

Университет ИТМО

**Сети ЭВМ и телекоммуникации**  
**Лабораторная работа №5**

Выполнила: Калугина Марина  
Группа: Р3302

г. Санкт-Петербург

2020 г.

# Содержание

<b>Содержание</b>	<b>1</b>
<b>Цель</b>	<b>2</b>
<b>Исходные данные</b>	<b>2</b>
<b>Ход работы</b>	<b>2</b>
FIFO	5
PQ	9
WFQ	12
<b>Вывод</b>	<b>17</b>

# Цель

Цель работы – изучение эффективности приоритезации трафика для управления качеством обслуживания (Quality of Service, QoS) в компьютерных сетях

## Исходные данные

S = 8 килобайт

N = 6 килобайт

K = 2

## Ход работы

Для онлайн-трансляции видео (ВПЗ) был использован сервис webinar.ru.

На рисунке 1 представлен скриншот процесса сбора трафика в wireshark.

ip.dst == 37.130.192.56    ip.src == 37.130.192.56					
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length Info
1177	6.390519	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	139 Continuation Data
1178	6.390919	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	1037 Continuation Data
1179	6.397400	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=440948 Win=16387 Len=0
1180	6.406086	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=442015 Win=16387 Len=0
1181	6.408711	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	139 Continuation Data
1182	6.422366	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=443083 Win=16387 Len=0
1183	6.428502	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	1042 Continuation Data
1184	6.429269	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	142 Continuation Data
1185	6.429502	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	1042 Continuation Data
1186	6.434863	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	1042 Continuation Data
1187	6.440601	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	1042 Continuation Data
1188	6.442157	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=444159 Win=16387 Len=0
1189	6.447439	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	138 Continuation Data
1190	6.452348	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=446135 Win=16387 Len=0
1191	6.461135	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=447207 Win=16387 Len=0
1192	6.468672	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	137 Continuation Data
1193	6.468987	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	977 Continuation Data
1194	6.475595	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	977 Continuation Data
1195	6.476147	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	977 Continuation Data
1196	6.481664	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	978 Continuation Data
1197	6.482438	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=448213 Win=16387 Len=0
1198	6.487661	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	133 Continuation Data
1199	6.489482	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=450059 Win=16387 Len=0
1200	6.501426	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=451062 Win=16387 Len=0
1201	6.510870	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	139 Continuation Data
1202	6.516698	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	994 Continuation Data
1203	6.522614	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	994 Continuation Data
1204	6.528701	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	142 Continuation Data
1205	6.529315	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	994 Continuation Data
1206	6.530360	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=452087 Win=16387 Len=0
1207	6.534742	192.168.0.107	37.130.192.56	SSL	994 Continuation Data
1208	6.542721	37.130.192.56	192.168.0.107	TCP	60 443 → 50777 [ACK] Seq=659 Ack=453115 Win=16387 Len=0

Рисунок 1.

Для трансляции разговора “с родными и близкими” был использован Skype.

На рисунке 2 представлен процесс сбора трафика в wireshark.

ip.addr == 52.158.35.16						
No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	182	1564 → 3478 Len=140
2	0.000286	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	133	3478 → 1564 Len=91
7	0.014289	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	713	3478 → 1564 Len=671
8	0.014497	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	712	3478 → 1564 Len=670
9	0.014611	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	670	3478 → 1564 Len=628
12	0.015295	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	669	3478 → 1564 Len=627
13	0.020125	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	190	1564 → 3478 Len=148
14	0.021027	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1047	1564 → 3478 Len=1005
15	0.021225	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1047	1564 → 3478 Len=1005
16	0.021312	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1047	1564 → 3478 Len=1005
17	0.021399	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1047	1564 → 3478 Len=1005
18	0.021480	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1047	1564 → 3478 Len=1005
19	0.021562	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1047	1564 → 3478 Len=1005
20	0.021644	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1047	1564 → 3478 Len=1005
21	0.021715	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1040	1564 → 3478 Len=998
22	0.021798	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1063	1564 → 3478 Len=1021
23	0.021875	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1063	1564 → 3478 Len=1021
24	0.025119	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	121	3478 → 1564 Len=79
25	0.028679	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1063	1564 → 3478 Len=1021
26	0.029003	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	1063	1564 → 3478 Len=1021
27	0.039972	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	183	1564 → 3478 Len=141
28	0.041805	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	122	3478 → 1564 Len=80
29	0.044869	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	661	3478 → 1564 Len=619
30	0.045100	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	661	3478 → 1564 Len=619
31	0.045217	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	697	3478 → 1564 Len=655
32	0.045290	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	696	3478 → 1564 Len=654
33	0.059879	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	171	1564 → 3478 Len=129
34	0.061265	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	151	3478 → 1564 Len=109
37	0.079775	192.168.0.107	52.158.35.16	UDP	161	1564 → 3478 Len=119
38	0.082091	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	130	3478 → 1564 Len=88
39	0.087180	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	872	3478 → 1564 Len=830
40	0.087366	52.158.35.16	192.168.0.107	UDP	872	3478 → 1564 Len=830

Рисунок 2.

На рисунке 3 изображена функция распределения времени между пакетами для ВПЗ. Значения времени были округлены до  $10^{-3}$  степерни. На графике по оси абсцисс расположено время, по оси ординат -- значение функции распределения.



Рисунок 3.

На рисунке 4 показано распределение размеров пакетов для ВПЗ



Рисунок 4.

На рисунке 5 представлена функция распределения времени между пакетами трафика скайпа. Так как было произведено округление до 3 знаков после запятой, а часто время между последовательными пакетами было меньше миллисекунды, то в данном графике функция начинается не с 0.



Рисунок 5.

На рисунке 6 показана функция распределения размеров пакетов для трафика скайпа.



Рисунок 6.

Согласно нормам «ITU-T Y.1541»

Для скайпа норма задержки: 100мс, джиттер: 50мс, процент потерь: 0.1%.

Для ВПЗ (webinar.ru для данной лабораторной работы) норма задержки: 1с, джиттер: -, потери: 0.1%

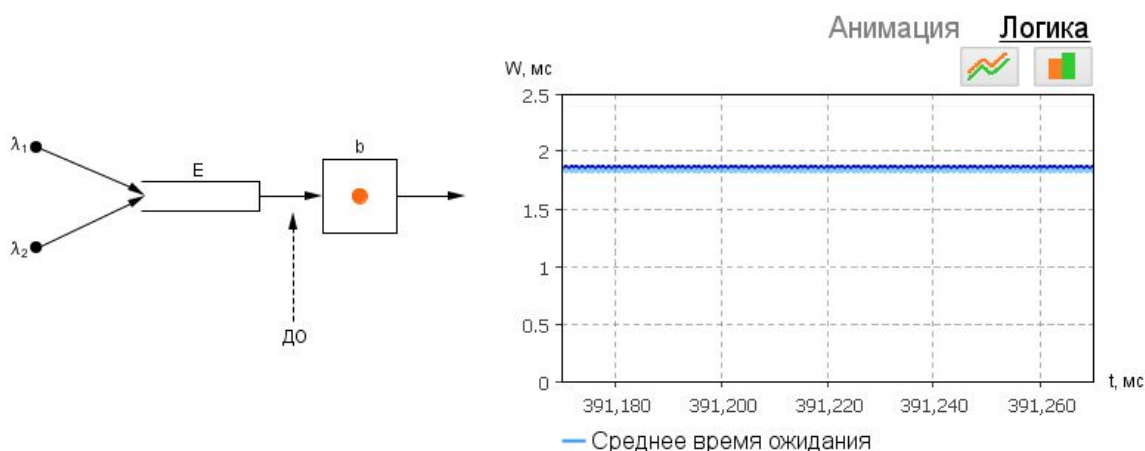
Далее будет описан поиск минимальной скорости, при котором траффик соответствует представленным выше нормам.

## FIFO

FIFO соответствует безприоритетной дисциплине обслуживания.

На рисунке 7 показано значение параметров при FIFO (ДО БП) при пропускной способности = 6000Кбит/с и емкостью накопителя 8000 байт (данные, согласно варианту)





### Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов  
 $T$ , мин=0.1, мода=0.2, макс=0.3 мс  
 $T$ , мин=0.3, мода=0.4, макс=0.5 мс

закон распределения размеров пакетов  
 $T$ , мин=100, мода=728, макс=200 байт  
 $T$ , мин=45, мода=728, макс=1500 байт

пропускная способность канала связи  $C$ , Кбит/с  
 6,000

дисциплина обслуживания ДО  
 БП

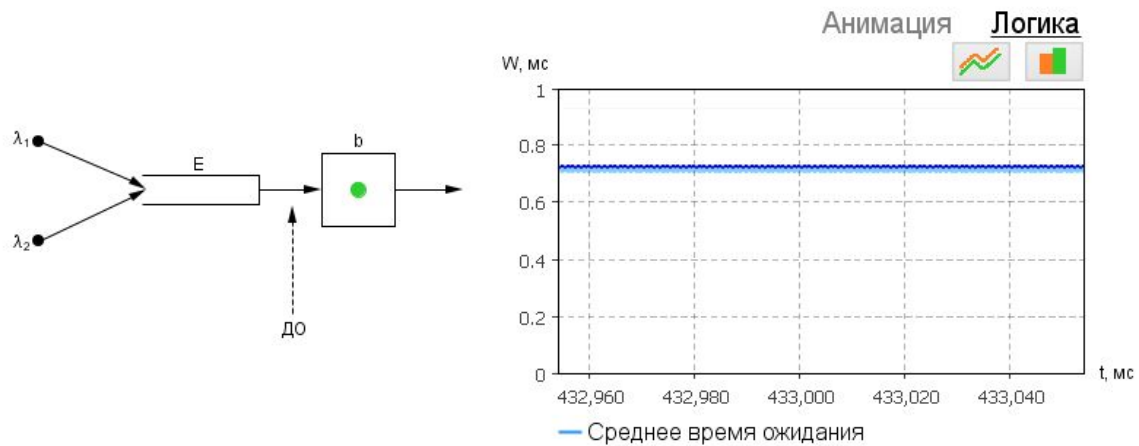
емкость накопителя  $E$ , байт  
 8,000

### Характеристики

загрузка  $\rho$   
 0.506 +/- 0.002  
 вероятность потери  $\pi$   
 0.009 +/- 5.204E-6  
 среднее время ожидания  $W$ , мс  
 1.837 +/- 0.01  
 среднее время пребывания  $U$ , мс  
 2.846 +/- 0.01  
 текущая длина очереди, пакетов  
 0  
 средняя длина очереди  $I$ , пакетов  
 0.922 +/- 0.005

Рисунок 7

В ходе проведения эксперимента было выявлено следующее: для того, чтобы удовлетворять нормам «ITU-T Y.1541» при FIFO достаточно иметь пропускную способность 9400 Кбит/с. При этом значении пропускной способности вероятность потери пакета будет равна 0.001 и среднее время задержки будет равно 0,715 мс (при допустимом значении 100мс). (см. рис 8)



### Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов  
 $T$ , мин=0.1, мода=0.2, макс=0.3 мс  
 $T$ , мин=0.3, мода=0.4, макс=0.5 мс

закон распределения размеров пакетов  
 $T$ , мин=100, мода=728, макс=200 байт  
 $T$ , мин=45, мода=728, макс=1500 байт

пропускная способность канала связи  $C$ , Кбит/с  
 9,400

дисциплина обслуживания ДО  
 БП

емкость накопителя  $E$ , байт  
 8,000

### Характеристики

загрузка  $\rho$

0.325 +/- 0.001

вероятность потери  $\pi$

0.001 +/- 9.322E-7

среднее время ожидания  $W$ , мс

0.715 +/- 0.004

среднее время пребывания  $U$ , мс

1.361 +/- 0.005

текущая длина очереди, пакетов

0

средняя длина очереди  $l$ , пакетов

0.36 +/- 0.003

Рисунок 8

В ходе проведения экспериментов были получены такие графики зависимостей вероятности потерь от пропускной способности (рис. 9) и задержки от пропускной способности (рис. 10)



### Зависимость вероятности потери от пропускной способности при ДО БП

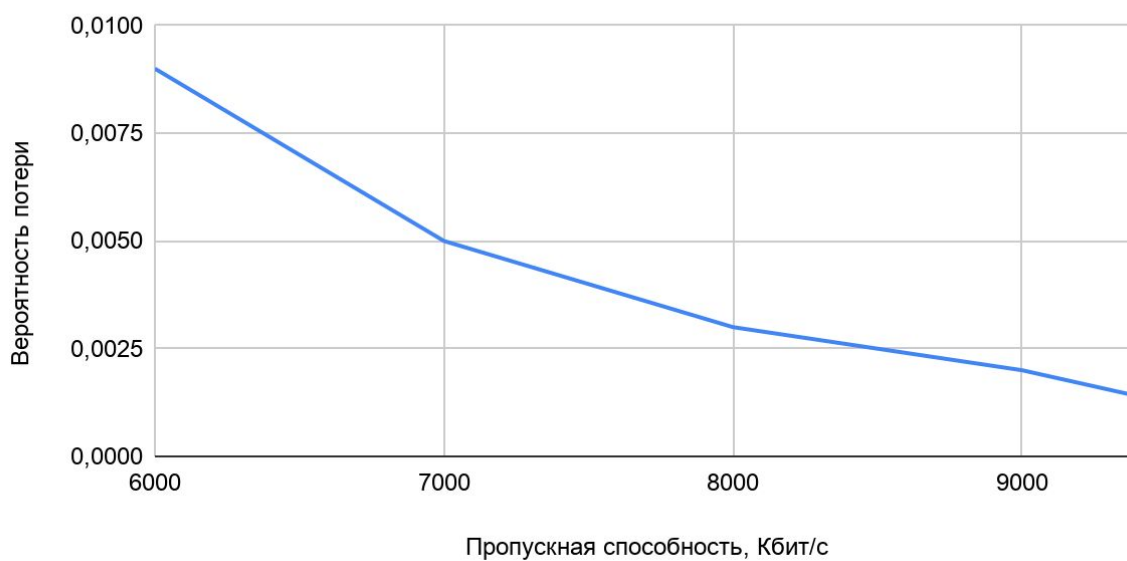


Рисунок 9

### Зависимость задержки от пропускной способности при ДО БП

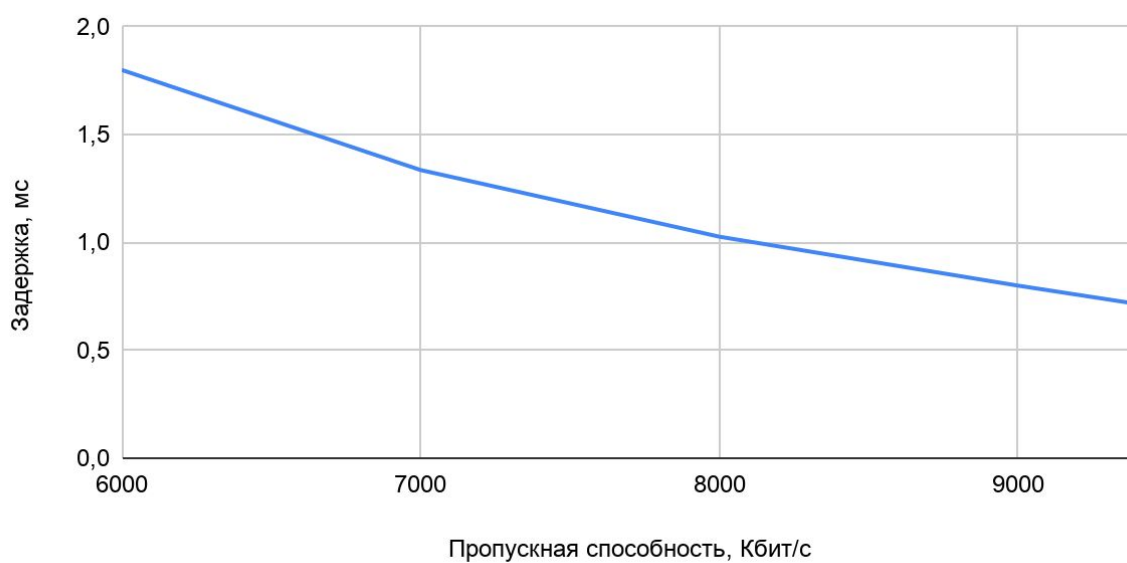


Рисунок 10

## PQ

PQ соответствует дисциплине обслуживания с относительными приоритетами.

На рисунке 11 показано значение параметров при PQ (ДО ОП) при пропускной способности = 6000Кбит/с и емкостью накопителя 8000 байт (данные, согласно варианту)

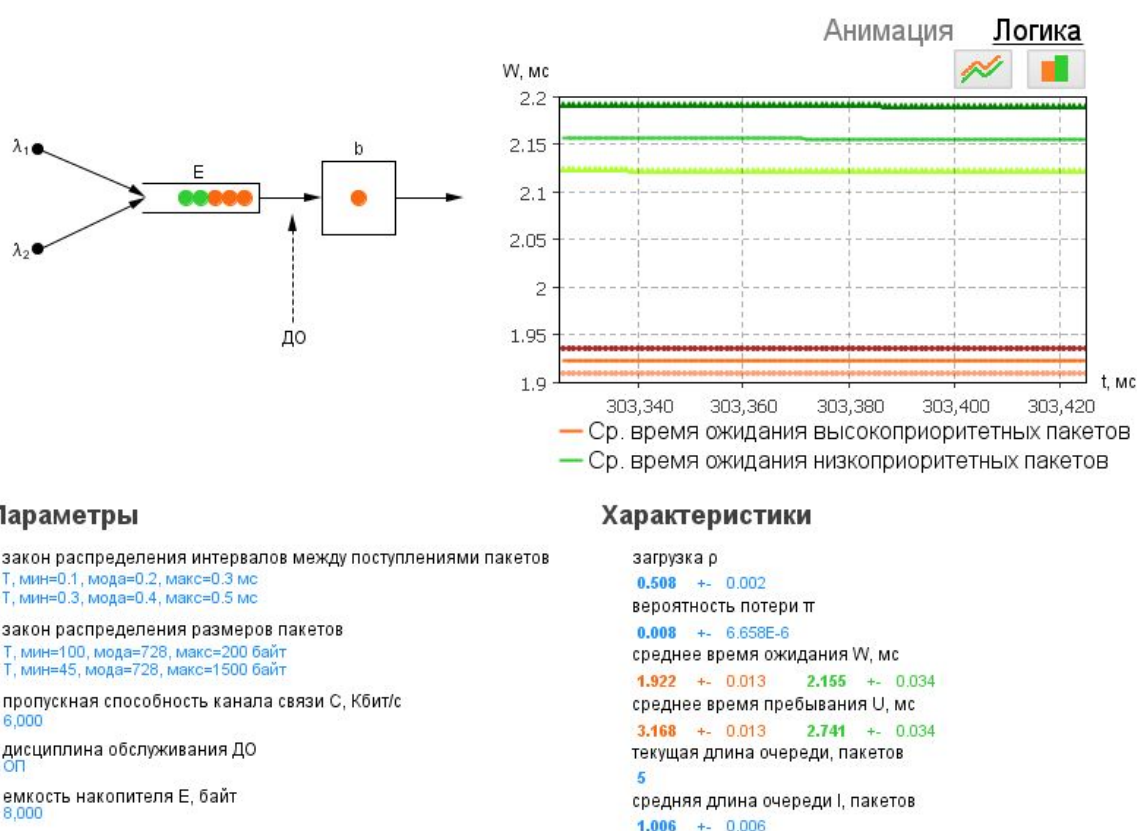
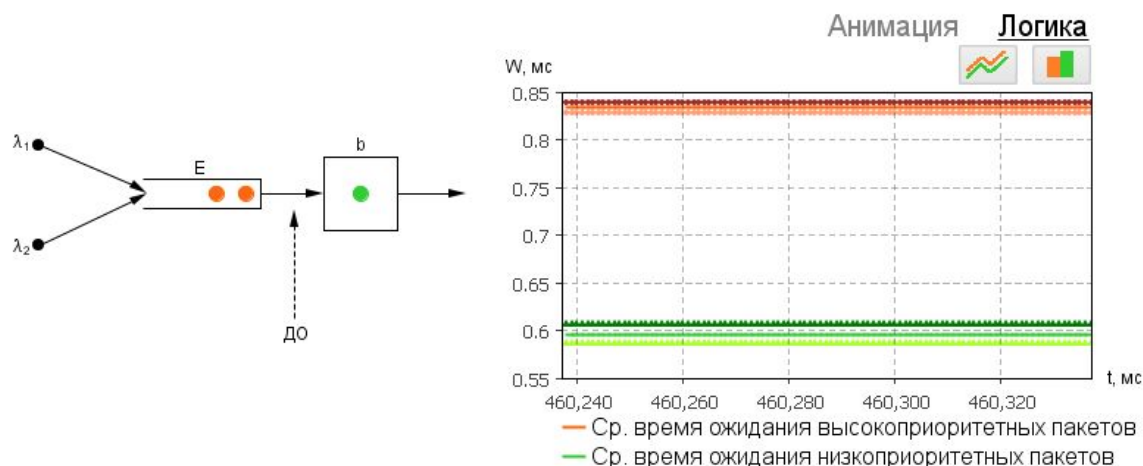


Рисунок 11

В ходе проведения эксперимента было выявлено следующее: для того, чтобы удовлетворять нормам «ITU-T Y.1541» при PQ достаточно иметь пропускную способность 9500 Кбит/с. При этом значении пропускной способности вероятность потери пакета будет равна 0.001 и значения средней задержки равны 0,833 и 0,596 мс для скайпа и ВПЗ соответственно



### Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов  
 $T$ , мин=0.1, мода=0.2, макс=0.3 мс  
 $T$ , мин=0.3, мода=0.4, макс=0.5 мс

закон распределения размеров пакетов  
 $T$ , мин=100, мода=728, макс=200 байт  
 $T$ , мин=45, мода=728, макс=1500 байт

пропускная способность канала связи  $C$ , Кбит/с  
 9,500

дисциплина обслуживания ДО  
 ОП

емкость накопителя  $E$ , байт  
 8,000

### Характеристики

загрузка  $\rho$   
 0.322 +/- 0.001  
 вероятность потери  $\pi$   
 0.001 +/- 7.832E-7  
 среднее время ожидания  $W$ , мс  
 0.833 +/- 0.005    0.596 +/- 0.01  
 среднее время пребывания  $U$ , мс  
 1.62 +/- 0.005    0.964 +/- 0.01  
 текущая длина очереди, пакетов  
 2  
 средняя длина очереди  $I$ , пакетов  
 0.377 +/- 0.003

Рисунок 12

В ходе проведения экспериментов были получены такие графики зависимостей вероятности потерь от пропускной способности (рис. 13) и задержки скайпа и ВПЗ от пропускной способности (рис. 14)

### Зависимость вероятности потери от пропускной способности при ДО ОП

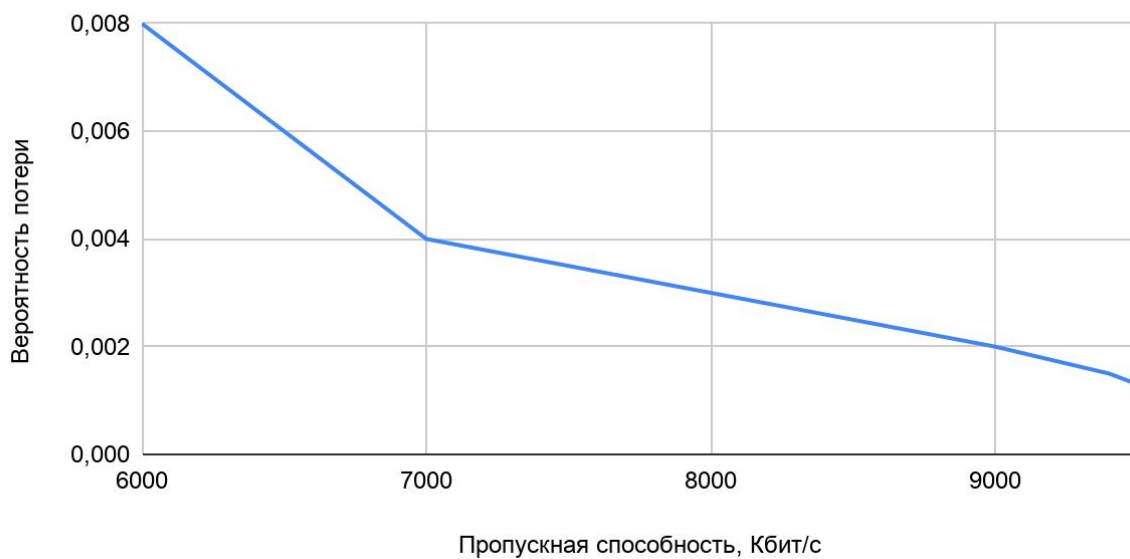


Рисунок 13

### Зависимость средней задержки скайпа и ВПЗ от пропускной способности

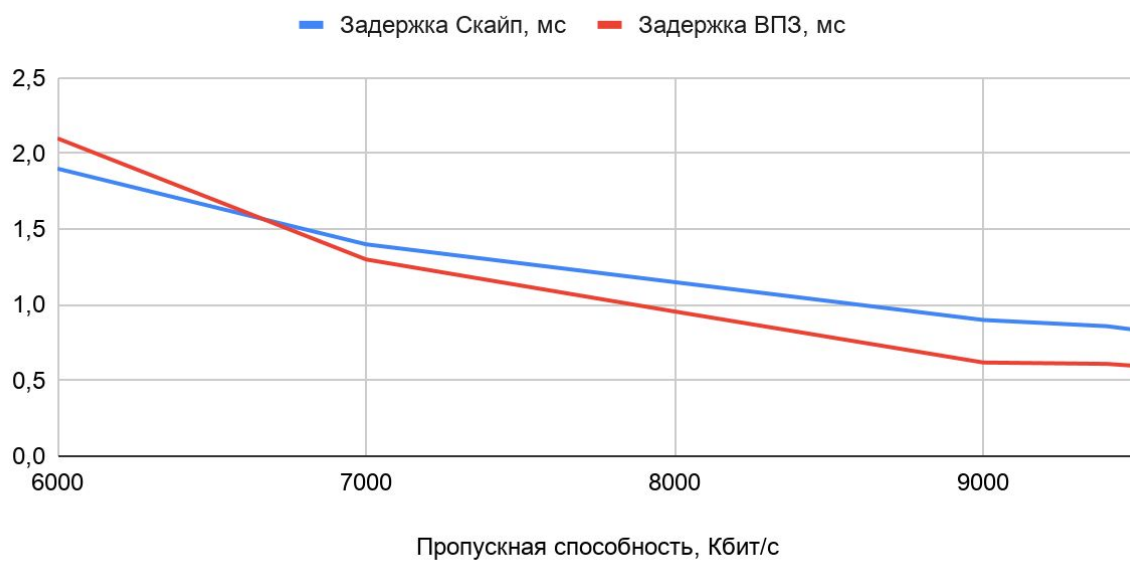


Рисунок 14

## WFQ

Более требовательные пакеты -- пакеты скайпа, поэтому ему был выставлен приоритет в 2 раза больший, чем у ВПЗ.

На рисунке 16 показано значение параметров при WFQ при пропускной способности = 6000Кбит/с и емкостях накопителя 8000 байт (данные, согласно варианту).

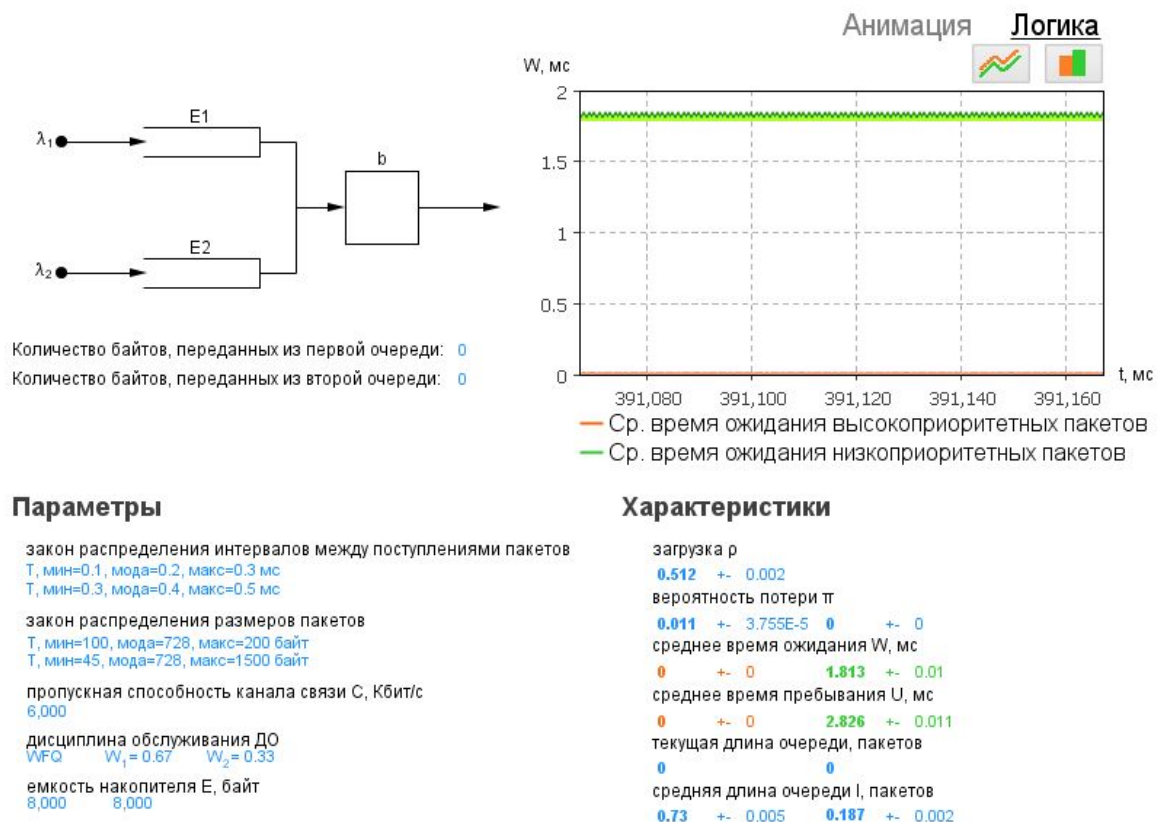


Рисунок 16

В ходе проведения эксперимента было выявлено следующее: для того, чтобы удовлетворять нормам «ITU-T Y.1541» при WFQ и приоритете скайпа в 2 раза большем, чем ВПЗ (Скайп:  $w_1=0,67$ ; ВПЗ:  $w_2 = 0,33$ ) достаточно иметь пропускную способность 9800 Кбит/с. Полученные графики изображены на рисунках 18-19.

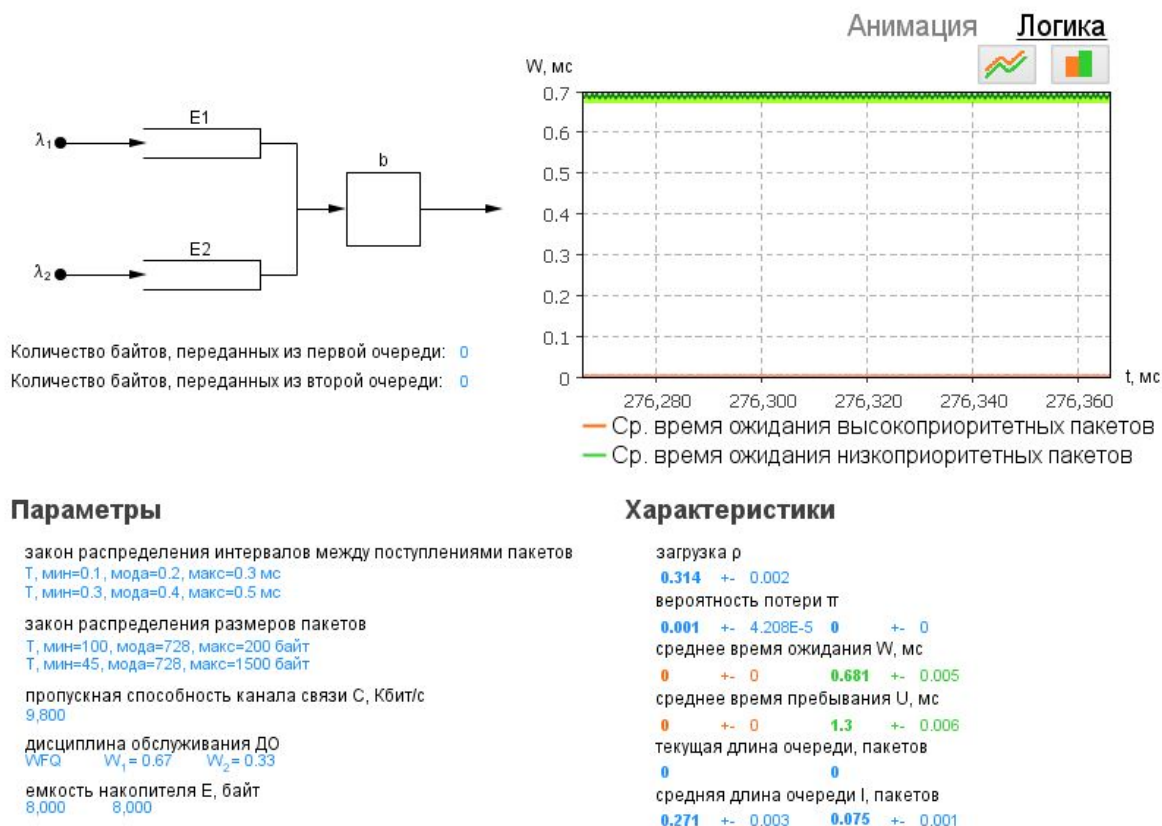


Рисунок 17

## Зависимость вероятности потери от пропускной способности скайпа

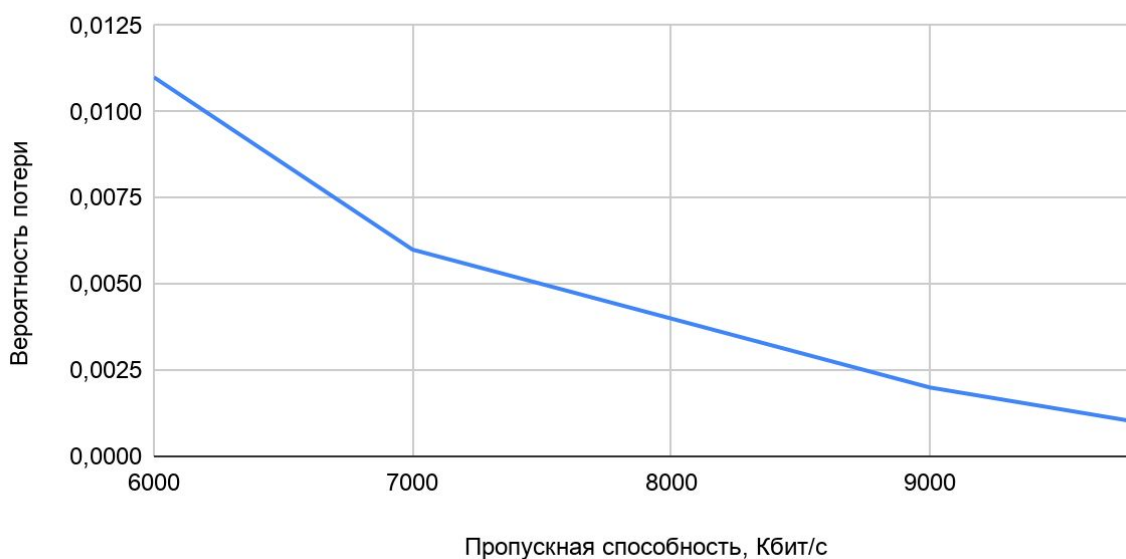


Рисунок 18

## Зависимость задержки от пропускной способности ВПЗ

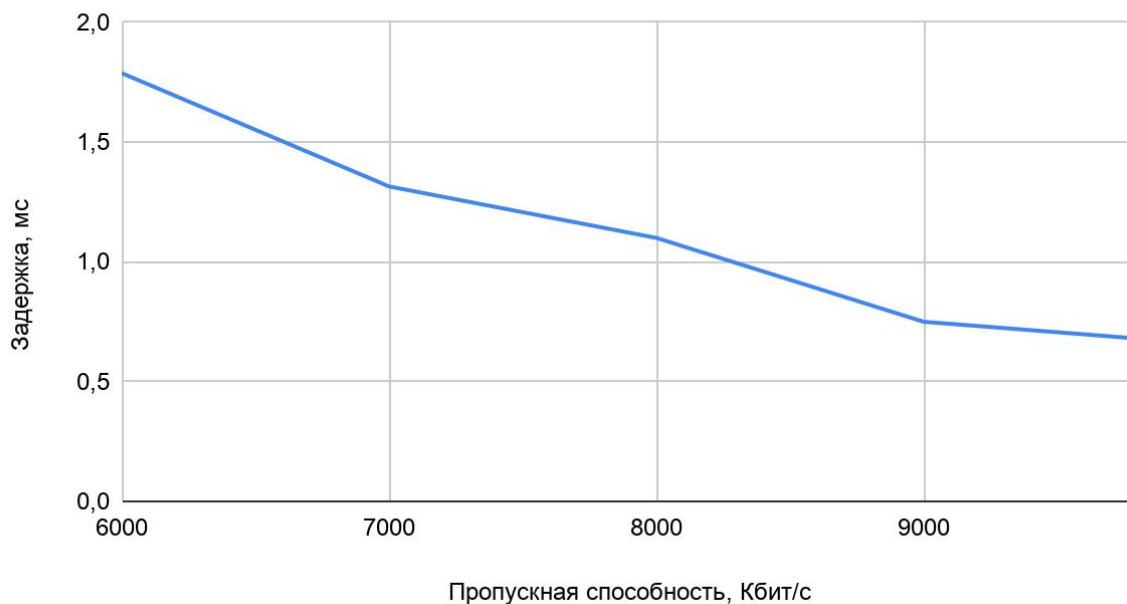


Рисунок 19

При значении весов, согласных варианту, значение минимальной пропускной способности равно 9800 Кбит/с. Это значение не является оптимальным, так как, как видно на рисунке 17, для скайпа это значение пропускной способности является минимально возможным, при этом вероятность потерь и задержка у ВПЗ равна 0. Отсюда следует, что можно сбалансировать пакеты так, чтобы обе эти характеристики были максимальны для соответствия нормам и при этом найти наименьшую требуемую пропускную способность. Т.е. увеличить приоритет скайпу так, чтобы большее количество пакетов могло успеть пройти без увеличения процента потерь за счет увеличения процента потерь трафика ВПЗ.

На рисунке 20 показано значение вероятности потерь и задержки при весах 0,9 для скайпа и 0,1 для ВПЗ. Эти веса не позволяют добиться у ВПЗ вероятности потерь, равных 0,1, но дальнейшее изменение весов перестает влиять на вероятность потерь и задержку. При таком распределении весов минимальная пропускная способность канала связи равна 9450 Кбит/с.



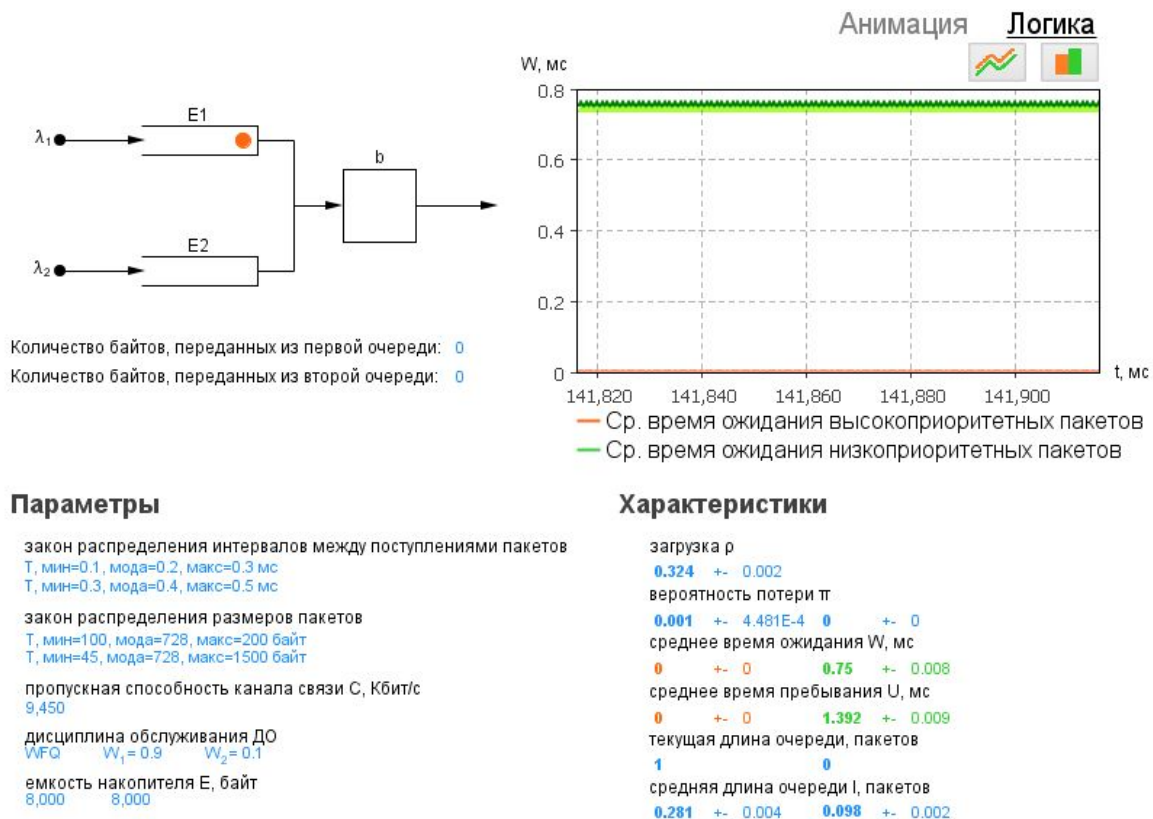


Рисунок 20

## Вывод

Подводя итоги был получен график вероятности потерь (рисунок 21), на котором видны относительные значения для дисциплин обслуживания 3-х типов.

## График

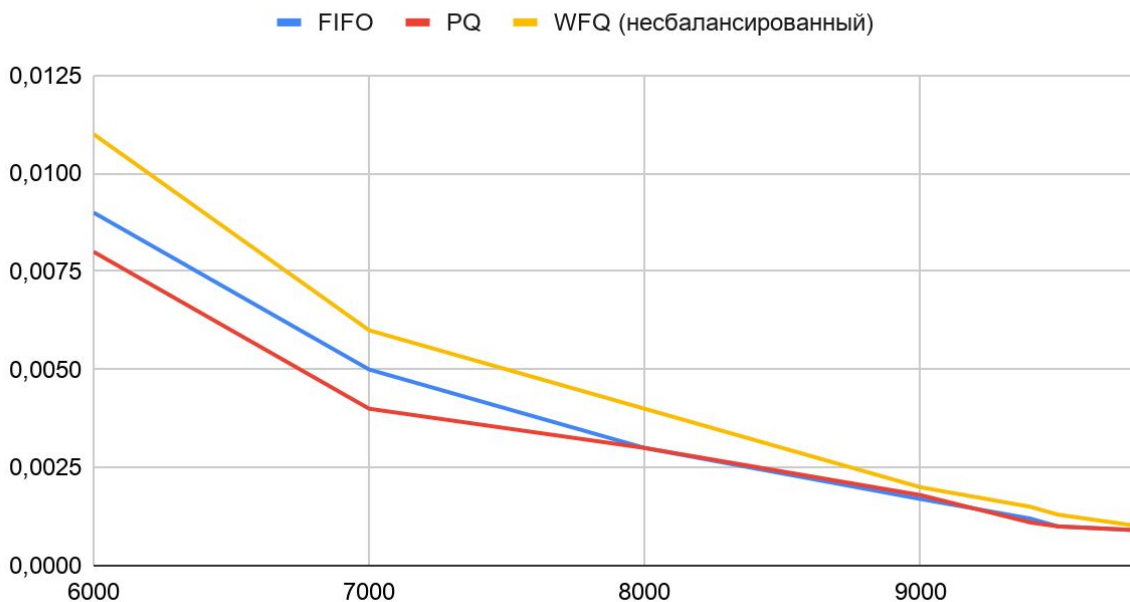


Рисунок 21

В ходе выполнения лабораторной работы были получены результаты, представленные в таблице 1. Так как более важная информация для данной лабораторной работы -- это минимальная пропускная способность, то сравнение дисциплин обслуживания будет происходить по ней. Для полученной трассы дисциплина обслуживания, имеющая минимальную необходимую пропускную способность - это безприоритетная.

Таблица 1

	FIFO	PQ	WFQ
Минимальная пропускная способность, Кбит/с	9400	9500	9450
Задержка скайп, мс	0,715	0,833	0
Задержка ВПЗ, мс		0,596	0,75

FIFO имеет минимальную необходимую пропускную способность, но так как для него невозможно различать пакеты разных типов, нельзя определить вероятность потерь для пакетов каждого типа. Может быть ситуация, при которой, например, проходят успешно 100 пакетов одного трафика и 10 пакетов второго. Если у второго пакета при этом потеряется 2 пакета, то общий процент потерь будет равен 0,001, но при этом пакеты каждого трафика имеют вероятности потерь 0 и 0,2.

Другими словами, при дисциплине обслуживания FIFO мы не можем гарантировать соблюдения норм для пакетов каждого типа.