 2.1: Исправление прав запуска X-соединения в виртуальной машине mininet

Зададим простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8 (рис. 2.2):

The screenshot shows a terminal window titled "root@mininet-vm:/home/mininet#". Inside the terminal, the command "sudo mn --topo=single,2 -x" is being run. The output of this command shows the process of creating a network with two hosts (h1, h2) and one switch (s1), connecting them via controller (c0), and starting the CLI. The terminal window has a black background and white text.

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo mn --topo=single,2 -x
*** Creating network
*** Adding controller
*** Adding hosts:
h1 h2
*** Adding switches:
s1
*** Adding links:
(h1, s1) (h2, s1)
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Running terms on localhost:10.0
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Starting CLI:
mininet>
```

Рис. 2.2: Создание простейшей топологии

На хостах h1 и h2 введём команду ifconfig, чтобы отобразить информацию, относящуюся к их сетевым интерфейсам и назначенным им IP-адресам. В дальнейшем при работе с NETEM и командой tc будут использоваться интерфейсы h1-eth0 и h2-eth0 (рис. 2.3):

```
XC "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# ifconfig
h1-eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.0.1 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
        ether 9e:ac:a4:5b:c9:3a txqueuelen 1000 (Ethernet)
        RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

XC "host: h2"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# ifconfig
h2-eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
    inet 10.0.0.2 netmask 255.0.0.0 broadcast 10.255.255.255
        ether d2:db:9c:33:bd:cb txqueuelen 1000 (Ethernet)
        RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING> mtu 65536
    inet 127.0.0.1 netmask 255.0.0.0
        loop txqueuelen 1000 (Local Loopback)
        RX packets 836 bytes 245084 (245.0 KB)
        RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
        TX packets 836 bytes 245084 (245.0 KB)
        TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рис. 2.3: Отображение информации их сетевых интерфейсов и IP-адресов

Проверим подключение между хостами h1 и h2 с помощью команды ping с параметром -с 6 (рис. 2.4):

The screenshot shows two terminal windows side-by-side. The left window, titled "host: h1" @ mininet-vm, displays the command "root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.2". The output shows six successful ping responses from host h2 to host h1, with times ranging from 0.050 ms to 1.77 ms. The right window, titled "host: h2" @ mininet-vm, displays the command "root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.1". The output shows six successful ping responses from host h1 to host h2, with times ranging from 0.035 ms to 1.03 ms. Both windows have standard Linux terminal icons at the top.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.77 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.183 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.050 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.084 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.050 ms

root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.1
PING 10.0.0.1 (10.0.0.1) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.03 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.035 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.1: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.068 ms

--- 10.0.0.1 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5081ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.035/0.211/1.027/0.364 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рис. 2.4: Проверка подключения между хостами h1 и h2

На хосте h1 добавим 10% потерь пакетов к интерфейсу h1-eth0 (рис. 2.5):

The screenshot shows a single terminal window titled "host: h1" @ mininet-vm. It displays the command "root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 10%". The command adds a traffic control queue discipline (qdisc) to interface h1-eth0, setting a netem (network emulator) discipline with 10% packet loss. The window has standard Linux terminal icons at the top.

```

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 10%
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рис. 2.5: Добавление 10% потерь пакетов на хосте h1

Проверим, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются потери пакетов, используя команду ping с параметром -c 100 с хоста h1 (рис. 2.6):

```

\x "host: h1"@mininet-vm
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=81 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=82 ttl=64 time=0.066 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=84 ttl=64 time=0.059 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=85 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=86 ttl=64 time=0.057 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=87 ttl=64 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=88 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=89 ttl=64 time=0.058 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=90 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=91 ttl=64 time=0.082 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=92 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=93 ttl=64 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=94 ttl=64 time=0.181 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=95 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=96 ttl=64 time=0.044 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=97 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=98 ttl=64 time=0.057 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=99 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=100 ttl=64 time=0.116 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
100 packets transmitted, 93 received, 7% packet loss, time 101324ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.037/0.076/0.868/0.100 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.6: Проверка

Для эмуляции глобальной сети с потерей пакетов в обоих направлениях необходимо к соответствующему интерфейсу на хосте h2 также добавить 10% потерь пакетов (рис. 2.7):

```

\x "host: h2"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.7: Добавление 10% потерь пакетов на хосте h2

Проверим, что соединение между хостом h1 и хостом h2 имеет больший процент потерянных данных (10% от хоста h1 к хосту h2 и 10% от хоста h2 к хосту h1), повторив команду ping с параметром -c 100 на терминале хоста h1 (рис. 2.8):

```

X "host: h1"@mininet-vm
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=76 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=77 ttl=64 time=0.041 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=78 ttl=64 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=79 ttl=64 time=0.040 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=80 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=81 ttl=64 time=0.063 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=82 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=84 ttl=64 time=0.043 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=85 ttl=64 time=0.169 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=87 ttl=64 time=0.056 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=88 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=89 ttl=64 time=0.045 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=90 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=94 ttl=64 time=0.107 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=95 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=97 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=98 ttl=64 time=0.077 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=99 ttl=64 time=0.051 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=100 ttl=64 time=0.042 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
100 packets transmitted, 82 received, 18% packet loss, time 101302ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.040/0.073/0.619/0.077 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.8: Проверка

Восстановим конфигурацию по умолчанию, удалив все правила, применённые к сетевому планировщику соответствующего интерфейса (рис. 2.9):

```

X "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# █

X "host: h2"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.9: Восстановление конфигурации по умолчанию для хоста h1 и хоста h2

Убедимся, что соединение от хоста h1 к хосту h2 не имеет явной потери пакетов, запустив команду ping с терминала хоста h1 и затем нажав Ctrl + c , чтобы остановить тест (рис. 2.10):

```
root "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 6 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.754 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.356 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.115 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.076 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.087 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
6 packets transmitted, 6 received, 0% packet loss, time 5078ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.046/0.239/0.754/0.252 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 2.10: Проверка

Добавим на интерфейсе узла h1 коэффициент потери пакетов 50% (такой высокий уровень потери пакетов маловероятен), и каждая последующая вероятность зависит на 50% от предыдущей (рис. 2.11):

```
root "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 50%
% 50%
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 2.11: Добавление на узле h1 коэффициента потери пакетов 50%

Проверим, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются потери пакетов, используя команду ping с параметром -c 50 с хоста h1 (рис. 2.12):

```

X "host: h1"@mininet-vm
From 10.0.0.1 icmp_seq=9 Destination Host Unreachable
From 10.0.0.1 icmp_seq=10 Destination Host Unreachable
From 10.0.0.1 icmp_seq=11 Destination Host Unreachable
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=1025 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.490 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.062 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.067 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.048 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=22 ttl=64 time=0.065 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=24 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=25 ttl=64 time=0.054 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=30 ttl=64 time=0.078 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=31 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=42 ttl=64 time=0.404 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=44 ttl=64 time=0.058 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=45 ttl=64 time=0.075 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=50 ttl=64 time=0.101 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
50 packets transmitted, 20 received, +3 errors, 60% packet loss, time 50168ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.046/51.390/1024.658/223.283 ms, pipe 4
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.12: Проверка

Восстановим конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1 (рис. 2.13):

```

X "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.13: Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию

Добавим на интерфейсе узла h1 0,01% повреждения пакетов (рис. 2.14):

```

X "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem corrupt
0.01%
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.14: Добавление на узле h1 0.01% повреждения пакетов

Проверим конфигурацию с помощью инструмента iPerf3 для проверки повторных передач. Для этого запустим iPerf3 в режиме сервера в терминале хоста h2, запустим iPerf3 в клиентском режиме в терминале хоста h1 (рис. 2.15):

```

root@mininet-vm:/home/mininet# iperf3 -c 10.0.0.2
Connecting to host 10.0.0.2, port 5201
[ 7] local 10.0.0.1 port 56164 connected to 10.0.0.2 port 5201
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr Cwnd
[ 7] 0.00-1.00 sec 1.65 GBytes 14.2 Gbits/sec 1 3.43 MBytes
[ 7] 1.00-2.00 sec 1.61 GBytes 13.9 Gbits/sec 3 1.19 MBytes
[ 7] 2.00-3.00 sec 1.42 GBytes 12.2 Gbits/sec 0 1.19 MBytes
[ 7] 3.00-4.00 sec 788 MBytes 6.60 Gbits/sec 3 591 KBytes
[ 7] 4.00-5.00 sec 1.08 GBytes 9.31 Gbits/sec 2 609 KBytes
[ 7] 5.00-6.00 sec 1.65 GBytes 14.2 Gbits/sec 0 609 KBytes
[ 7] 6.00-7.00 sec 1.66 GBytes 14.3 Gbits/sec 2 665 KBytes
[ 7] 7.00-8.00 sec 1.67 GBytes 14.4 Gbits/sec 3 621 KBytes
[ 7] 8.00-9.00 sec 1.67 GBytes 14.4 Gbits/sec 4 584 KBytes
[ 7] 9.00-10.00 sec 1.47 GBytes 12.6 Gbits/sec 4 602 KBytes
-----
[ ID] Interval Transfer Bitrate Retr
[ 7] 0.00-10.00 sec 14.7 GBytes 12.6 Gbits/sec 22
[ 7] 0.00-10.00 sec 14.6 GBytes 12.6 Gbits/sec

----- "host: h2"@mininet-vm -----
Accepted connection from 10.0.0.1, port 56162
[ 7] local 10.0.0.2 port 5201 connected to 10.0.0.1 port 56164
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-1.00 sec 1.63 GBytes 14.0 Gbits/sec
[ 7] 1.00-2.00 sec 1.61 GBytes 13.8 Gbits/sec
[ 7] 2.00-3.01 sec 1.42 GBytes 12.1 Gbits/sec
[ 7] 3.01-4.00 sec 788 MBytes 6.66 Gbits/sec
[ 7] 4.00-5.00 sec 1.08 GBytes 9.29 Gbits/sec
[ 7] 5.00-6.00 sec 1.65 GBytes 14.2 Gbits/sec
[ 7] 6.00-7.00 sec 1.66 GBytes 14.3 Gbits/sec
[ 7] 7.00-8.00 sec 1.67 GBytes 14.4 Gbits/sec
[ 7] 8.00-9.00 sec 1.67 GBytes 14.4 Gbits/sec
[ 7] 9.00-10.00 sec 1.47 GBytes 12.6 Gbits/sec
-----
[ ID] Interval Transfer Bitrate
[ 7] 0.00-10.00 sec 14.6 GBytes 12.6 Gbits/sec
----- "host: h1"@mininet-vm -----
Server listening on 5201

```

Рис. 2.15: Проверка конфигурации с помощью инструмента iPerf3 для проверки повторных передач

Восстановим для узла h1 конфигурацию по умолчанию (рис. 2.16):

```

root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#

```

Рис. 2.16: Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию

Добавим на интерфейсе узла h1 правило из лабораторной работы (рис. 2.17):

```
xi "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 1
0ms reorder 25% 50%
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 2.17: Добавление на узле h1 правила из лабораторной работы

Проверим, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются потери пакетов, используя команду ping с параметром -c 20 с хоста h1. Убедимся, что часть пакетов не будут иметь задержки (один из четырех, или 25%), а последующие несколько пакетов будут иметь задержку около 10 миллисекунд (три из четырех, или 75%) (рис. 2.18):

```
xi "host: h1"@mininet-vm
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=10.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=11.2 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=10.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=10.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=10.6 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=10.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.061 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.046 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=10.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=10.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=10.4 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.063 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=10.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=10.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=10.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=10.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.384 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=10.8 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19090ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.046/8.530/11.194/4.202 ms
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 2.18: Проверка

Восстановим конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1 (рис. 2.19):

```
xi "host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet#
```

Рис. 2.19: Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию

Для интерфейса узла h1 зададим правило с дублированием 50% пакетов (т.е. 50% пакетов должны быть получены дважды) (рис. 2.20):

```
host: h1"@"mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem duplicate 50%
root@mininet-vm:/home/mininet# A
```

Рис. 2.20: Добавление на узле h1 правила с дублированием 50% пакетов

Проверим, что на соединении от хоста h1 к хосту h2 имеются дублированные пакеты, используя команду ping с параметром -c 20 с хоста h1. Дубликаты пакетов помечаются как DUP!. Измеренная скорость дублирования пакетов будет приближаться к настроенной скорости по мере выполнения большего количества попыток (рис. 2.21):

```

"host: h1"@mininet-vm
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=10.3 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# ping -c 20 10.0.0.2
PING 10.0.0.2 (10.0.0.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.920 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.15 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.407 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.881 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.526 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=1.29 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.104 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.072 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.072 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=0.047 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.198 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=7 ttl=64 time=0.199 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=8 ttl=64 time=0.049 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.071 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=9 ttl=64 time=0.071 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=10 ttl=64 time=0.072 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=11 ttl=64 time=0.042 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=12 ttl=64 time=0.069 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.085 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=13 ttl=64 time=0.085 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=14 ttl=64 time=0.104 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.055 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=15 ttl=64 time=0.055 ms (DUP!)
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=16 ttl=64 time=0.093 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=17 ttl=64 time=0.067 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=18 ttl=64 time=0.095 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=19 ttl=64 time=0.053 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=20 ttl=64 time=0.046 ms

--- 10.0.0.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, +9 duplicates, 0% packet loss, time 19367ms
rtt min/avg/max/mdev = 0.042/0.244/1.288/0.348 ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.21: Проверка

Восстановим конфигурацию интерфейса по умолчанию на узле h1 (рис. 2.22):

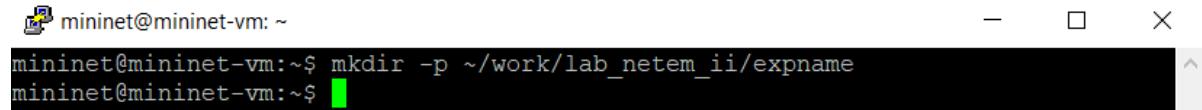
```

"host: h1"@mininet-vm
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# █

```

Рис. 2.22: Восстановление конфигурации интерфейса по умолчанию

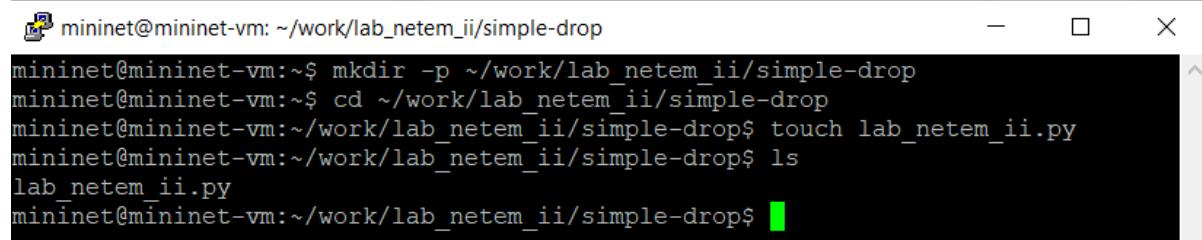
Для каждого воспроизводимого эксперимента `expname` создадим свой каталог, в котором будут размещаться файлы эксперимента (рис. 2.23):



```
mininet@mininet-vm: ~
mininet@mininet-vm:~$ mkdir -p ~/work/lab_netem_ii/expname
```

Рис. 2.23: Создание каталога expname

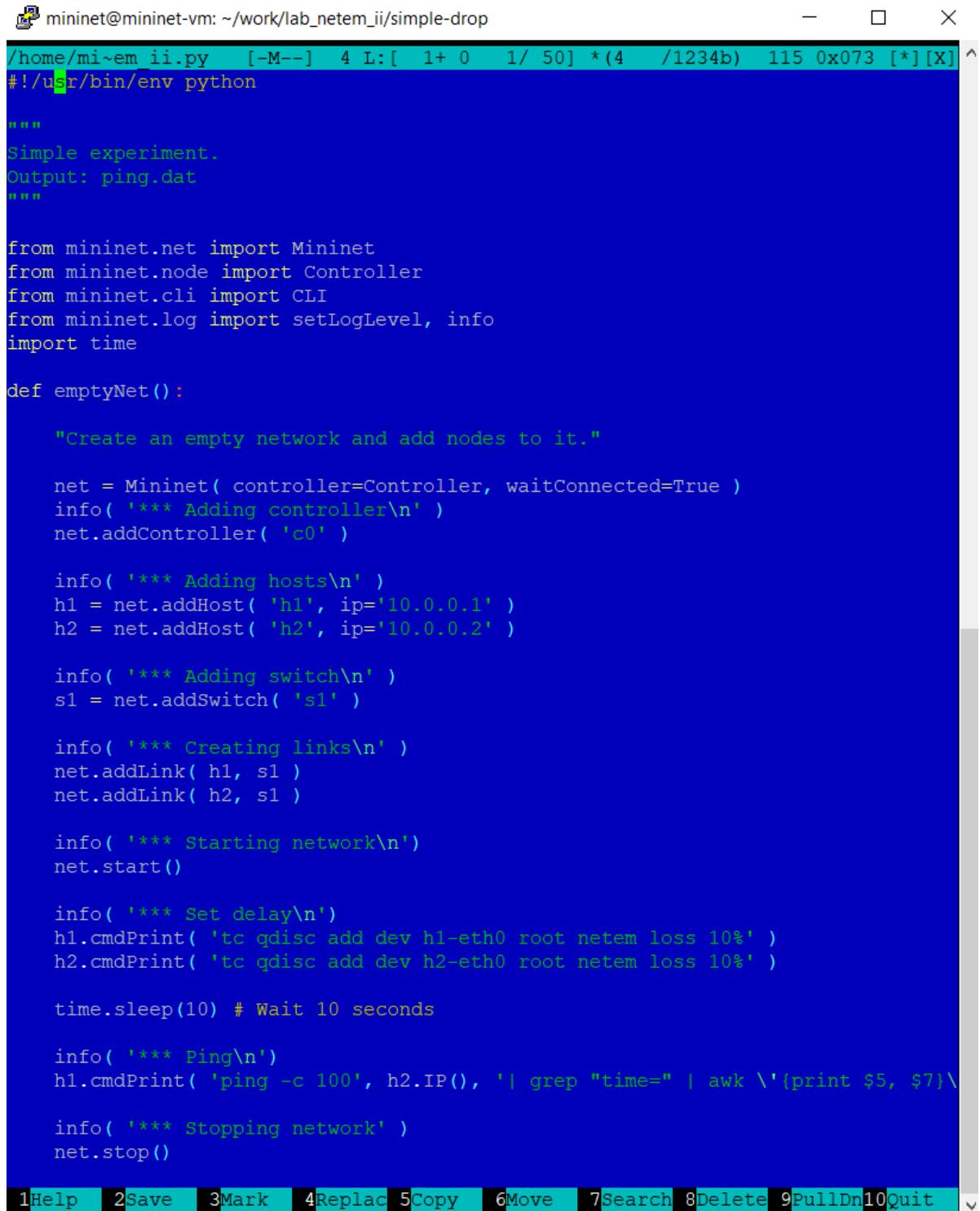
В виртуальной среде mininet в своём рабочем каталоге с проектами создадим каталог simple-drop и перейдём в него (рис. 2.24):



```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_ii/simple-drop
mininet@mininet-vm:~$ mkdir -p ~/work/lab_netem_ii/simple-drop
mininet@mininet-vm:~$ cd ~/work/lab_netem_ii/simple-drop
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ touch lab_netem_ii.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ ls
lab_netem_ii.py
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$
```

Рис. 2.24: Создание каталога simple-drop и дальнейшее его открытие

Создадим скрипт для эксперимента lab\_netem\_ii.py (рис. 2.25):



```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_ii/simple-drop
/home/mininet-vm/mininet-2.1.0/mininet/mininet.py [-M--] 4 L:[ 1+ 0 1/ 50] *(4 /1234b) 115 0x073 [*][X]
#!/usr/bin/env python

"""
Simple experiment.
Output: ping.dat
"""

from mininet.net import Mininet
from mininet.node import Controller
from mininet.cli import CLI
from mininet.log import setLogLevel, info
import time

def emptyNet():

    "Create an empty network and add nodes to it."

    net = Mininet( controller=Controller, waitConnected=True )
    info( '*** Adding controller\n' )
    net.addController( 'c0' )

    info( '*** Adding hosts\n' )
    h1 = net.addHost( 'h1', ip='10.0.0.1' )
    h2 = net.addHost( 'h2', ip='10.0.0.2' )

    info( '*** Adding switch\n' )
    s1 = net.addSwitch( 's1' )

    info( '*** Creating links\n' )
    net.addLink( h1, s1 )
    net.addLink( h2, s1 )

    info( '*** Starting network\n' )
    net.start()

    info( '*** Set delay\n' )
    h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 10%' )
    h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%' )

    time.sleep(10) # Wait 10 seconds

    info( '*** Ping\n' )
    h1.cmdPrint( 'ping -c 100', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'' )

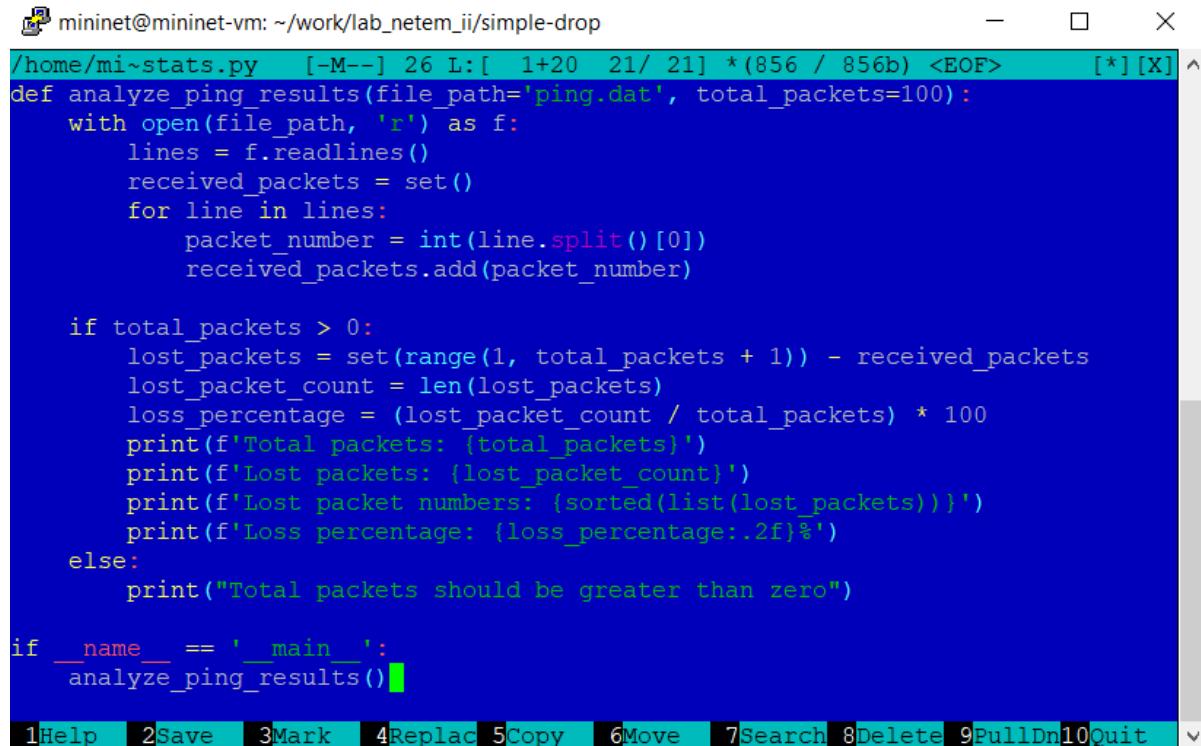
    info( '*** Stopping network' )
    net.stop()

1Help 2Save 3Mark 4Replace 5Copy 6Move 7Search 8Delete 9PullDown 10Quit
```

Рис. 2.25: Создание скрипта для эксперимента

Затем создадим скрипт, чтобы на экран или в отдельный файл выводилась

информация о потерях пакетов (рис. 2.26):



```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_ii/simple-drop
/home/mi~stats.py [-M--] 26 L:[ 1+20 21/ 21] *(856 / 856b) <EOF> [*][X]
def analyze_ping_results(file_path='ping.dat', total_packets=100):
    with open(file_path, 'r') as f:
        lines = f.readlines()
        received_packets = set()
        for line in lines:
            packet_number = int(line.split()[0])
            received_packets.add(packet_number)

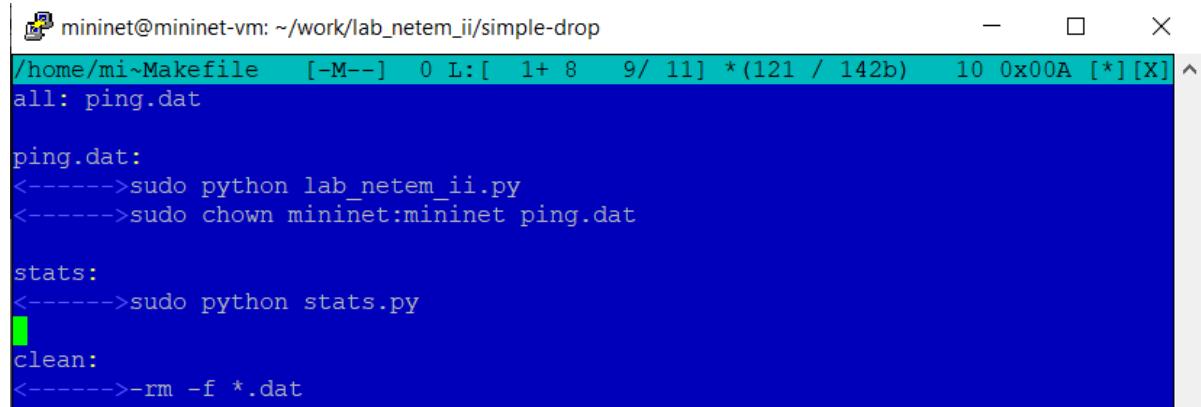
    if total_packets > 0:
        lost_packets = set(range(1, total_packets + 1)) - received_packets
        lost_packet_count = len(lost_packets)
        loss_percentage = (lost_packet_count / total_packets) * 100
        print(f'Total packets: {total_packets}')
        print(f'Lost packets: {lost_packet_count}')
        print(f'Lost packet numbers: {sorted(list(lost_packets)))')
        print(f'Loss percentage: {loss_percentage:.2f}%')
    else:
        print("Total packets should be greater than zero")

if __name__ == '__main__':
    analyze_ping_results()

1Help 2Save 3Mark 4Replace 5Copy 6Move 7Search 8Delete 9PullDown 10Quit
```

Рис. 2.26: Создание нового скрипта для вывода информации о потере пакетов

Создадим Makefile для управления процессом проведения эксперимента (рис. 2.27):



```
mininet@mininet-vm: ~/work/lab_netem_ii/simple-drop
/home/mi~Makefile [-M--] 0 L:[ 1+ 8 9/ 11] *(121 / 142b) 10 0x00A [*][X]
all: ping.dat

ping.dat:
<----->sudo python lab_netem_ii.py
<----->sudo chown mininet:mininet ping.dat

stats:
<----->sudo python stats.py

clean:
<----->-rm -f *.dat
```

Рис. 2.27: Создание Makefile и помещение в него скрипта

Выполним эксперимент и далее очистим каталог от результатов проведения экспериментов (рис. 2.28):

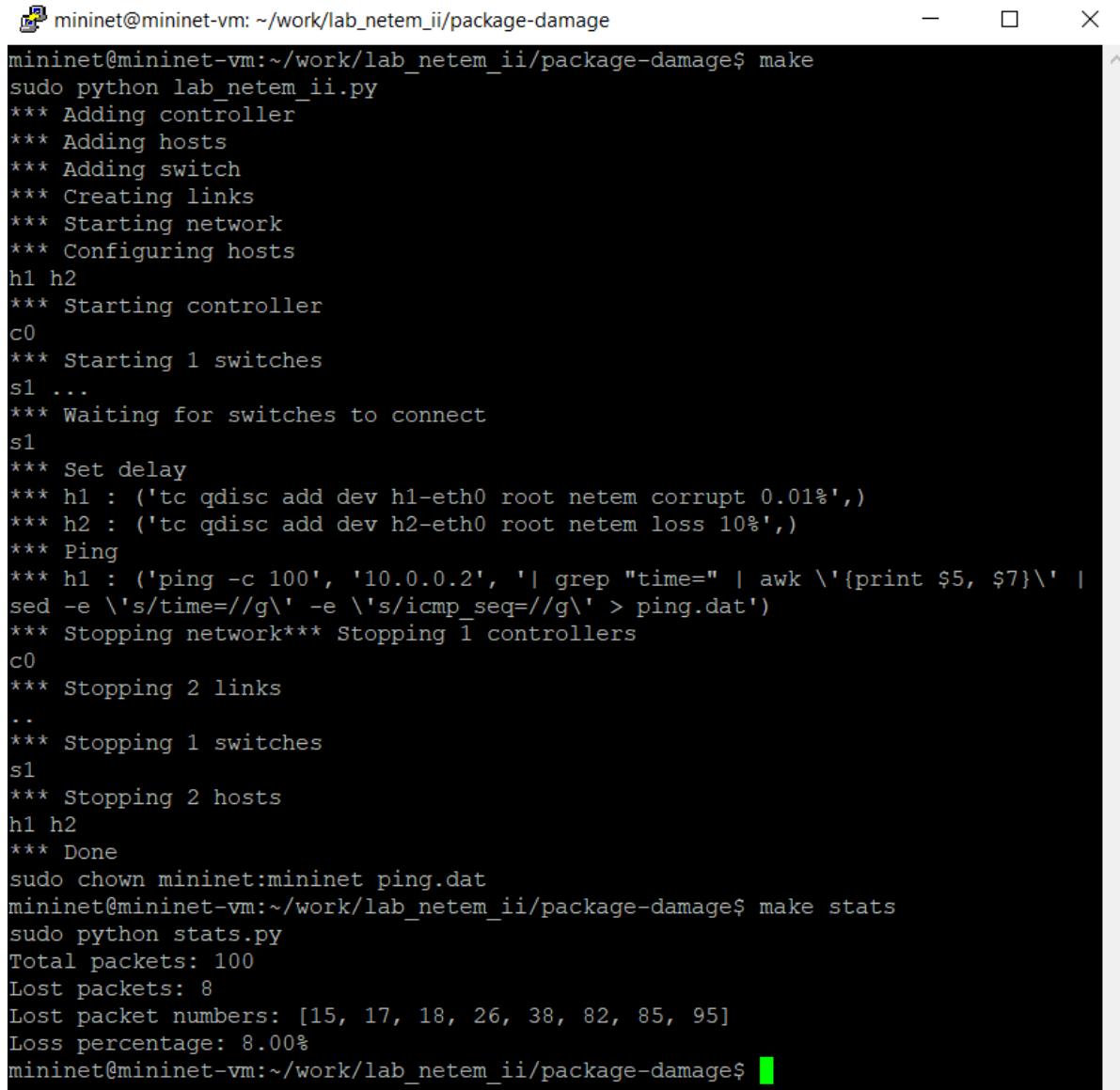
```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ make
sudo python lab_netem_ii.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 10%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'(print $5, $7)\' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
...
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ make stats
sudo python stats.py
Total packets: 100
Lost packets: 21
Lost packet numbers: [3, 5, 8, 15, 29, 37, 42, 54, 56, 60, 65, 68, 71, 75, 76, 83, 86, 87, 88, 95, 100]
Loss percentage: 21.00%
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$ make clean
rm -f *.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/simple-drop$
```

Рис. 2.28: Выполнение эксперимента и последующая очистка каталога

Далее реализуем воспроизводимые эксперименты по исследованию параметров сети, связанных с потерей, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных (рис. 2.29 - рис. 2.32):

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/correlation-drop$ make
sudo python lab_netem_ii.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem loss 50% 50%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'{print $5, $7}\'')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/correlation-drop$ make stats
sudo python stats.py
Total packets: 100
Lost packets: 49
Lost packet numbers: [1, 2, 7, 8, 12, 16, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 29, 37,
95, 96, 97, 98, 99, 100]
Loss percentage: 49.00%
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/correlation-drop$
```

Рис. 2.29: Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию параметров сети



```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/package-damage$ make
sudo python lab_netem_ii.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem corrupt 0.01%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/package-damage$ make stats
sudo python stats.py
Total packets: 100
Lost packets: 8
Lost packet numbers: [15, 17, 18, 26, 38, 82, 85, 95]
Loss percentage: 8.00%
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/package-damage$
```

Рис. 2.30: Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию параметров сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/reordering-packages$ make
sudo python lab_netem_ii.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 10ms reorder 25% 50%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem loss 10%',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/reordering-packages$ make stats
sudo python stats.py
Total packets: 100
Lost packets: 11
Lost packet numbers: [6, 27, 30, 31, 34, 52, 65, 68, 84, 89, 96]
Loss percentage: 11.00%
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/reordering-packages$
```

Рис. 2.31: Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию параметров сети

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/duplicating-packages$ make
sudo python lab_netem_ii.py
*** Adding controller
*** Adding hosts
*** Adding switch
*** Creating links
*** Starting network
*** Configuring hosts
h1 h2
*** Starting controller
c0
*** Starting 1 switches
s1 ...
*** Waiting for switches to connect
s1
*** Set delay
*** h1 : ('tc qdisc add dev h1-eth0 root netem duplicate 50%',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=' | awk \'{print $5, $7}\' | sed -e \'s/time=/g\' -e \'s/icmp_seq=/g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/duplicating-packages$ make stats
sudo python stats.py
Total packets: 100
Lost packets: 0
Lost packet numbers: []
Loss percentage: 0.00%
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_ii/duplicating-packages$
```

Рис. 2.32: Реализация воспроизводимого эксперимента по исследованию параметров сети

## **3 Вывод**

В ходе выполнения лабораторной работы получили навыки проведения интерактивных экспериментов в среде Mininet по исследованию параметров сети, связанных с потерей, дублированием, изменением порядка и повреждением пакетов при передаче данных.

## **4 Список литературы. Библиография**

[1] Mininet: <https://mininet.org/>