

Міністерство освіти та науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра ІКІ ім. В.В. Поповського

Звіт з лабораторної роботи №3  
з дисципліни: «Системи комутації і розподілу інформації»  
з теми: «Дослідження механізмів обслуговування черг CBWFQ та  
LLQ»

Виконав ст. гр. ТРІКІ-17-1  
Круглова Анастасія

Перевірив:  
зав. каф. Лемешко О. В.

Харків 2020

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЧЕРГ CBWFQ ТА LLQ

Мета роботи:

1. Налаштування на мережному обладнанні фрагменту мережі, на маршрутизаторах якої використовується механізм зваженого справедливого обслуговування черг на основі класів CBWFQ.
2. Дослідження принципів роботи механізму CBWFQ.
3. Налаштування на мережному обладнанні фрагменту мережі, на маршрутизаторах якої використовується механізм черг з малою затримкою LLQ.
4. Дослідження принципів роботи механізму LLQ.

Вхідні дані

Варіант 7 за списком відповідає 3 номеру бригади. Вхідні дані до виконання лабораторної роботи представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Варіанти завдань для бригад

Номер бригади та клас використаних IP-адрес	Номер завдання	Номер потоку	Пропускна здатність, закріплена за кожним класом трафіка, Кбіт/с	Значення поля DSCP	Порти
1 Використовувати адреси класу В та С	1	1	2500	EF	8001
		2	2500	AF21	7001
	2	1	2500	EF	8001
		2	5000	AF21	7001
2 Використовувати адреси класу А та В	1	1	3000	AF12	8002
		2	3000	AF11	7002
	2	1	3000	AF12	8002
		2	4500	AF11	7002
<b>3</b> <b>Використовувати адреси класу А та С</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3500</b>	<b>AF31</b>	<b>5001</b>
		<b>2</b>	<b>3500</b>	<b>EF</b>	<b>6002</b>
	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>3500</b>	<b>AF31</b>	<b>5001</b>
		<b>2</b>	<b>4000</b>	<b>EF</b>	<b>6002</b>
4 Використовувати адреси класу С	1	1	2000	AF21	6001
		2	2000	AF13	5002
	2	1	2000	AF21	6001
		2	5500	AF13	5002

## Опис лабораторного макета

Досліджуваний фрагмент телекомунікаційної мережі складається з маршрутизатора, до якого підключені дві робочі станції: PC1 в мережі 192.168.1.1 /24, робоча станція PC2 в мережі 10.0.0.1/8 (див. табл. 2). Схема лабораторного макета наведена на рис. 1.

Таблиця 2 – Дані для налаштування кінцевих станцій (PC1, PC2)

Налаштування кінцевої станції PC1:	Налаштування кінцевої станції PC2:
IP-адреса: 192.168.1.10	IP-адреса: 10.0.0.10
Маска мережі: 255.255.255.0	Маска мережі: 255.0.0.0

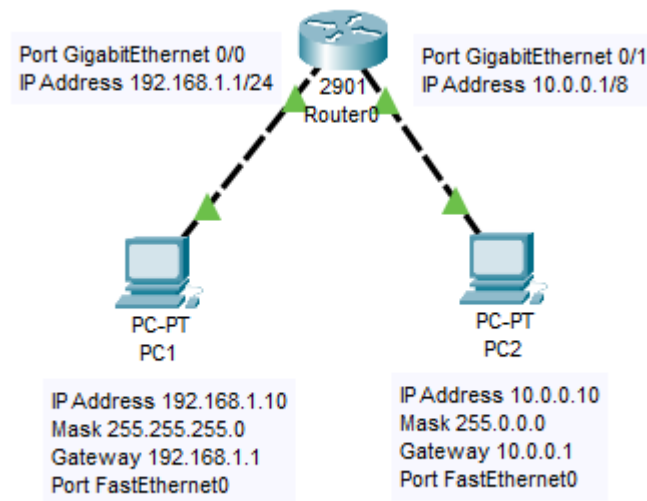


Рисунок 1 – Схема лабораторного макету

### Хід роботи

1. Створення макету досліджуваного фрагменту телекомунікаційної мережі.

Після запуску ПО Cisco Packet Tracer обираємо маршрутизатор 2901, ставимо його на робочу область, також додаємо на робочу область два комп'ютера. З'єднуємо комп'ютери з маршрутизатором за допомогою кабелю "Copper Cross-Over". Для того щоб налаштувати мережу задаємо IP-адреса для комп'ютерів. Натиском на комп'ютер відкриваємо вікно, в якому обираємо вкладку Desktop, далі обираємо IP Configuration та задаємо IP-адресу, маску мережі та шлюз за замовчуванням, для PC1 і так само для PC2 як це представлено на рис. 2 та рис. 3 відповідно.

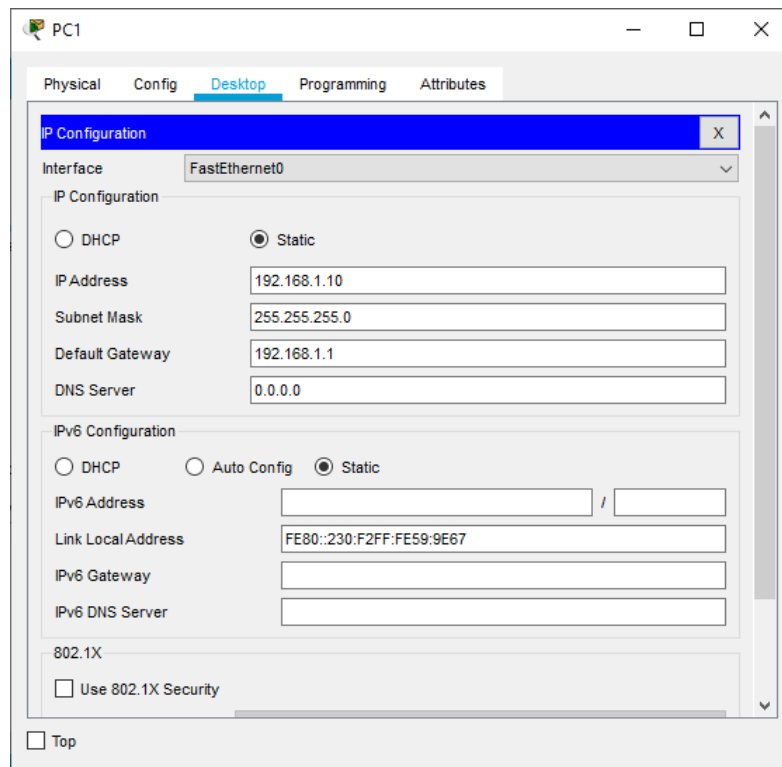


Рисунок 2 – Вікно налаштування IP-адреси, маски та шлюзу PC1

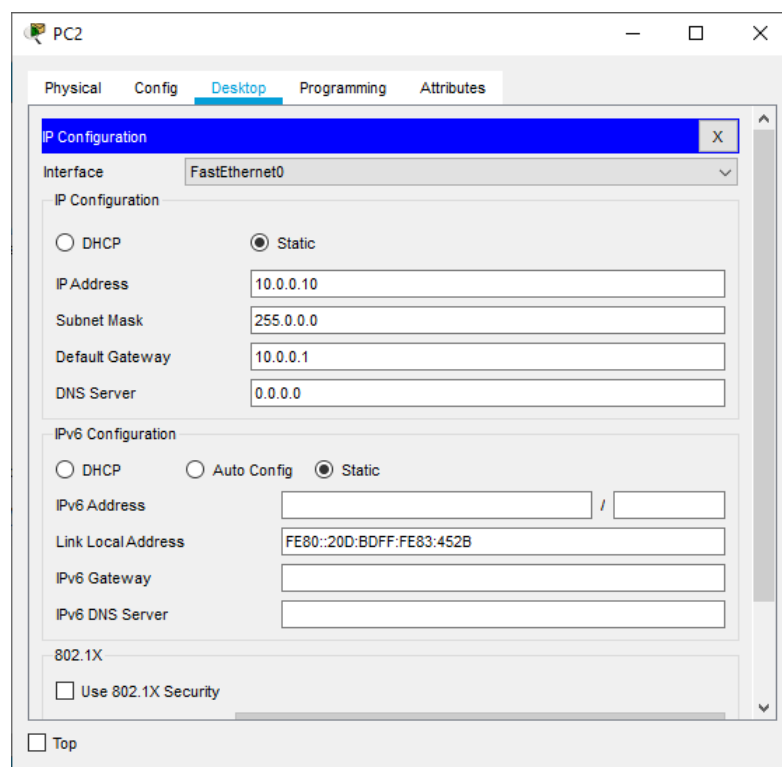


Рисунок 3 – Вікно налаштування IP-адреси, маски та шлюзу PC2

## 2. Налаштування маршрутизатора

Натискаємо на робочій області на маршрутизатор та сконфігуруємо на інтерфейсах маршрутизатора відповідну IP-адресацію, увімкнемо інтерфейси та задаємо швидкість передачі даних як це представлено на рис. 4.

```

Router>enable
Router#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/0
Router(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shutdown

Router(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/0,
changed state to up

Router(config-if)#exit
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1
Router(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.0.0.0
Router(config-if)#speed 10
Router(config-if)#no shutdown

Router(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface GigabitEthernet0/1, changed state to up

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface GigabitEthernet0/1,
changed state to up

Router(config-if)#exit

```

Рисунок 4 – Налаштування IP-адрес, швидкості передачі, увімкнення інтерфейсів маршрутизатора

### 3. Перевірка налаштувань IP-адрес

Команда `show ip interface brief` виводить вихідні дані в більш компактному форматі, ніж команда `show ip interface`. Вона надає зведення за ключовими даними для всіх мережевих інтерфейсів на маршрутизаторі команда `show ip interface brief` відображає всі інтерфейси на маршрутизаторі, IP-адреса, призначений для кожного з інтерфейсів (якщо є), і робочий стан інтерфейсу. Натискаємо на робочій області на маршрутизатор та вводимо команду **show ip interface brief**. Отримуємо всю необхідну інформацію: інтерфейс GigabitEthernet 0/0 має IP-адресу 192.168.1.1, а GigabitEthernet 0/1 має IP-адресу 10.0.0.10. Останні два стовпці в цьому рядку відображають статуси даного інтерфейсу. Статус `up` в стовпці «Статус» вказує на те, що цей інтерфейс працює на рівні 1. Статус `up` в стовпці «Протокол» вказує на те, що працює протокол 2-го рівня. Інтерфейс Vlan1 неактивний, на це вказує статус `administratively down` в стовпці «Статус».

Результат виконання команди **show ip interface brief** наведений на рис. 5.

```

Router>en
Router#show ip interface brief

```

Interface	IP-Address	OK?	Method	Status	Protocol
GigabitEthernet0/0	192.168.1.1	YES	manual	up	up
GigabitEthernet0/1	10.0.0.1	YES	manual	up	up
Vlan1	unassigned	YES	unset	administratively down	down

```

Router#

```

Рисунок 5 – Перевірка робочого стану інтерфейсів за допомогою команди `show ip interface brief`

#### 4. Перевірка з'єднання між робочими станціями

Для того щоб перевірити з'єднання між PC1 та PC2 скористаємося командою **ping**. Натиском на комп'ютер PC1 відкриваємо вікно, в якому обираємо вкладку Desktop, далі обираємо Command Prompt. У вікні, що з'явилося, вводимо команду ping та IP-адресу PC2, а саме **ping 10.0.0.10**. За результатами цієї команди, у першому випадку з відправлених 4 пакетів доставлено 3 пакети, та загублено один пакет, у другому випадку всі пакети було успішно передано, це свідчить що зв'язок між PC1 та PC2 встановлено, що зображено на рис. 6.

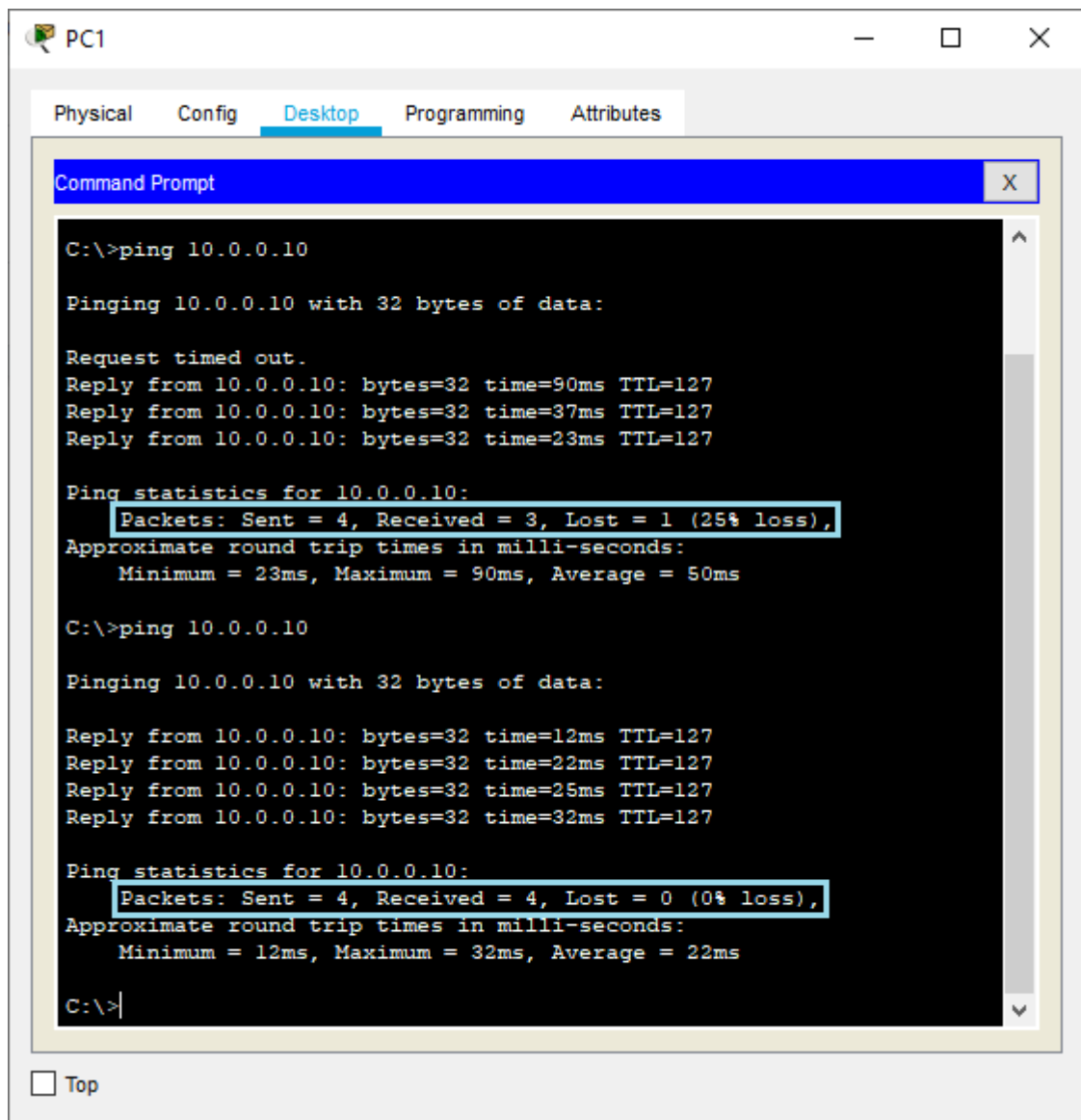


Рисунок 6 – Перевірка з'єднання між PC1 та PC2 за допомогою команди ping 10.0.0.10

5. Налаштування механізму зваженого справедливого обслуговування черг на основі класів CBWFQ на інтерфейсі gigabitEthernet 0/0 маршрутизатора

Було створено два класи трафіка classCBWFQ1 та classCBWFQ2. Критерієм відбору пакетів того чи іншого потоку в даному випадку виступає значення поля DSCP в заголовку IP-пакета. Всім пакетам, що мають значення поля DSCP AF31, відводиться клас classCBWFQ1; пакетам, що мають значення поля DSCP EF, призначається клас classCBWFQ2. Створення класів трафіку наведені на рис. 7.

```
Router(config)#class-map classCBWFQ1
Router(config-cmap)#match ip dscp af31
Router(config-cmap)#exit
Router(config)#class-map classCBWFQ2
Router(config-cmap)#match ip dscp ef
Router(config-cmap)#exit
```

Рисунок 7 – Створення класів трафіку

Була створена політика обслуговування чергами CBWFQ з урахуванням раніше створених класів трафіка та налаштовано розподіл пропускної здатності (в Кбіт/с) за кожним з класів, зображено на рис. 8. Як показано на рис. 8 в рамках політики **policy1** для двох класів трафіка classCBWFQ1 та classCBWFQ2 була визначена пропускна здатність в 3000 Кбіт/с та 3000 Кбіт/с відповідно.

```
Router(config)#policy-map policy1
Router(config-pmap)#class classCBWFQ1
Router(config-pmap-c)#bandwidth 3000
Router(config-pmap-c)#exit
Router(config-pmap)#
Router(config-pmap)#exit
Router(config)#policy-map policy1
Router(config-pmap)#class classCBWFQ2
Router(config-pmap-c)#bandwidth 3000
Router(config-pmap-c)#exit
Router(config-pmap)#exit
```

Рисунок 8 – Створення політики обслуговування черг

Щоб призначити створену та налаштовану вище політику обслуговування черг **policy1** для вихідного трафіку на інтерфейсі gigabitEthernet 0/0 необхідно виконати команди, наведені на рис.9.

```
Router(config)#interface gigabitEthernet 0/0
Router(config-if)#service-policy output policy1
Router(config-if)#exit
```

Рисунок 9 – Призначення політики обслуговування черг на інтерфейсі

6. Перевірка налаштувань механізму зваженого справедливого обслуговування черг на основі класів CBWFQ на інтерфейсі gigabitEthernet 0/0 маршрутизатора

Для того, щоб провести моніторинг стану всіх налаштованих на маршрутизаторі політик CBWFQ використовуємо команду **show policy-map**. Отримуємо всю необхідну інформацію, а саме:

Використовується політика обслуговування черг під назвою **policy 1** на основі двох класів classCBWFQ1 та classCBWFQ2 для класифікації трафіку. Для класів classCBWFQ1 та classCBWFQ2 виділена пропускна здатність (Bandwidth) в 3000 Кбіт/с та максимальна кількість пакетів, які можуть бути в підчерзі (Max Threshold) 64 пакета.

Результат виконання команди show policy-map наведений на рис. 10.

```
Router#show policy-map
Policy Map policy1
Class classCBWFQ1
  Bandwidth 3000 (kbps) Max Threshold 64 (packets)
Class classCBWFQ2
  Bandwidth 3000 (kbps) Max Threshold 64 (packets)
Router#
```

Рисунок 10 – Перевірка стану створених політик обслуговування черг на маршрутизаторі за допомогою команди show policy-map

Щоб отримати інформацію про налаштований механізм обробки черг, а також про поточний розмір черг використовуємо команду **show interface**.

**Queueing strategy** – обрана стратегія черги, а саме **Class-based queueing** механізм зваженого справедливого обслуговування черг на основі класів CBWFQ.

**Output queue** – вихідна черга це число пакетів в черзі на виході: 0/1000/64/0 (size/max total/threshold/drops):

- **size: 0** – поточне число пакетів в черзі;
- **max total: 1000** – обмеження для кожного інтерфейса на загальну кількість буферів, які може виділити механізм CBWFQ;
- **threshold: 64** – максимальна кількість пакетів, які можуть бути в підчерзі;
- **drops: 0** – кількість відкинутих пакетів.

Conversations 0/0/256 (active/max active/max total):

- **active: 0** – кількість існуючих потоків чи діалогів;
- **max active: 0** – максимальна кількість потоків за весь час роботи;
- **max total: 256** – максимально можлива кількість потоків, якщо є необхідність створити ще один потік, то кілька потоків поміщається в одну підчергу.

Reserved Conversations 2/2 (allocated/max allocated):

- **allocated: 2** – виділені черги для резервування для цього інтерфейса;



- **max allocated: 2** – максимальна кількість черг які можуть бути виділені для резервування для цього інтерфейса.

Available Bandwidth – доступна полоса пропускання, у нашому випадку – 744000 кбіт/с.

Результат виконання команди **show interface** для інтерфейсу gigabitEthernet 0/0 наведений на рис. 11.

```
Router#show interface gigabitEthernet 0/0
GigabitEthernet0/0 is up, line protocol is up (connected)
  Hardware is CN Gigabit Ethernet, address is 0030.f2c5.c201 (bia
0030.f2c5.c201)
  Internet address is 192.168.1.1/24
  MTU 1500 bytes, BW 1000000 Kbit, DLY 100 usec,
    reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
  Encapsulation ARPA, loopback not set
  Keepalive set (10 sec)
  Full-duplex, 100Mb/s, media type is RJ45
  output flow-control is unsupported, input flow-control is
unsupported
  ARP type: ARPA, ARP Timeout 04:00:00,
  Last input 00:00:08, output 00:00:05, output hang never
  Last clearing of "show interface" counters never
  Input queue: 0/75/0 (size/max/drops); Total output drops: 0
  Queueing strategy: Class-based queueing
  Output queue: 0/1000/64/0 (size/max total/threshold/drops)
    Conversations 0/0/256 (active/max active/max total)
    Reserved Conversations 2/2 (allocated/max allocated)
    Available Bandwidth 744000 kilobits/sec
  5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
  5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
    0 packets input, 0 bytes, 0 no buffer
    Received 0 broadcasts, 0 runs, 0 giants, 0 throttles
    0 input errors, 0 CRC, 0 frame, 0 overrun, 0 ignored, 0 abort
    0 watchdog, 1017 multicast, 0 pause input
    0 input packets with dribble condition detected
    0 packets output, 0 bytes, 0 underruns
    0 output errors, 0 collisions, 1 interface resets
    0 unknown protocol drops
    0 babbles, 0 late collision, 0 deferred
    0 lost carrier, 0 no carrier
    0 output buffer failures, 0 output buffers swapped out

Router#
```

Рисунок 11 – Перевірка інформації про налаштований механізм обробки черг за допомогою команди **show interface gigabitEthernet 0/0**

7. Налаштування механізму черг з малою затримкою LLQ на інтерфейсі gigabitEthernet 0/1 маршрутизатора

Було створено два класи трафіку classLLQ1 та classLLQ2. Критерієм відбору пакетів того чи іншого потоку в даному випадку виступає значення поля DSCP в заголовку IP-пакета. Всім пакетам, що мають значення поля DSCP AF31, відводиться клас classLLQ1; пакетам, що мають значення поля DSCP EF, призначається клас classLLQ2. Створення класів трафіку наведені на рис. 12.

```

Router(config)#class-map classLLQ1
Router(config-cmap)#match ip dscp af31
Router(config-cmap)#exit
Router(config)#class-map classLLQ2
Router(config-cmap)#match ip dscp ef
Router(config-cmap)#exit
^
% Invalid input detected at '^' marker.

Router(config-cmap)#exit

```

Рисунок 12 – Створення класів трафіку

Була створена політика обслуговування чергами LLQ з урахуванням раніше створених класів трафіка та налаштовано розподіл пропускної здатності (в Кбіт/с) за кожним з класів, зображено на рис. 13. Як показано на рис. 13 в рамках політики **policy2** для двох класів трафіка classLLQ1 та classLLQ2 була визначена пропускна здатність в 3500 Кбіт/с та 4000 Кбіт/с відповідно.

```

Router(config)#policy-map policy2
Router(config-pmap)#class classLLQ1
Router(config-pmap-c)#bandwidth 3500
Router(config-pmap-c)#exit
Router(config-pmap)#class classLLQ2
Router(config-pmap-c)#priority 4000
Router(config-pmap-c)#exit
Router(config-pmap)#exit

```

Рисунок 13 – Створення політики обслуговування черг

Щоб призначити створену та налаштовану вище політику обслуговування черг **policy2** для вихідного трафіку на інтерфейсі gigabitEthernet 0/1 необхідно виконати команди, наведені на рис.14.

```

Router(config)#interface gigabitEthernet 0/1
Router(config-if)#service-policy output policy2
Router(config-if)#exit
Router(config)#exit
Router#

```

Рисунок 14 – Призначення політики обслуговування черг на інтерфейсі

8. Перевірка налаштувань механізму черг з малою затримкою LLQ на інтерфейсі gigabitEthernet 0/1 маршрутизатора

Для того, щоб провести моніторинг стану всіх налаштованих на маршрутизаторі політик LLQ використовуємо команду show policy-map. Отримуємо всю необхідну інформацію, а саме:

Політика обслуговування черг під назвою **policy 2** має два класи classLLQ1 та classLLQ2 для класифікації трафіку . Для класу classLLQ1 виділена пропускна здатність (**Bandwidth**) в 3500 Кбіт/с та максимальна кількість пакетів, які можуть бути в підчерзі (**Max Threshold**) 64 пакета. Для

класа **classLLQ2** максимальна смуга пропускання для трафіка, що обслуговується, за допомогою пріоритетної черги (**Bandwidth**) в 4000 Кбіт/с та параметр **Burst = 100000 байт** – припустима величина сплеску. Якщо інтенсивність трафіка перевищить це максимальне значення, весь надлишковий трафік буде відкинутий.

Результат виконання команди **show policy-map** наведений на рис. 15.

```
Router#show policy-map
Policy Map policy1
Class classCBWFQ1
  Bandwidth 3000 (kbps) Max Threshold 64 (packets)
Class classCBWFQ2
  Bandwidth 3000 (kbps) Max Threshold 64 (packets)
Policy Map policy2
Class classLLQ1
  Bandwidth 3500 (kbps) Max Threshold 64 (packets)
Class classLLQ2
  Strict Priority
  Bandwidth 4000 (kbps) Burst 100000 (Bytes)
Router#
```

Рисунок 15 – Перевірка стану створених політик обслуговування черг на маршрутизаторі за допомогою команди **show policy-map**

Щоб отримати інформацію про налаштований механізм обробки черг, а також про поточний розмір черг використовуємо команду **show interface**. **Queueing strategy** – обрана стратегія черги, а саме **Class-based queueing** механізм черг з малою затримкою LLQ.

**Output queue** – вихідна черга це число пакетів в черзі на виході:  
0/1000/64/0 (size/max total/threshold/drops):

- **size: 0** – поточне число пакетів в черзі;
- **max total: 1000** – обмеження для кожного інтерфейса на загальну кількість буферів, які може виділити механізм CBWFQ;
- **threshold: 64** – максимальна кількість пакетів, які можуть бути в підчерзі;
- **drops: 0** – кількість відкинутих пакетів.

Conversations 0/0/256 (active/max active/max total):

- **active: 0** – кількість існуючих потоків чи діалогів;
- **max active: 0** – максимальна кількість потоків за весь час роботи;
- **max total: 256** – максимально можлива кількість потоків, якщо є необхідність створити ще один потік, то кілька потоків поміщається в одну підчергу.

Reserved Conversations 1/1 (allocated/max allocated):

- **allocated: 1** – виділені черги для резервування для цього інтерфейса;
- **max allocated: 1** – максимальна кількість черг які можуть бути виділені для резервування для цього інтерфейса.

Available Bandwidth – доступна полоса пропускання, у нашому випадку – 742500 кбіт/с.

Результат виконання команди **show interface** для інтерфейсу **gigabitEthernet 0/1** наведений на рис. 16.

```
Router#show interface gigabitEthernet 0/1
GigabitEthernet0/1 is up, line protocol is up (connected)
  Hardware is CN Gigabit Ethernet, address is 0030.f2c5.c202 (bia
0030.f2c5.c202)
  Internet address is 10.0.0.1/8
  MTU 1500 bytes, BW 1000000 Kbit, DLY 1000 usec,
    reliability 255/255, txload 1/255, rxload 1/255
  Encapsulation ARPA, loopback not set
  Keepalive set (10 sec)
  Full-duplex, 100Mb/s, media type is RJ45
  output flow-control is unsupported, input flow-control is
unsupported
  ARP type: ARPA, ARP Timeout 04:00:00,
  Last input 00:00:08, output 00:00:05, output hang never
  Last clearing of "show interface" counters never
  Input queue: 0/75/0 (size/max/drops); Total output drops: 0
  Queueing strategy: Class-based queueing
  Output queue: 0/1000/64/0 (size/max total/threshold/drops)
    Conversations 0/0/256 (active/max active/max total)
    Reserved Conversations 1/1 (allocated/max allocated)
    Available Bandwidth 742500 kilobits/sec
  5 minute input rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
  5 minute output rate 0 bits/sec, 0 packets/sec
    0 packets input, 0 bytes, 0 no buffer
    Received 0 broadcasts, 0 runs, 0 giants, 0 throttles
    0 input errors, 0 CRC, 0 frame, 0 overrun, 0 ignored, 0 abort
    0 watchdog, 1017 multicast, 0 pause input
    0 input packets with dribble condition detected
    0 packets output, 0 bytes, 0 underruns
    0 output errors, 0 collisions, 1 interface resets
    0 unknown protocol drops
    0 babbles, 0 late collision, 0 deferred
    0 lost carrier, 0 no carrier
    0 output buffer failures, 0 output buffers swapped out

Router#
```

Рисунок 16 – Перевірка інформації про налаштований механізм обробки черг за допомогою команди **show interface gigabitEthernet 0/1**

Висновок: в лабораторній роботі було досліджено механізм зваженого справедливого обслуговування черг на основі класів CBWFQ та механізм черг з малою затримкою LLQ.

У механізмі зваженого справедливого обслуговування черг на основі класів CBWFQ підчерги виділяються для обробки класу трафіку, а не його окремого потоку, як передбачається механізмом WFQ на основі потоку. Трафік класифікується на підставі наступних параметрів: IP-адреси джерела-одержувача пакетів, списки доступу (access list), протокол, значення DSCP, мітка MPLS QoS. Політика відкидання пакетів може бути tail drop або WRED і може бути налаштована для кожної черги окремо. Максимальна довжина черги залежить від маршрутизатора. Максимальна кількість черг — 64, і в кожній черзі ми можемо увімкнути WFQ, тобто  $64 \times 4096 = 262144$ . Загальна пропускна здатність вихідного інтерфейсу розподіляється за класами. Для того щоб виділити певну пропускну здатність в процентах чи кілобітах використовуємо команду bandwidth percent або bandwidth в kbit/s. Якщо якийсь пакет не відповідає умовам описаним у створених класах, то він потрапляє в чергу за замовчуванням для якої виділяється 25% пропускну здатності (за замовчуванням), як правило в цій черзі пакети обробляються за механізмом WFQ.

Механізмі черг з малою затримкою LLQ є модифікацією CBWFQ. У цьому механізмі існує пріоритетна черга, пакети якої обслуговуються по такому ж принципу як обслуговується пріоритетна черга в механізмі PQ. Пакети всіх пріоритетів окрім найвищого будуть чекати своєї черги поки черга найвищого пріоритета буде спустошена. Налаштовуються пропускна здатність для пріоритетної черги за допомогою команди priority або priority percent.

Підсумовуючи можна сказати, що кожен з цих механізмів має свої недоліки та переваги. Для CBWFQ перевагою є те, що ми гарантовано отримуємо ту пропускну здатність яка нам потрібна. Недоліком же є те, що цей механізм не можна використовувати для передачі розмовного трафіку, чи трафіку чутливого до затримок. Для LLQ перевагою є те, що пріоритетна черга може обслуговуватися майже без затримок і це підходить для передачі трафіка, чутливого до затримок. З недоліків можна відмітити, що пакети які стоять не в пріоритетній черзі будуть обслуговуватися з затримками, через те, що будуть чекати поки пріоритетна черга повністю буде обслугована. Також, іноді можуть бути затримки в обслуговуванні пріоритетної черги. Наприклад, якщо в даний момент обслуговується непріоритетна черга в якій може бути великий за розміром пакет, то час який витрачається на те, щоб обслужити цей пакет і буде тою затримкою в обслуговуванні пакета з пріоритетної черги.