

Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и  
оптики  
Кафедра вычислительной техники  
Сети ЭВМ и телекоммуникации

Учебно-исследовательская работа №5  
«Технологии QoS в компьютерных сетях»

Студентка:  
Преподаватель:  
*Шинкарук Д.Н.*

Санкт-Петербург, 2017

## Цели работы

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

## Исходные данные

- Пропускная способность:  $N = 5$  Mbps.
- Размер буфера:  $S = 7$  Кб.
- Приоритеты WFQ:  $W_1 : W_2 = 7 : 1$ ,  $W_1 = 0.86$   $W_2 = 0.14$

Параметры	Skype	Twitch
Задержка, ms	100	1000
Джиттер, ms	50	-
Потеря пакетов, %	0.1	0.1

## Захват трафика

Захват VoIP трафика происходил следующим образом: определение открытых программой Skype портов, определение, через какой порт и на какой адрес происходит наибольшая активность при звонке, захват трафика с фильтром `port PORT and host HOST and udp`.

254	7.922	157.56.198.40	192.168.1.26	UDP	79	2002 → 62789	Len=37
255	7.942	157.56.198.40	192.168.1.26	UDP	117	2002 → 62789	Len=75
256	7.962	157.56.198.40	192.168.1.26	UDP	175	2002 → 62789	Len=133
257	7.983	157.56.198.40	192.168.1.26	UDP	176	2002 → 62789	Len=134

Захват VoD трафика происходил следующим образом: определение адреса, через который идёт видео-трафик, с помощью отладочной консоли браузера; захват трафика с фильтром `host HOST and tcp`.

1	0.000000	52.223.193.247	192.168.1.26	TLSv1.2	841	Application Data
2	1.301596	52.223.193.247	192.168.1.26	TLSv1.2	841	Application Data
3	1.348996	52.223.193.247	192.168.1.26	SSL	1506	
4	1.349704	52.223.193.247	192.168.1.26	TLSv1.2	1506	Ignored Unknown Record

## Функции распределения интервалов между пакетами

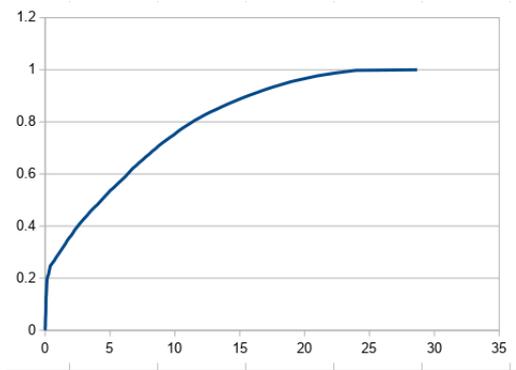


Рис. 1. Skype

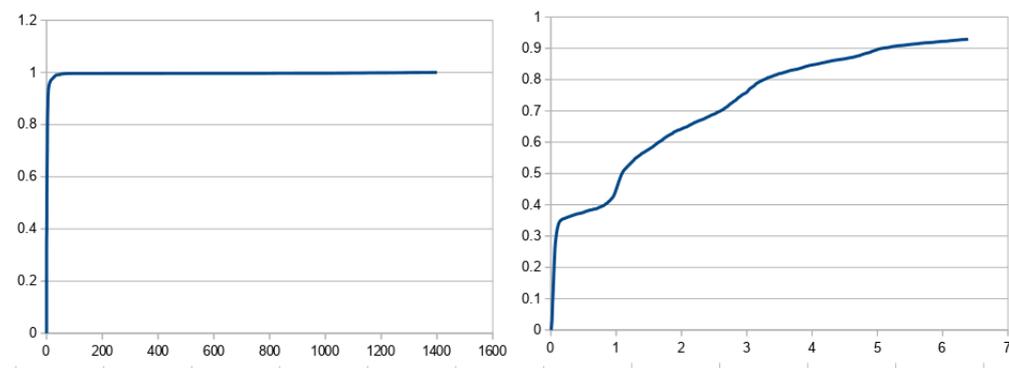


Рис. 2. Twitch

## Функции распределения размеров пактов

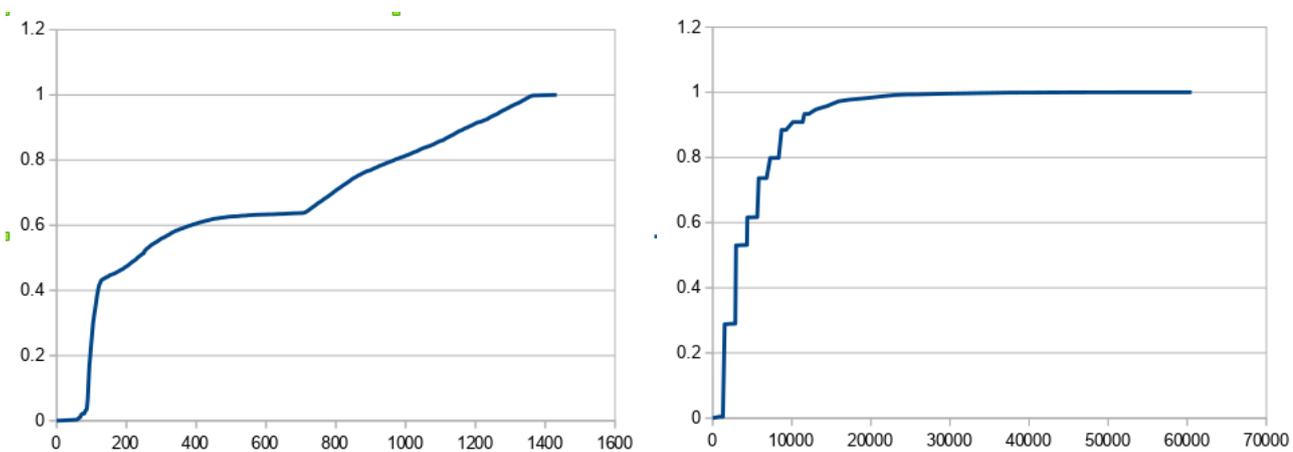
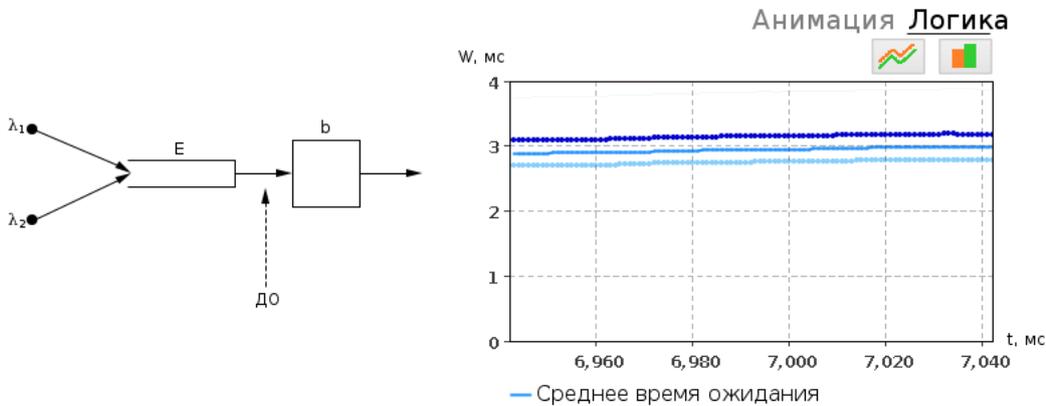


Рис. 3. Skype и Twitch

# Эксперименты

## Исследование FIFO

Элементарная очередь без приоритизации: каждый класс трафика получает одинаковое количество обслуживания в случае, если считать задержку ожидания в буфере; при учёте задержки при выдаче в канал связи, то равное обслуживание не обеспечивается.



### Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов нагрузка  $\rho$

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

5,000

дисциплина обслуживания ДО

БП

ёмкость накопителя E, байт

7,000

### Характеристики

0.365 +- 0.011

вероятность потери  $\pi$

0.262 +- 0.003

среднее время ожидания W, мс

2.981 +- 0.196

среднее время пребывания U, мс

4.618 +- 0.233

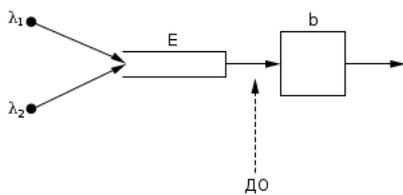
текущая длина очереди, пакетов

0

средняя длина очереди l, пакетов

0.665 +- 0.032

При вариации значения пропускной способности не удалось добиться характеристик, соответствующих заданным требованиям. Такое поведение обуславливается большим размером пакетов и малым интервалом между времени между пакетами: заданного в задании размера буфера и пропускной способности недостаточно для данного типа трафика. При попытке увеличить исходные параметры были получены следующие результаты.



Анимация Логика



**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  
 50,000

дисциплина обслуживания ДО  
 БП

емкость накопителя  $E$ , байт  
 70,000

**Характеристики**

загрузка  $\rho$   
 0.14 +- 0.005

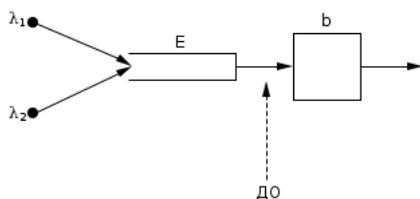
вероятность потери  $\pi$   
 0 +- 0

среднее время ожидания  $W$ , мс  
 0.5 +- 0.027

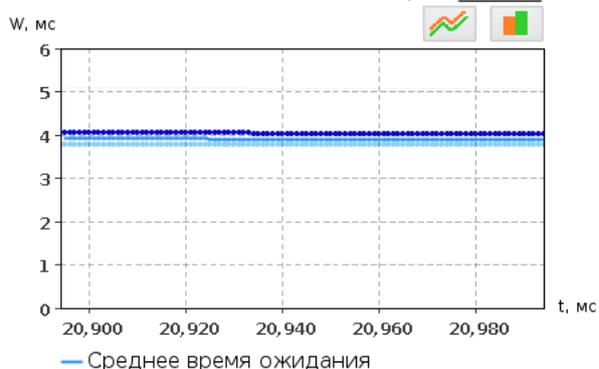
среднее время пребывания  $U$ , мс  
 0.931 +- 0.034

текущая длина очереди, пакетов  
 0

средняя длина очереди  $I$ , пакетов  
 0.162 +- 0.01



Анимация Логика



**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  
 25,000

дисциплина обслуживания ДО  
 БП

емкость накопителя  $E$ , байт  
 70,000

**Характеристики**

загрузка  $\rho$   
 0.292 +- 0.006

вероятность потери  $\pi$   
 0.005 +- 4.102E-5

среднее время ожидания  $W$ , мс  
 3.899 +- 0.126

среднее время пребывания  $U$ , мс  
 4.777 +- 0.134

текущая длина очереди, пакетов  
 0

средняя длина очереди  $I$ , пакетов  
 1.295 +- 0.041

Графики изменений значений загрузки, вероятности потерь и времени ожидания в зависимости от пропускной способности.

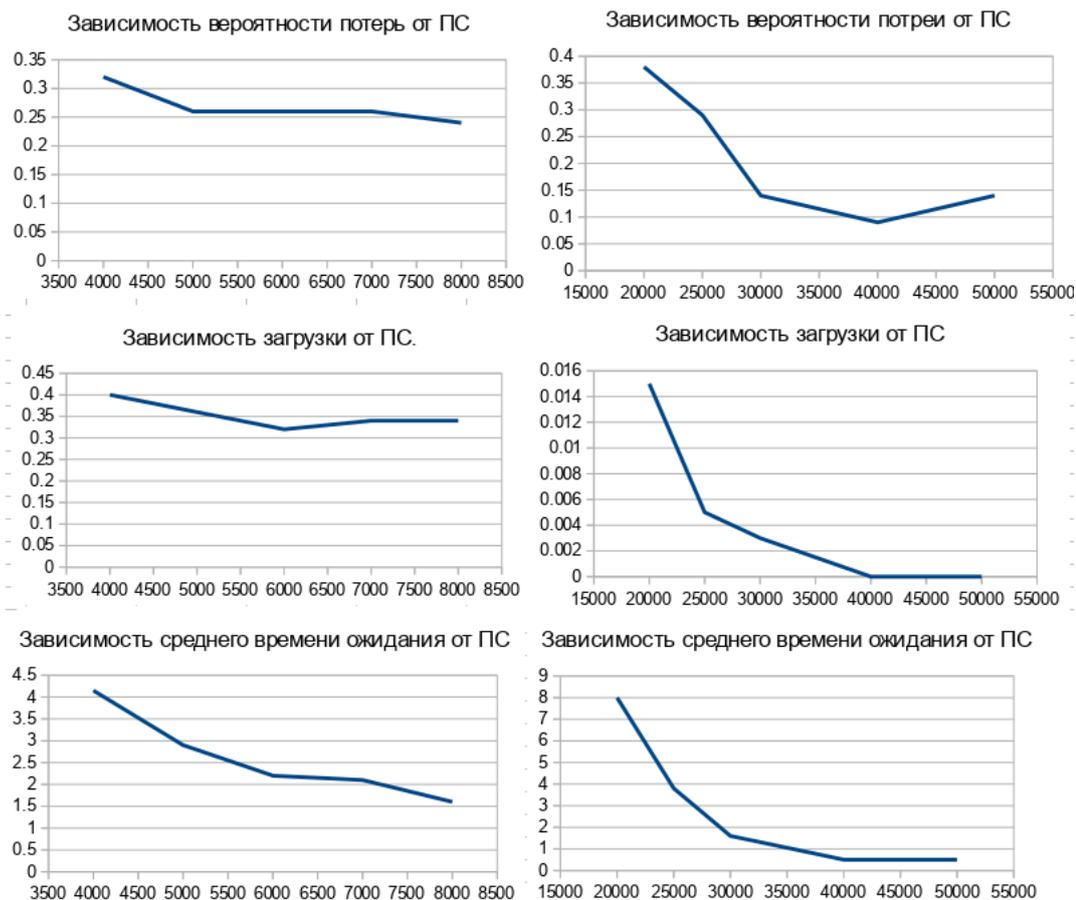
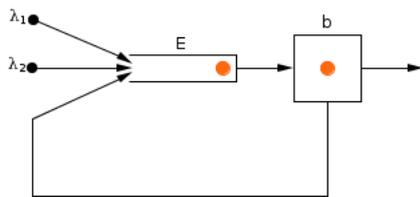


Рис. 4. Слева показатели при объеме 7Кб, справа – 70 Кб.

Из графиков видно, что при объеме буфера в 7Кб при вариации ПС показатели практически не изменились, в то время как при объеме в 70Кб удалось найти пропускную способность (25000 bps), при которой характеристики соответствуют требуемым.

## Исследование PQ

Разным классам трафика устанавливается приоритет: трафик низкоприоритетного класса передается только в том случае, когда нет пакетов высокоприоритетного класса на передачу. Таким образом обуславливается наилучшее качество обслуживания для высокоприоритетного класса, однако блокирует низкоприоритетный при перегрузках.



Анимация Логика



**Параметры**

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов  $\rho$   
 $T$ , 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  
 5,000

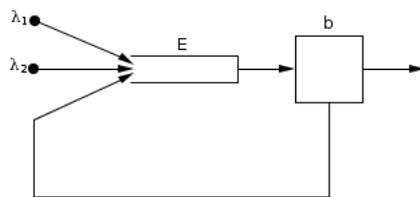
дисциплина обслуживания ДО  
 АП

емкость накопителя  $E$ , байт  
 7,000

**Характеристики**

0.372 +- 0.004  
 вероятность потери  $\pi$   
 0.292 +- 3.742E-4  
 среднее время ожидания  $W$ , мс  
 0.457 +- 0.026    6.31 +- 0.126  
 среднее время пребывания  $U$ , мс  
 1.202 +- 0.03    9.882 +- 0.142  
 текущая длина очереди, пакетов  
 1  
 средняя длина очереди  $l$ , пакетов  
 0.45 +- 0.009

Как и в прошлом случае, при вариации ПС добиться требуемых качеств не удаётся.



Анимация Логика



**Параметры**

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов  $\rho$   
 $T$ , 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

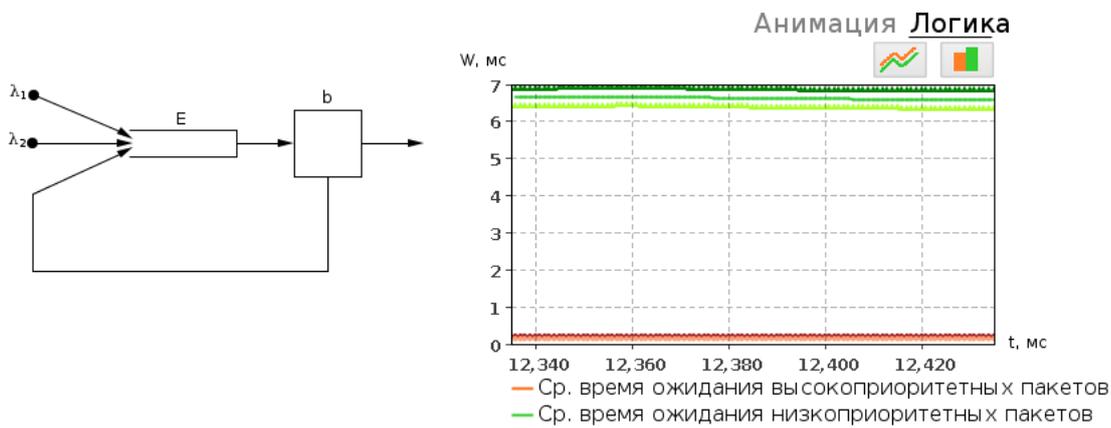
пропускная способность канала связи  $C$ , Кбит/с  
 50,000

дисциплина обслуживания ДО  
 АП

емкость накопителя  $E$ , байт  
 70,000

**Характеристики**

0.098 +- 0.007  
 вероятность потери  $\pi$   
 0.001 +- 6.862E-5  
 среднее время ожидания  $W$ , мс  
 0.026 +- 0.011    1.276 +- 0.121  
 среднее время пребывания  $U$ , мс  
 0.101 +- 0.012    2.025 +- 0.135  
 текущая длина очереди, пакетов  
 0  
 средняя длина очереди  $l$ , пакетов  
 0.133 +- 0.016



### Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов нагрузка  $\rho$

$T$ , 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

25.000

дисциплина обслуживания ДО

АП

ёмкость накопителя  $E$ , байт

70.000

### Характеристики

0.31 +- 0.008

вероятность потери  $\pi$

0.007 +- 7.418E-5

среднее время ожидания  $W$ , мс

0.171 +- 0.029 6.585 +- 0.238

среднее время пребывания  $U$ , мс

0.319 +- 0.03 7.999 +- 0.261

текущая длина очереди, пакетов

0

средняя длина очереди  $I$ , пакетов

1.202 +- 0.048

Графики изменений значений загрузки, вероятности потерь и времени ожидания в зависимости от пропускной способности.

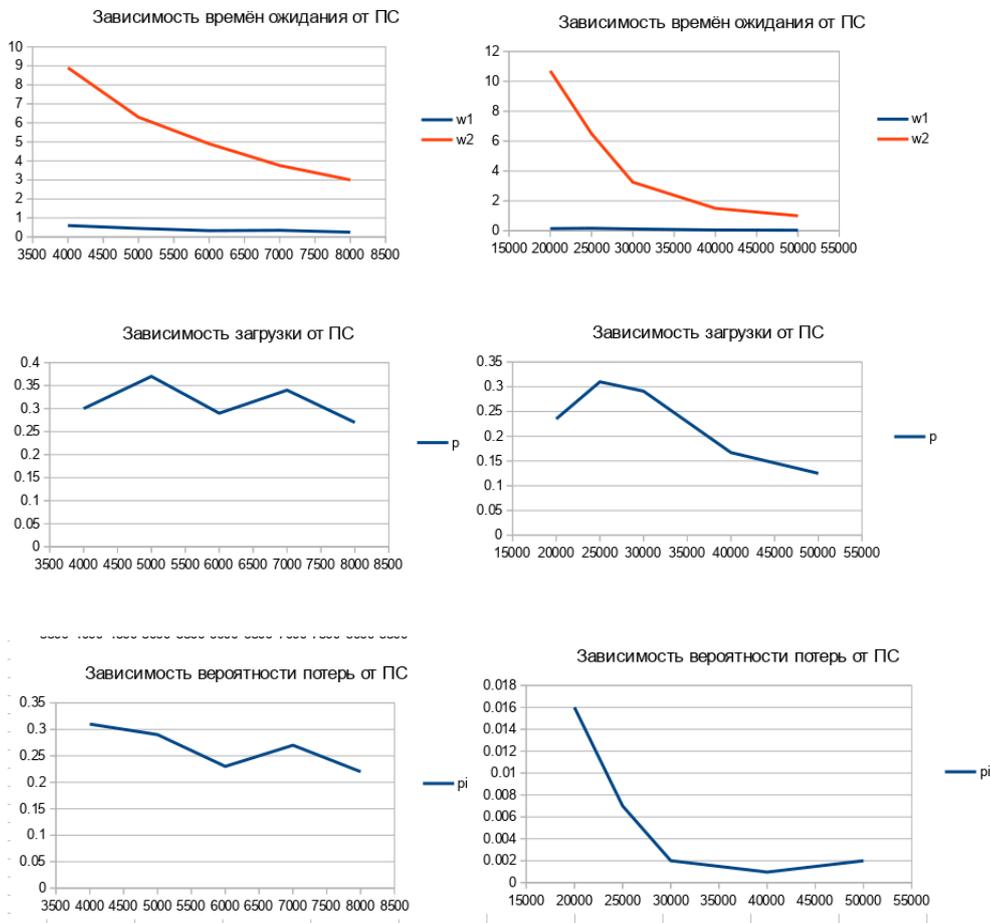
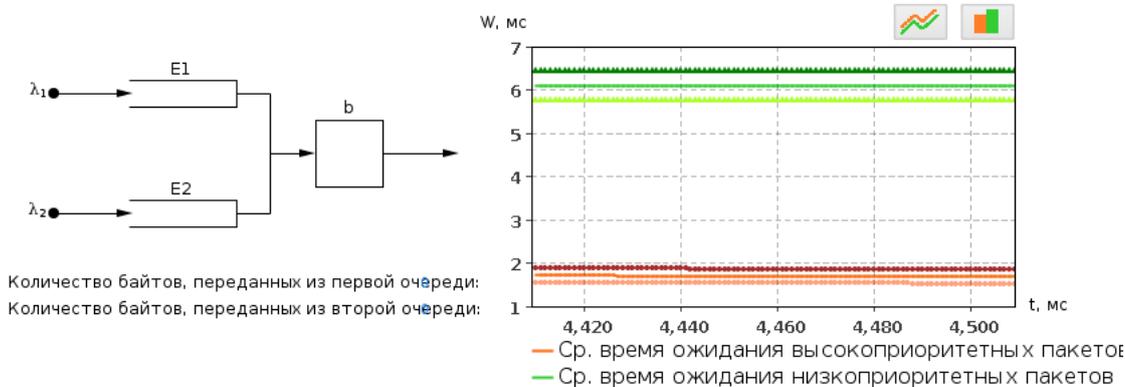


Рис. 5. Слева показатели при объёме 7Кб, справа – 70 Кб.

Из графиков видно, что изменение ПС сильно влияет на низкоприоритетный трафик.

# Исследование WFQ

Для каждого трафика устанавливается вес; за каждый цикл работы WFQ из очереди одного класса передаются пакеты суммарным размером равным весу класса. Установка веса даёт гарантии, что класс с большим весом будет получать большее качество обслуживания и что в условиях высокой нагрузки класс будет получает канал за конечное время.



## Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов нагрузка  $\rho$

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

5,000

дисциплина обслуживания ДО

WFQ  $W_1=0.86$   $W_2=0.14$

ёмкость накопителя E, байт

7,000 7,000

## Характеристики

0.593 +- 0.014

вероятность потери  $\pi$

0 +- 0 0.563 +- 0.002

среднее время ожидания W, мс

1.678 +- 0.16 6.099 +- 0.347

среднее время пребывания U, мс

2.31 +- 0.172 9.205 +- 0.355

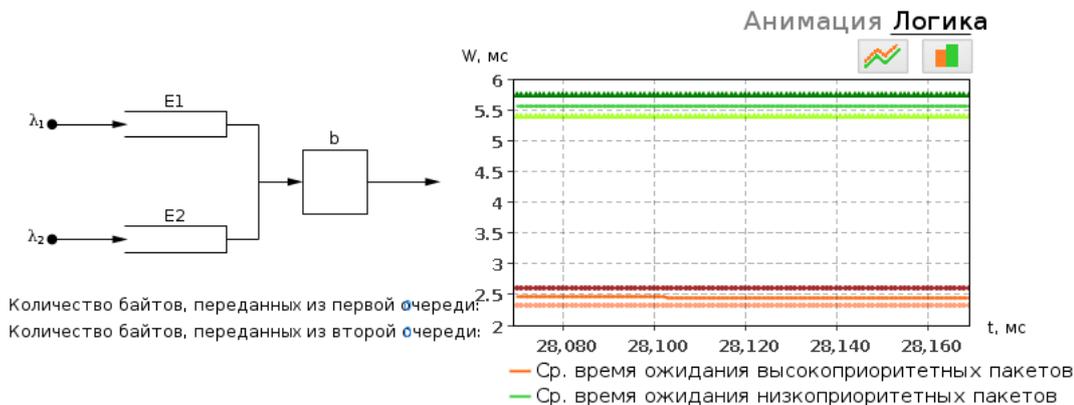
текущая длина очереди, пакетов

0 0

средняя длина очереди l, пакетов

0.275 +- 0.021 0.78 +- 0.032

При варьировании весов результаты незначительно улучшились.



## Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов нагрузка  $\rho$

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

5,000

дисциплина обслуживания ДО

WFQ  $W_1=0.1$   $W_2=0.9$

ёмкость накопителя E, байт

7,000 7,000

## Характеристики

0.41 +- 0.006

вероятность потери  $\pi$

0 +- 0 0.561 +- 6.627E-4

среднее время ожидания W, мс

2.448 +- 0.144 5.565 +- 0.175

среднее время пребывания U, мс

3.165 +- 0.146 9.439 +- 0.175

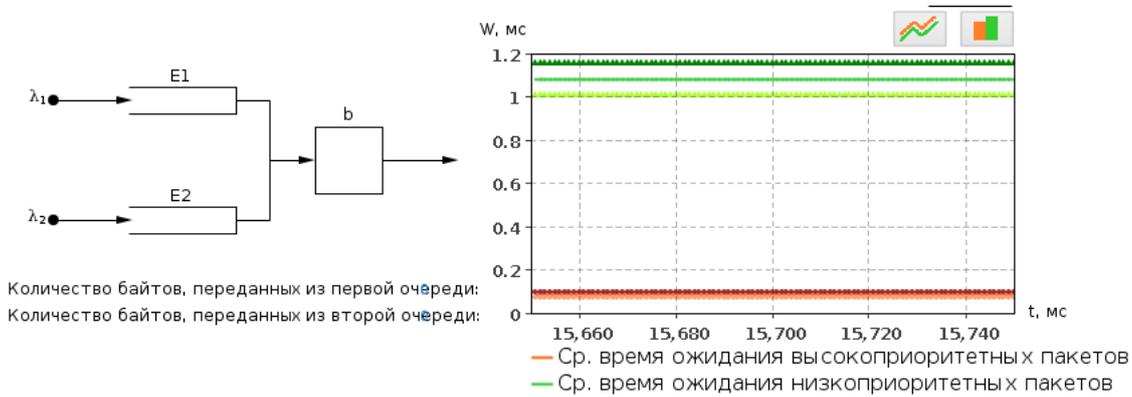
текущая длина очереди, пакетов

0 0

средняя длина очереди l, пакетов

0.405 +- 0.013 0.397 +- 0.01

Как и в прошлом случае, при вариации весов добиться требуемых качеств не удастся.



### Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов нагрузка  $\rho$

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  
50,000

дисциплина обслуживания ДО

WFQ  $W_1=0.86$   $W_2=0.14$

емкость накопителя E, байт

70,000 70,000

### Характеристики

0.117 +- 0.005

вероятность потери  $\pi$

0 +- 0 0.002 +- 6.466E-4

среднее время ожидания W, мс

0.084 +- 0.012 1.078 +- 0.075

среднее время пребывания U, мс

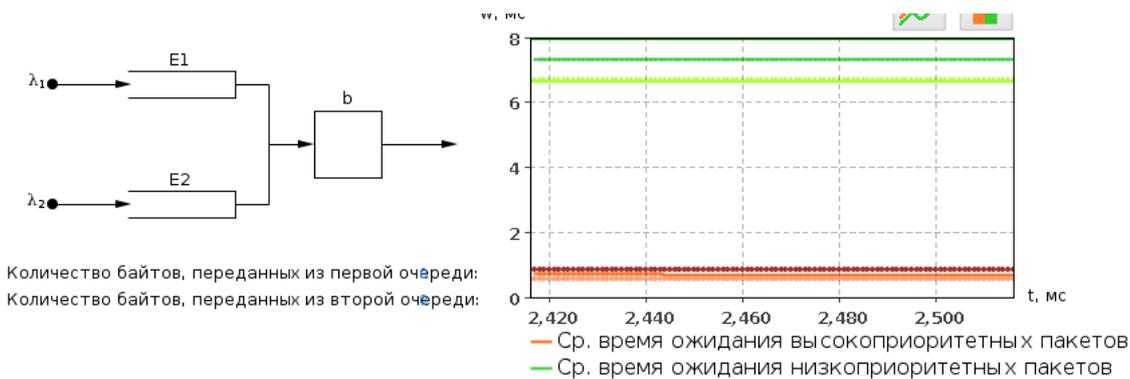
0.156 +- 0.013 1.889 +- 0.083

текущая длина очереди, пакетов

0 0

средняя длина очереди l, пакетов

0.014 +- 0.002 0.145 +- 0.011



### Параметры

закон распределения интервалов между поступлениями пакетов нагрузка  $\rho$

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  
23,000

дисциплина обслуживания ДО

WFQ  $W_1=0.84$   $W_2=0.16$

емкость накопителя E, байт

70,000 70,000

### Характеристики

0.335 +- 0.018

вероятность потери  $\pi$

0 +- 0 0.007 +- 0.004

среднее время ожидания W, мс

0.681 +- 0.144 7.319 +- 0.646

среднее время пребывания U, мс

0.737 +- 0.152 9.705 +- 0.73

текущая длина очереди, пакетов

0 0

средняя длина очереди l, пакетов

0.113 +- 0.023 1.608 +- 0.129

Наименьшее значение ПС удалось достичь при 23000 bps. При варьировании весов на данной пропускной способности и на ряде значений ниже не удалось добиться значительно лучших результатов.

Графики изменений значений загрузки, вероятности потерь и времени ожидания в зависимости от пропускной способности.

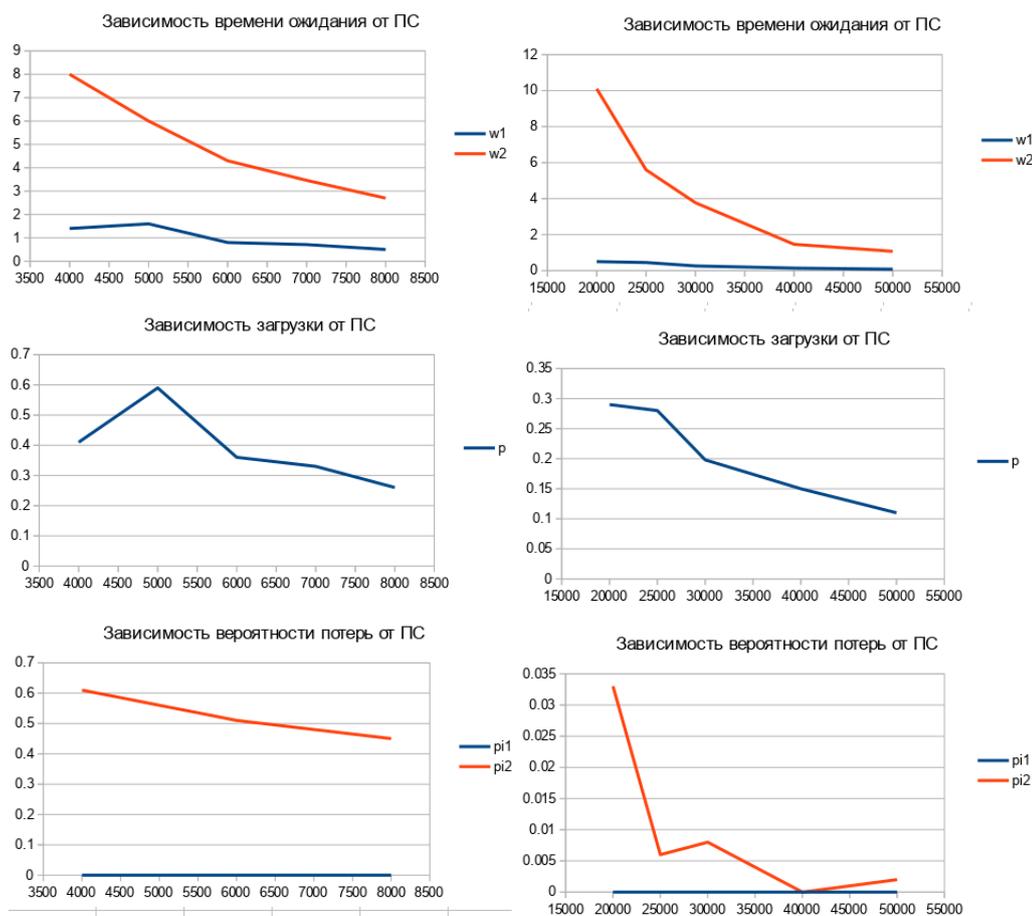


Рис. 6. Слева показатели при объёме 7Кб, справа – 70 Кб.

В сравнении с PQ в режиме перегрузки ( $S=7\text{Kb}$ ,  $N=2\text{Mbps}$ ).

ДО	$w_1$	$u_1$	$w_2$	$u_2$	$p$	$\pi_1$	$\pi_2$
PQ	0.9	1.5	300	314	1	0.6	-
WFQ(0.86,0.14)	33.2	34.1	148	151	1	0.4	0.89
WFQ(0.14,0.86)	198.9	201	30	32	1	0.89	0.75
WFQ(0.5,0.5)	51.6	52.4	57.1	58.3	1	0.6	0.8

## Вывод

В ходе проведения учебно-исследовательской работы было подмечено следующее:

1. Выданная для проведения исследований модель содержала ошибку: при выборе ДО WFQ значения времени ожидания и времени пребывания в очереди не обновлялись. Баг обусловлен тем, что при выходе из источников (source) не устанавливалось свойство объекта (entity.priority), которое влияет на изменение обозначенных выше показателей.
2. При захвате трафика VoD обнаружилось, что размер пойманных TCP-пакетов не соответствует размеру MTU. Скорее всего, это происходит из-за механизма GSO (generic segmentation offload), при котором фрагментация и дефрагментация пакетов происходит в обход CPU на сетевых интерфейсах. Однако настроить получение пакетов без этого механизма не получилось, из-за чего проявились изложенные в работе аномалии с размером пакетов.

3.

В итоге.

1. Исходная конфигурация не удовлетворяет требованиям из-за того, что максимальный размер пакета VoD трафика равен порядка 60 Кб и среднее значение – 12 Кб при начальном объёме буфера в 7 Кб. Проблему удалось избежать повышением исходного объёма до 70 Кб.
2. При увеличении ПС канала характеристики уменьшаются, однако до некоторого порога, после которого увеличение ПС не оказывает влияния.
3. ДО FIFO не предоставляет механизмы управления трафиком.
4. ДО PQ предоставляет элементарный механизм управления, который, однако, не может обработать случаи перегрузки.
5. ДО WFQ предоставляет механизм управления трафиков путём назначения весов классам, на которые делится трафик; он более гибкий, чем два предыдущих, и лучше справляется с перегрузками, чем PQ.
6. Для исходной конфигурации лучшие показатели характеристик дала ДО FIFO.
7. Для новой конфигурации наименьшую ПС канала (23 Mbps) удалось достичь при ДО WFQ.
8. В условиях, когда необходимо добиться разделения качества обслуживания и минимальную ПС, то хорошим вариантом будет WFQ, в ином случае сгодится FIFO.