

# Презентация по лабораторной работе №4

Дисциплина: Моделирование сетей передачи данных

---

Лобанова П.И.

15 сентября 2025

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

## Информация

---

- Лобанова Полина Иннокентьевна
- Учащаяся на направлении “Фундаментальная информатика и информационные технологии”
- Студентка группы НФИбд-02-22
- [polla-2004@mail.ru](mailto:polla-2004@mail.ru)

Цель

---

Основной целью работы является знакомство с NETEM — инструментом для тестирования производительности приложений в виртуальной сети, а также получение навыков проведения интерактивного и воспроизводимого экспериментов по измерению задержки и её дрожания (jitter) в моделируемой сети в среде Mininet.

## Задание

---

1. Задайте простейшую топологию, состоящую из двух хостов и коммутатора с назначенной по умолчанию mininet сетью 10.0.0.0/8.
2. Проведите интерактивные эксперименты по добавлению/изменению задержки, джиттера, значения корреляции для джиттера и задержки, распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети.
3. Реализуйте воспроизводимый эксперимент по заданию значения задержки в эмулируемой глобальной сети. Постройте график.
4. Самостоятельно реализуйте воспроизводимые эксперименты по изменению задержки, джиттера, значения корреляции для джиттера и задержки, распределения времени задержки в эмулируемой глобальной сети. Постройте графики.

## Выполнение

---



```
mininet@mininet-vm:~$ xauth list $DISPLAY
mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  71648ffa79f761f9b729315fc22cc37c
mininet@mininet-vm:~$ sudo -i
root@mininet-vm:~# xauth add mininet-vm/unix:10  MIT-MAGIC-COOKIE-1  71648ffa7
9f761f9b729315fc22cc37c
root@mininet-vm:~# logout
```

Рис. 1: Исправление права запуска X-соединения

```
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: Создание простейшей топологии

```

"host: h1" (на 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 7e:04:c3:9b:62:9f  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 860  bytes 311956 (311.9 KB)
    RX errors 0  dropped 0  overruns 0  frame 0
    TX packets 860  bytes 311956 (311.9 KB)
    TX errors 0  dropped 0 overruns 0  carrier 0  collisions 0

```

Рис. 3: Команда *ifconfig* на хосте *h1*

```

"host: h2" (на mininet-vm) x
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 de:e7:91:c3:cb:54  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 1027  bytes 325680 (325.6 KB)
    RX errors 0   dropped 0  overruns 0  frame 0
    TX packets 1027  bytes 325680 (325.6 KB)
    TX errors 0   dropped 0 overruns 0  carrier 0  collisions 0

```

Рис. 4: Команда *ifconfig* на хосте *h2*

```
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=1.30 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.142 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.030 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.075 ms
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=6 ttl=64 time=0.035 ms
```

Рис. 5: Команда *ping*

```
|root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms
```

**Рис. 6:** *Добавление задержки на хосте h1*

```
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=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=101 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=100 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=101 ms
```

Рис. 7: Команда *ping*

```
root@mininet-virtual-machine:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms
root@mininet-virtual-machine:/home/mininet#
```

**Рис. 8:** *Добавление задержки на хосте h2*



```
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=201 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=201 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=201 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=201 ms
```

Рис. 9: Команда *ping*

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h1-eth0 root netem delay 50
ms
root@mininet-vm:/home/mininet# █
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc change dev h2-eth0 root netem delay 50m
s
root@mininet-vm:/home/mininet# □
```

Рис. 10: Изменение задержки

```
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=102 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=102 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=100 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=102 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=100 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=100 ms
```

Рис. 11: Команда *ping*

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# █
s
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h2-eth0 root netem
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

Рис. 12: Удаление правил

```
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=1.11 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.971 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.114 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.033 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=0.034 ms
```

Рис. 13: Команда *ping*

```
root@mininet-virtual-machine:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms
root@mininet-virtual-machine:/home/mininet# █
```

*Рис. 14: Добавление задержки со случайным отклонением*

```
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=111 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=94.0 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=95.1 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=106 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=109 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=99.7 ms
```

Рис. 15: Команда *ping*

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc del dev h1-eth0 root netem
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=0.239 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.035 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.058 ms
^C
```

Рис. 16: Удаление правил



```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 10ms 25%
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

**Рис. 17:** *Добавление задержки со случайным отклонением и корреляцией*

```
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=93.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=92.9 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=91.5 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=103 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=109 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=93.9 ms
```

Рис. 18: Команда *ping*

```
root@mininet-vm:/home/mininet# sudo tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 100ms 20ms distribution normal
root@mininet-vm:/home/mininet# █
```

*Рис. 19: Добавление нормального распределения*

```
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=79.7 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=2 ttl=64 time=93.3 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=3 ttl=64 time=135 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=4 ttl=64 time=121 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=5 ttl=64 time=75.8 ms
64 bytes from 10.0.0.2: icmp_seq=6 ttl=64 time=133 ms
```

Рис. 20: Команда *ping*

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ sudo apt-get update
Get:1 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease [128 kB]
Hit:2 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease
Get:3 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease [128 kB]
Get:4 http://us.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-backports InRelease [128 kB]
Fetched 383 kB in 1s (285 kB/s)
Reading package lists... Done
```

Рис. 21: Обновление репозитиев программного обеспечения

```
mininet@mininet-vm:~$ sudo apt install geeqie
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following additional packages will be installed:
  acl apg apport apport-symptoms aptdaemon aptdaemon-data avahi-daemon
  avahi-utils bluez bolt cheese-common colord colord-data cracklib-runtime
  cups-bsd cups-client cups-common cups-pk-helper dbus dbus-x11 dconf-cli
```

Рис. 22: Установка пакета *geeqie*

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

Рис. 23: Создание каталога

```
mininet@mininet-vm:~$ mkdir -p ~/work/lab_netem_i/simple-delay  
mininet@mininet-vm:~$ cd ~/work/lab_netem_i/simple-delay  
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рис. 24: Создание подкаталога



```

GNU nano 4.8 /home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay/lab_netem_i
#!/usr/bin/env python

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 delay 100ms' )
    h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms' )

    time.sleep(10) # Wait 10 seconds

    info( '*** Ping\n' )
    h1.cmdPrint( 'ping -c 100', h2.IP(), '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'' | sed -e \"s/time=//g\" -e \"s/icmp_seq=//g\" > ping.dat' )

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

if __name__ == '__main__':
    setLogLevel( 'info' )
    emptyNet()

```

Рис. 25: Создание скрипта *lab\_netem\_i.py*

```
    /home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay/ping_plot    Modified
#!/usr/bin/gnuplot --persist

set terminal png crop
set output 'ping.png'
set xlabel "Sequence number"
set ylabel "Delay (ms)"
set grid
plot "ping.dat" with lines
```

Рис. 26: Создание скрипта *ping\_plot*

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ chmod +x ping_plot  
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рис. 27: Изменение прав доступа

```
GNU nano 4.8 /home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay/Makefile
all: ping.dat ping.png

ping.dat:
    sudo python lab_netem_i.py
    sudo chown mininet:mininet ping.dat

ping.png: ping.dat
    ./ping_plot

clean:
    -rm -f *.dat *.png
```

Рис. 28: Создание Makefile

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make
sudo python lab_netem_i.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 100ms',)
*** h2 : ('tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 100ms',)
*** Ping
*** h1 : ('ping -c 100', '10.0.0.2', '| grep "time=" | awk \'{print $5, $7}\'' | sed -e \'s/time=//g\' -e \'s/icmp_seq=//g\' > ping.dat')
*** Stopping network*** Stopping 1 controllers
c0
*** Stopping 2 links
..
*** Stopping 1 switches
s1
*** Stopping 2 hosts
h1 h2
*** Done
sudo chown mininet:mininet ping.dat
./ping_plot
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рис. 29: Выполнение эксперимента

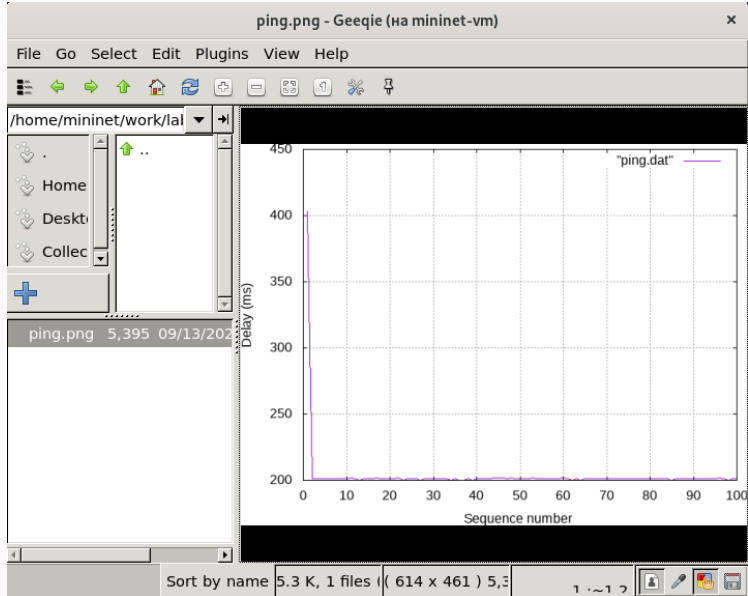


Рис. 30: График 1.1

```
GNU nano 4.8 /home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay/ping.dat
2 201
3 202
4 200
5 201
6 202
7 201
8 200
9 201
10 201
11 200
12 202
13 201
14 200
15 201
16 201
17 201
18 201
19 201
```

Рис. 31: Удаление строки

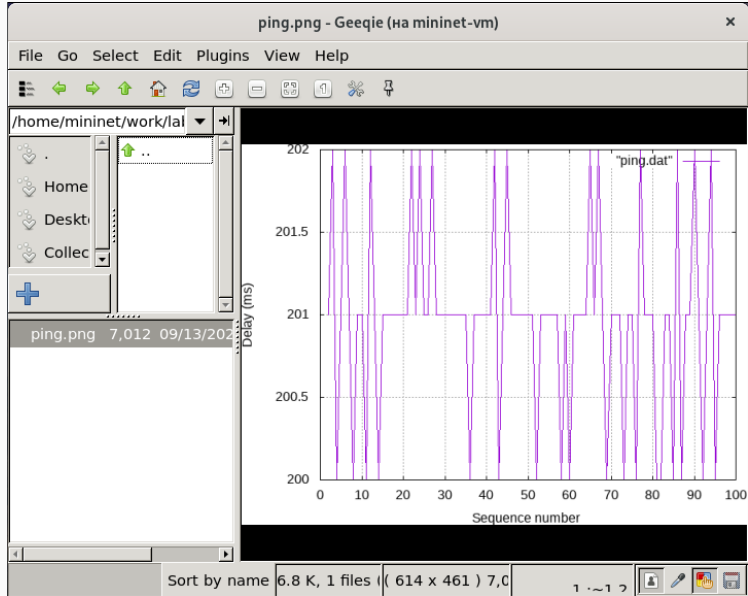


Рис. 32: График 1.2



```
GNU nano 4.8 /home/mininet/work/lab_netem_i/simple-delay/rtt.py
with open('ping.dat', 'r') as f:
    s=[]
    for line in f.readlines():
        if '\n' in line:
            line.replace('\n', "")
            s.append([int(j) for j in (line.split(" "))])
s = [j[1] for j in s]
#print(s)
std=(sum([(i-(sum(s)/len(s)))**2 for i in s])/(len(s)-1))**0.5
print(f"min: {min(s)} \n max: {max(s)} \n avg: {sum(s)/len(s)} \n std: {std}")
```

Рис. 33: Скрипт для вычисления данных

```
all: ping.dat ping.png

ping.dat:
    sudo python lab_netem_i.py
    sudo chown mininet:mininet ping.dat

ping.png: ping.dat
    ./ping_plot

clean:
    -rm -f *.dat *.png

rtt:
    sudo python rtt.py
```

Рис. 34: Изменение Makefile

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make rtt
sudo python rtt.py
min: 200
max: 202
avg: 200.95959595959596
std: 0.5699837433985384
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make clean
rm -f *.dat *.png
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ ls
lab_netem_i.py  Makefile  ping_plot  rtt.py
```

Рис. 35: Результат работы скрипта

```
net.start()

info( '*** Set delay\n')
h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 50ms' )
h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 50ms' )
```

Рис. 36: Изменение файла *lab\_netem\_i.py*

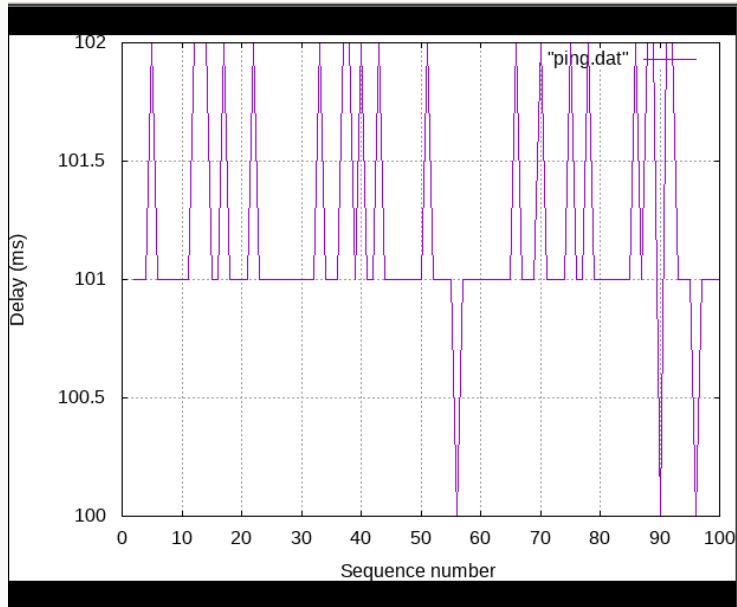


Рис. 37: График 2

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make rtt
sudo python rtt.py
min: 100
max: 102
avg: 101.181818181819
std: 0.45989431713313733
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$
```

Рис. 38: Вычисленные значения

```
info( '*** Set delay\n')  
h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 50ms 10ms' )  
h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 50ms 10ms' )
```

Рис. 39: Изменение файла *lab\_netem\_i.py*

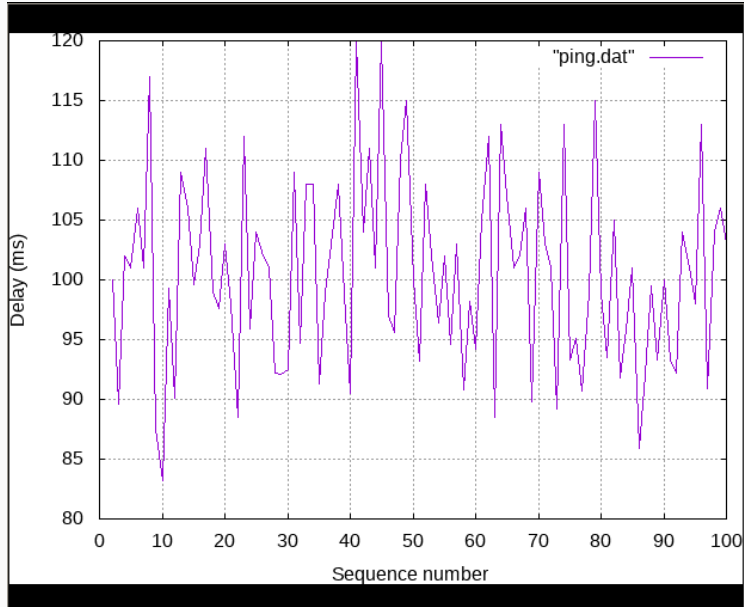


Рис. 40: График 3



```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make rtt
sudo python rtt.py
min: 83.2
max: 120.0
avg: 100.44343434343432
std: 7.890360453422326
```

Рис. 41: Вычисленные значения

```
info( '*** Set delay\n')  
h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 50ms 10ms 25%' )  
h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 50ms' )
```

Рис. 42: Изменение файла *lab\_netem\_i.py*

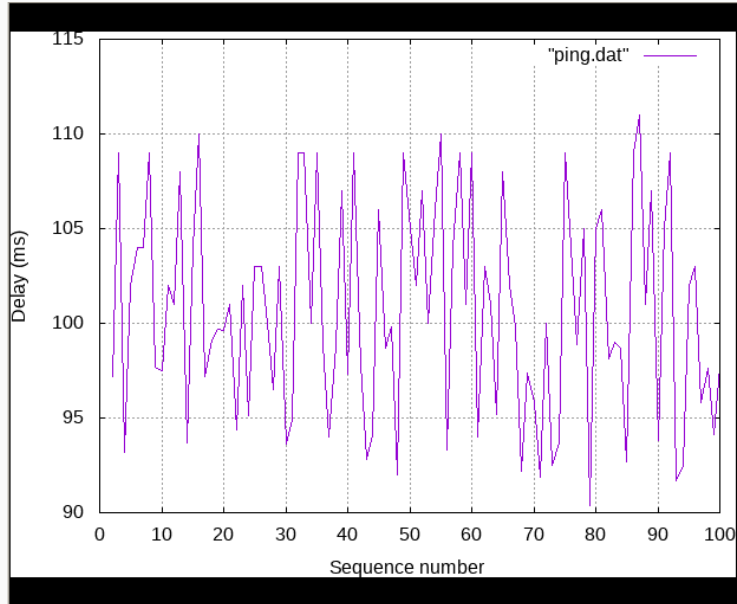


Рис. 43: График 4

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make rtt
sudo python rtt.py
min: 90.4
max: 111.0
avg: 100.67070707070708
std: 5.595392647768751
```

Рис. 44: Вычисленные значения

```
info( '*** Set delay\n')  
h1.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h1-eth0 root netem delay 50ms 10ms distribution normal' )  
h2.cmdPrint( 'tc qdisc add dev h2-eth0 root netem delay 50ms' )  
  
time.sleep(10) # Wait 10 seconds
```

Рис. 45: Изменение файла *lab\_netem\_i.py*

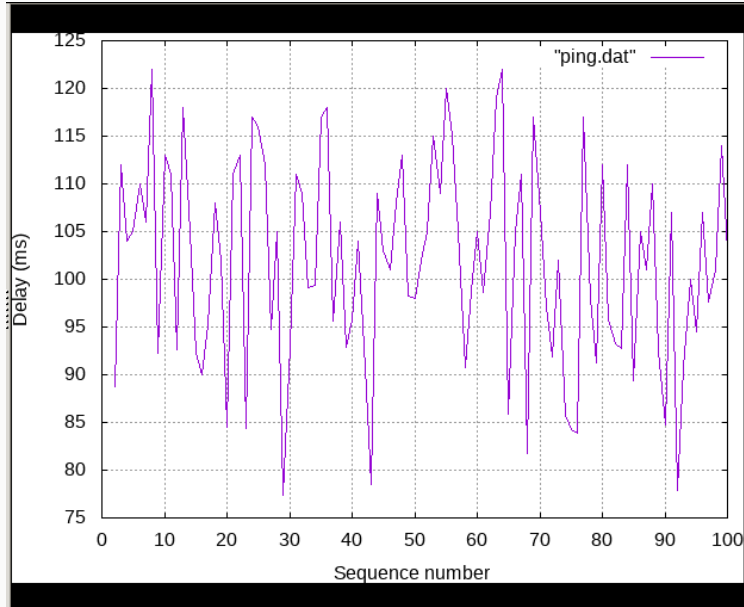


Рис. 46: График 5

```
mininet@mininet-vm:~/work/lab_netem_i/simple-delay$ make rtt
sudo python rtt.py
min: 77.4
max: 122.0
avg: 101.76060606060605
std: 10.857676849479262
```

Рис. 47: Вычисленные значения

## Вывод

---



Я ознакомилась с NETEM и получила навыки проведения интерактивного и воспроизводимого экспериментов по измерению задержки и её дрожания в моделируемой сети в среде Mininet.