

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО  
ФАКУЛЬТЕТ ПРОГРАММНОЙ ИНЖЕНЕРИИ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ

**Учебно-исследовательская работа №5**  
**по дисциплине Сети ЭВМ и телекоммуникации**  
**Технологии QoS в компьютерных сетях**

Студент: Саржевский Иван  
Группа: Р3302

г. Санкт-Петербург  
2020 г.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Цель</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Исходные данные</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Ход работы</b>	<b>2</b>
3.1	FIFO . . . . .	5
3.2	PQ . . . . .	10
3.3	WFQ . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Вывод</b>	<b>18</b>

# 1 Цель

Изучение эффективности приоритезации трафика для управления качеством обслуживания (Quality of Service, QoS) в компьютерных сетях.

## 2 Исходные данные

S 10 Кб

N 4 Кб

K 2

## 3 Ход работы

С использованием программы Wireshark было захвачено по 10000 пакетов для трафика Skype и ВПЗ. Для трансляции ВПЗ был выбран сайт `webinar.ru`. Примеры захваченного трафика можно увидеть на рисунках 1 и 2.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	155	1703 > 58415 Len=113
2	0.009094	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1154	1703 > 58415 Len=1112
3	0.009286	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1154	1703 > 58415 Len=1112
4	0.009376	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1154	1703 > 58415 Len=1112
5	0.00949	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1153	1703 > 58415 Len=1111
6	0.009573	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1174	1703 > 58415 Len=1132
7	0.009667	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1174	1703 > 58415 Len=1132
8	0.010158	91.108.29.170	192.168.0.105	UDP	957	58415 > 1703 Len=915
9	0.01055	91.108.29.170	192.168.0.105	UDP	948	58415 > 1703 Len=906
10	0.010553	91.108.29.170	192.168.0.105	UDP	959	58415 > 1703 Len=917
11	0.010555	91.108.29.170	192.168.0.105	UDP	959	58415 > 1703 Len=917
12	0.011696	91.108.29.170	192.168.0.105	UDP	126	58415 > 1703 Len=84
13	0.020492	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	152	1703 > 58415 Len=110
14	0.027963	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1120	1703 > 58415 Len=1078
15	0.028346	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1120	1703 > 58415 Len=1078
16	0.028544	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1120	1703 > 58415 Len=1078
17	0.028723	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1120	1703 > 58415 Len=1078
18	0.028883	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1120	1703 > 58415 Len=1078
19	0.029025	192.168.0.105	91.108.29.170	UDP	1115	1703 > 58415 Len=1073
20	0.034254	91.108.29.170	192.168.0.105	UDP	133	58415 > 1703 Len=91

Рис. 1: Skype-трафик.

No.	0	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0	37.130.194.56	192.168.0.105	TCP	54	443 > 55539 [ACK] Seq=1 Ack=1 Win=16391 Len=0
2	0.003956	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	143	Continuation Data
3	0.016085	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	1108	Continuation Data
4	0.01841	37.130.194.56	192.168.0.105	TCP	54	443 > 55539 [ACK] Seq=1 Ack=1213 Win=16391 Len=0
5	0.021984	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	1109	Continuation Data
6	0.028012	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	139	Continuation Data
7	0.039131	37.130.194.56	192.168.0.105	TCP	54	443 > 55539 [ACK] Seq=1 Ack=3322 Win=16391 Len=0
8	0.04591	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	139	Continuation Data
9	0.051895	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	1135	Continuation Data
10	0.057848	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	1135	Continuation Data
11	0.063975	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	136	Continuation Data
12	0.064963	37.130.194.56	192.168.0.105	TCP	54	443 > 55539 [ACK] Seq=1 Ack=3492 Win=16391 Len=0
13	0.073935	37.130.194.56	192.168.0.105	TCP	54	443 > 55539 [ACK] Seq=1 Ack=5654 Win=16391 Len=0
14	0.087769	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	134	Continuation Data
15	0.088028	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	1158	Continuation Data
16	0.093754	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	1159	Continuation Data
17	0.102214	37.130.194.56	192.168.0.105	TCP	54	443 > 55539 [ACK] Seq=1 Ack=5816 Win=16391 Len=0
18	0.105721	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	129	Continuation Data
19	0.106096	192.168.0.105	37.130.194.56	SSL	1221	Continuation Data
20	0.108332	37.130.194.56	192.168.0.105	TCP	54	443 > 55539 [ACK] Seq=1 Ack=8025 Win=16391 Len=0

Рис. 2: ВПЗ-трафик.

По полученным данным были построены функции распределения для интервалов между пакетами и размеров пакетов для каждого вида трафика. Полученные функции распределения представлены на рисунках 3-6.

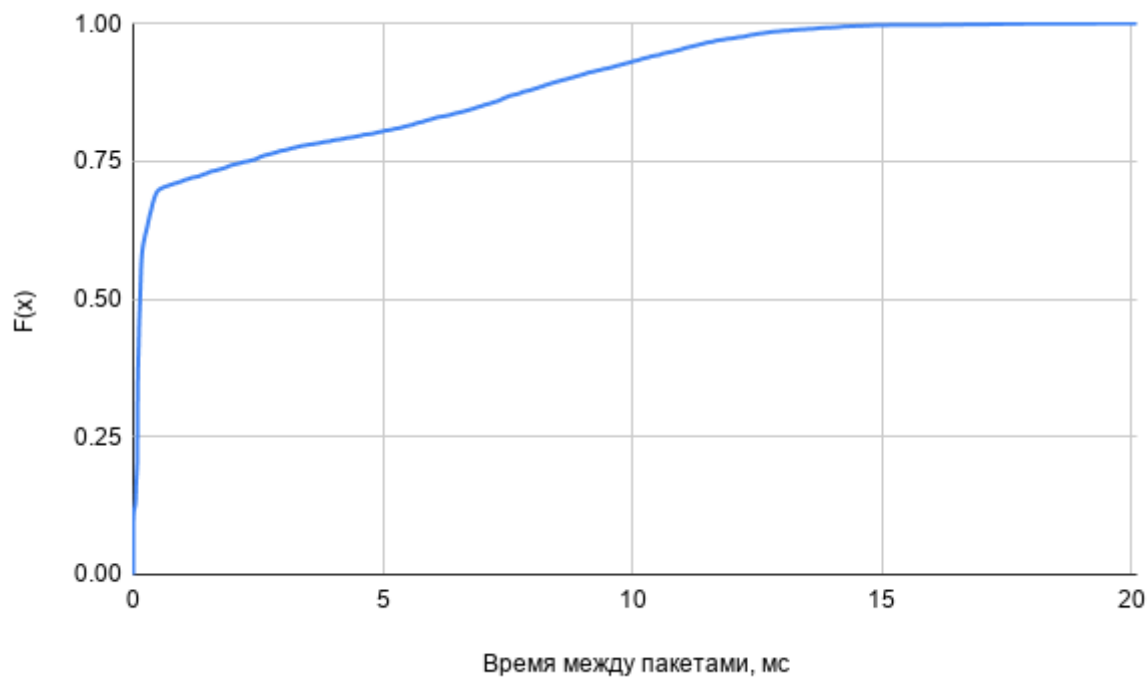


Рис. 3: Функция распределения для интервалов между пакетами Skype

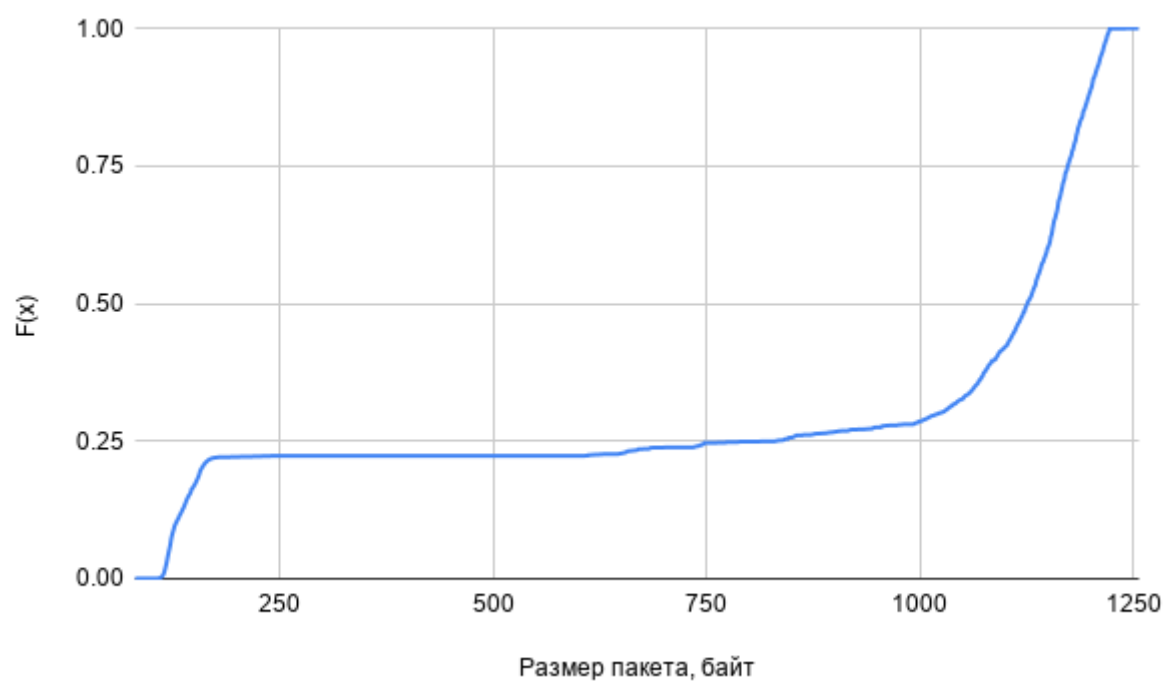


Рис. 4: Функция распределения для размеров пакетов Skype

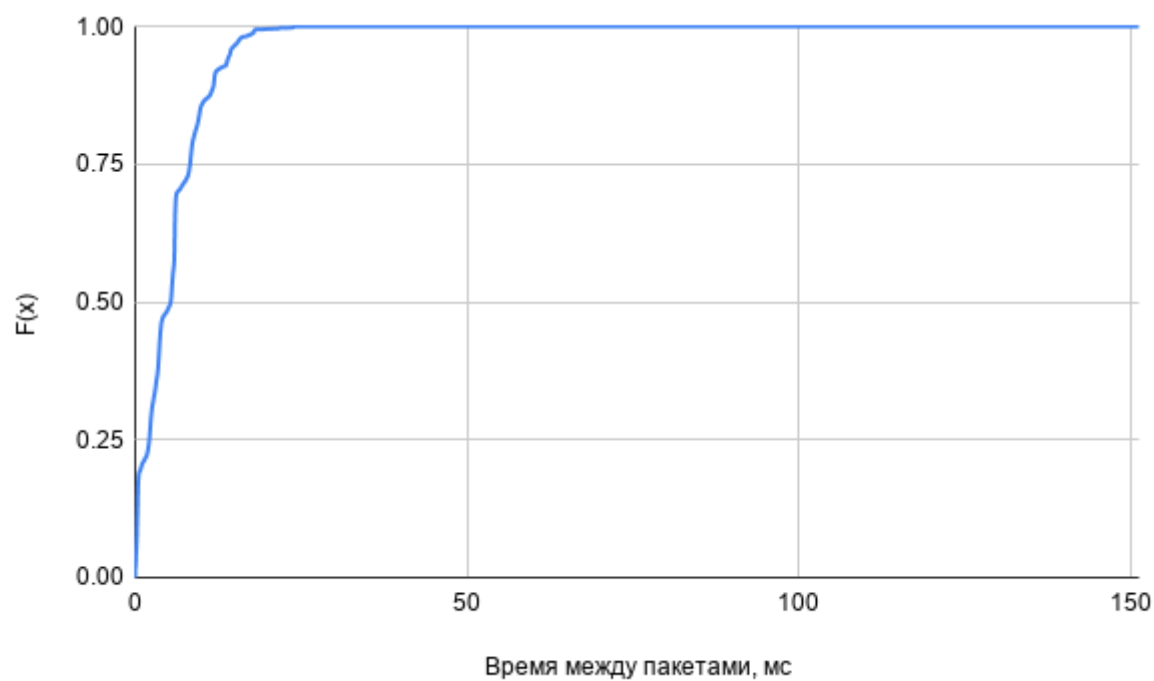


Рис. 5: Функция распределения для интервалов между пакетами ВПЗ

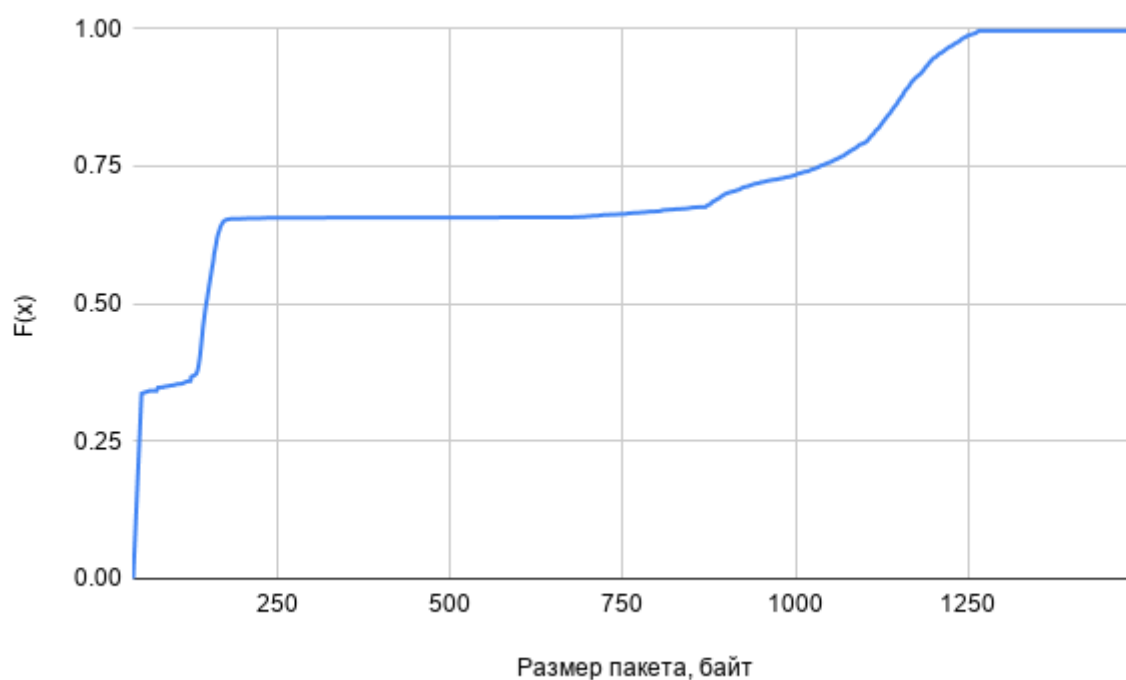


Рис. 6: Функция распределения для размеров пакетов ВПЗ

Значения интервалов между пакетами во всех случаях были округлены до пятого знака после запятой и умножены на 1000 (перевод в мс.).

Затем, с использованием полученных распределений и предложенной AnyLogic-модели, был произведен поиск такого минимального значения пропускной способности канала связи, при котором характеристики передачи данных все еще соответствуют нормам ITU-T Y.1541, которые можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1: Нормы ITU-T Y.1541

Характеристика	Skype	VoD
Задержка, мс	100	1000
Джиттер, мс	50	-
Потеря пакетов, %	0.1	0.1

### 3.1 FIFO

Очередь без приоритезации. Настройки AnyLogic-модели можно увидеть на рисунке 7.

## Параметры сетевого устройства

### Дисциплина обслуживания – БП

БП	АП	WRR	WTB
ОП	WFQ	DWRR	LQF

### Параметры БП

отсутствуют

### Закон распределения интервалов между поступлениями пакетов

#### Пакеты первого класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileIntervalDistr.xls на листе 1

#### Пакеты второго класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileIntervalDistr.xls на листе 2

### Закон распределения размеров пакетов

#### Пакеты первого класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileSizeDistr.xls на листе 1

#### Пакеты второго класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileSizeDistr.xls на листе 2

### Пропускная способность

C =  Кбит/с

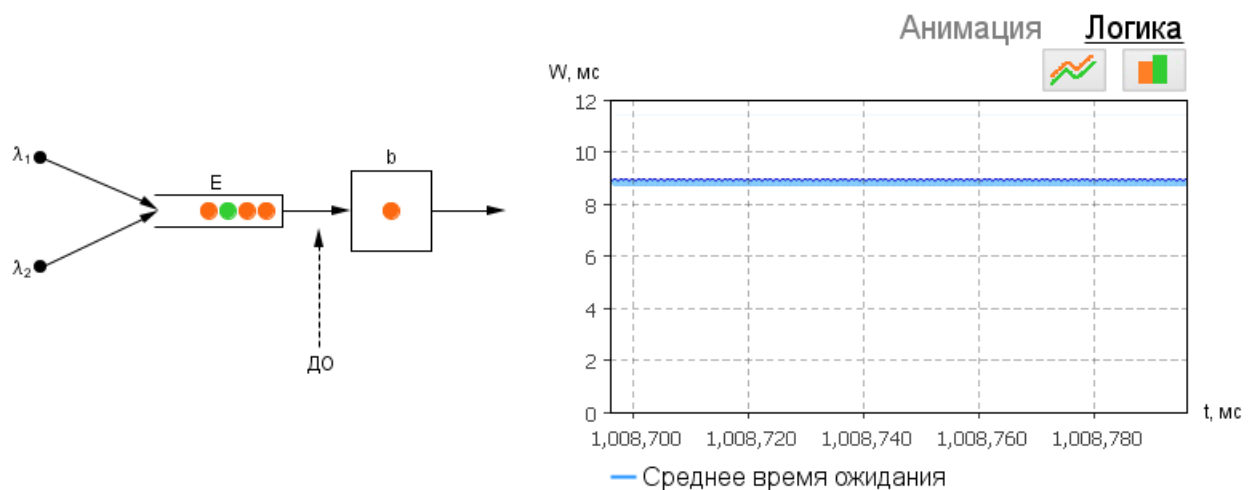
### Емкость накопителя

E =  байт ☐ неограниченная емкость

Запустить эксперимент

Рис. 7: Настройки модели, FIFO

Значения характеристик при параметрах, заданных в варианте, можно увидеть на рисунке 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  
 4,000

дисциплина обслуживания ДО  
 БП

емкость накопителя  $E$ , байт  
 10,000

### Характеристики

загрузка  $\rho$   
 0.882 +/- 6.287E-4

вероятность потери  $\pi$   
 0.085 +/- 6.685E-6

среднее время ожидания  $W$ , мс  
 8.792 +/- 0.015

среднее время пребывания  $U$ , мс  
 10.273 +/- 0.015

текущая длина очереди, пакетов  
 4

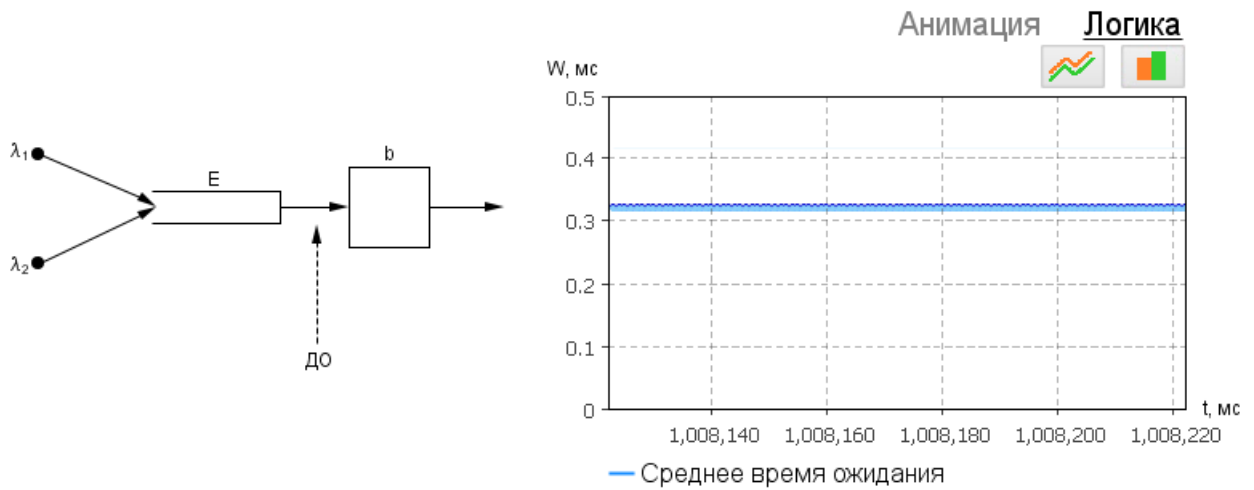
средняя длина очереди  $I$ , пакетов  
 5.238 +/- 0.008

Рис. 8: Характеристики при параметрах, заданных в варианте, FIFO

В процессе варьирования пропускной способности было установлено, что её минимальное значение, при котором все характеристики не превышают норму равно 25750 Кб/с. Вероятность потери при этом равна 0.001 (0.1%), а задержка 0.32 мс. (при норме в 100 мс). Это можно увидеть на рисунке 9.

Так же, во время варьирования были зафиксированы все промежуточные значения вероятности потери заявок и задержки, по которым были построены графики, представленные на рисунках 10 и 11.





## 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

25,750

дисциплина обслуживания ДО

БП

емкость накопителя E, байт

10,000

## Характеристики

загрузка ρ

0.156 +/- 7.077E-4

вероятность потери π

0.001 +/- 3.711E-7

среднее время ожидания W, мс

0.32 +/- 0.001

среднее время пребывания U, мс

0.558 +/- 0.001

текущая длина очереди, пакетов

0

средняя длина очереди l, пакетов

0.208 +/- 0.002

Рис. 9: Характеристики при параметрах, полученных в результате варьирования, FIFO

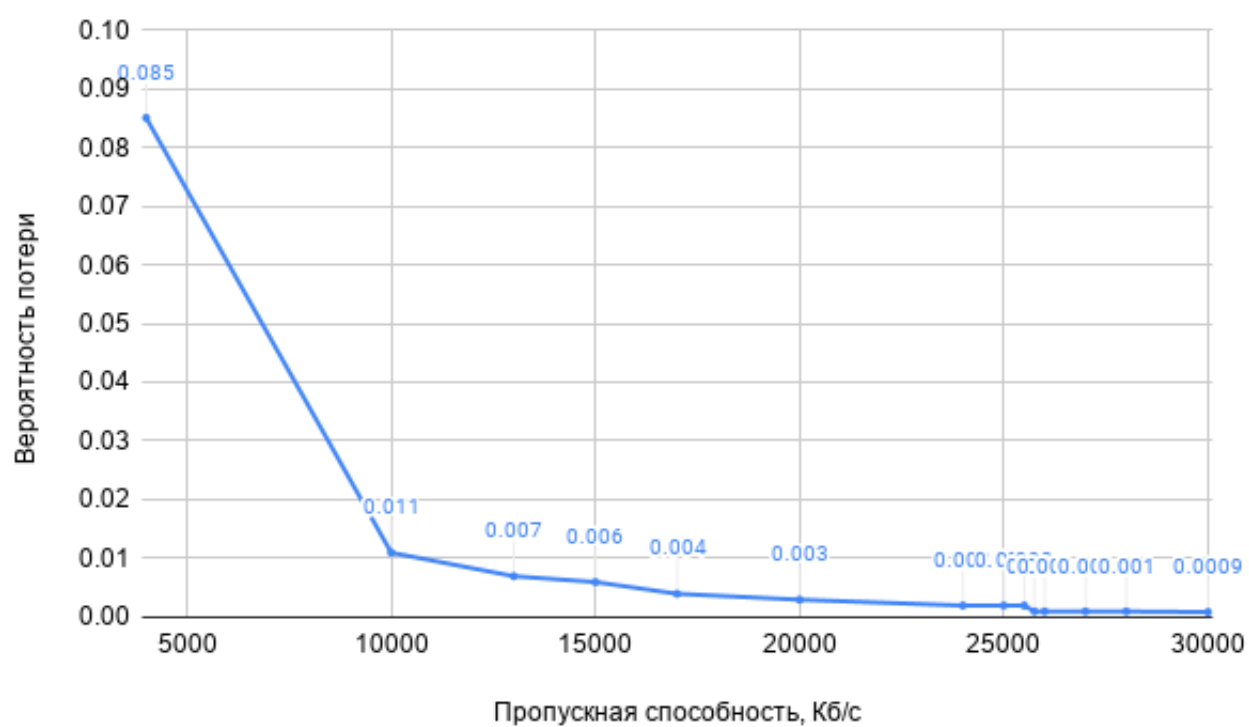


Рис. 10: Зависимость вероятности потери от пропускной способности, FIFO

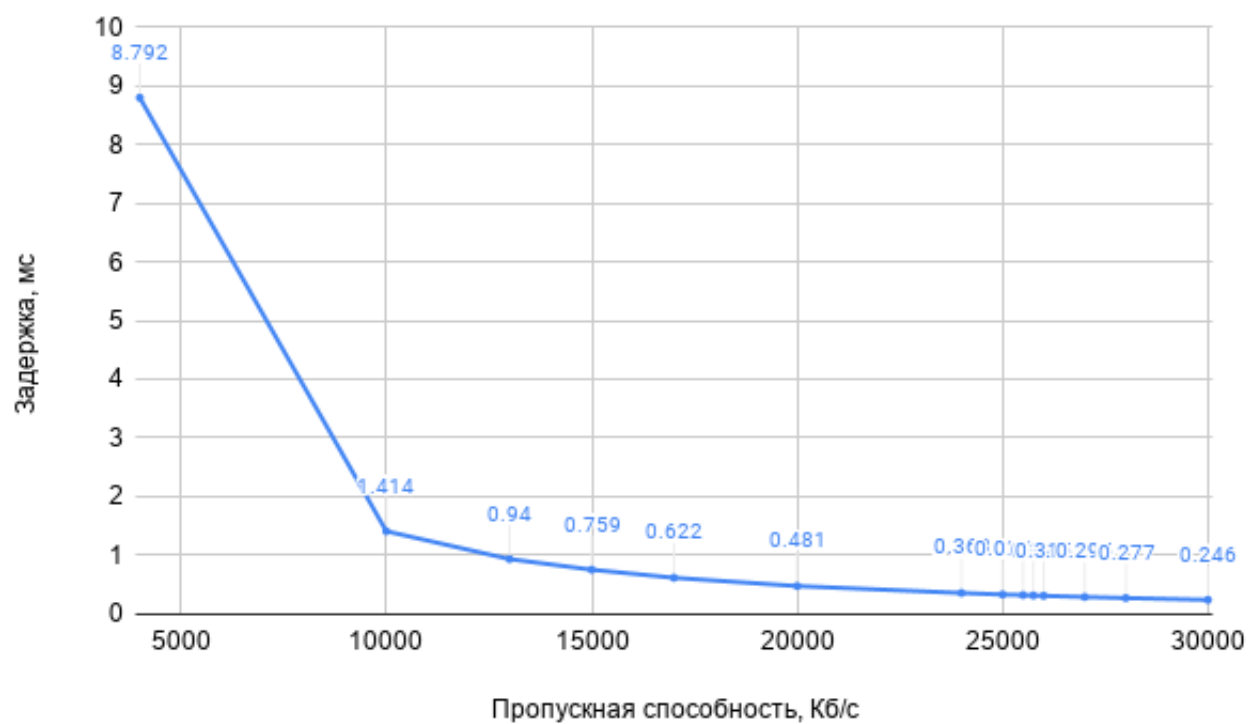


Рис. 11: Зависимость задержки от пропускной способности, FIFO

В целом можно отметить, что при увеличении пропускной способности канала, как и ожидалось, вероятность потери и задержка падают, при этом они начинают соответствовать поставленным требованиям начиная с 25750 Кб/с.

### 3.2 PQ

ДО с относительными приоритетами. Трафик низкоприоритетного класса передается только в случае, когда нет ни одного пакета высокоприоритетного класса, который бы претендовал на передачу. Такой подход улучшает качество передачи пакетов высокоприоритетного класса, но в тоже время делает это за счет низкоприоритетных пакетов.

Настройки AnyLogic-модели можно увидеть на рисунке 12.

**Параметры сетевого устройства**

**Дисциплина обслуживания – ОП**      **Параметры ОП**  
отсутствуют

БП	АП	WRR	WTB
<b>ОП</b>	WFQ	DWRR	LQF

**Закон распределения интервалов между поступлениями пакетов**

**Пакеты высокоприоритетного класса**  
☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция  
задается в файле excelFileIntervalDistr.xls на листе 1

**Пакеты низкоприоритетного класса**  
☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция  
задается в файле excelFileIntervalDistr.xls на листе 2

**Закон распределения размеров пакетов**

**Пакеты высокоприоритетного класса**  
☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция  
задается в файле excelFileSizeDistr.xls на листе 1

**Пакеты низкоприоритетного класса**  
☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция  
задается в файле excelFileSizeDistr.xls на листе 2

**Пропускная способность**  
C =  Кбит/с

**Емкость накопителя**  
E =  байт    ☐ неограниченная емкость

Рис. 12: Настройки модели, PQ

Значения характеристик при параметрах, заданных в варианте, можно увидеть на рисунке 13.

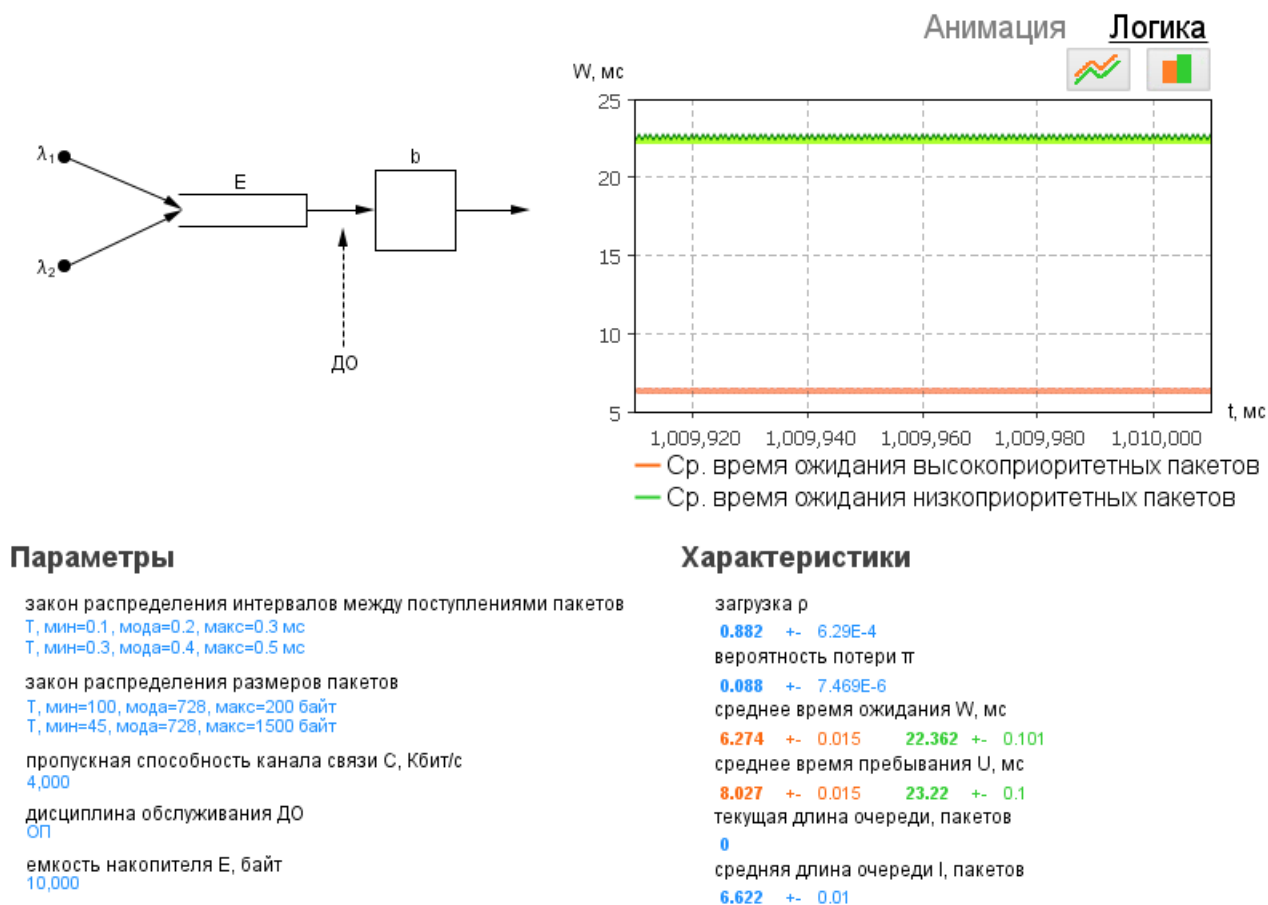
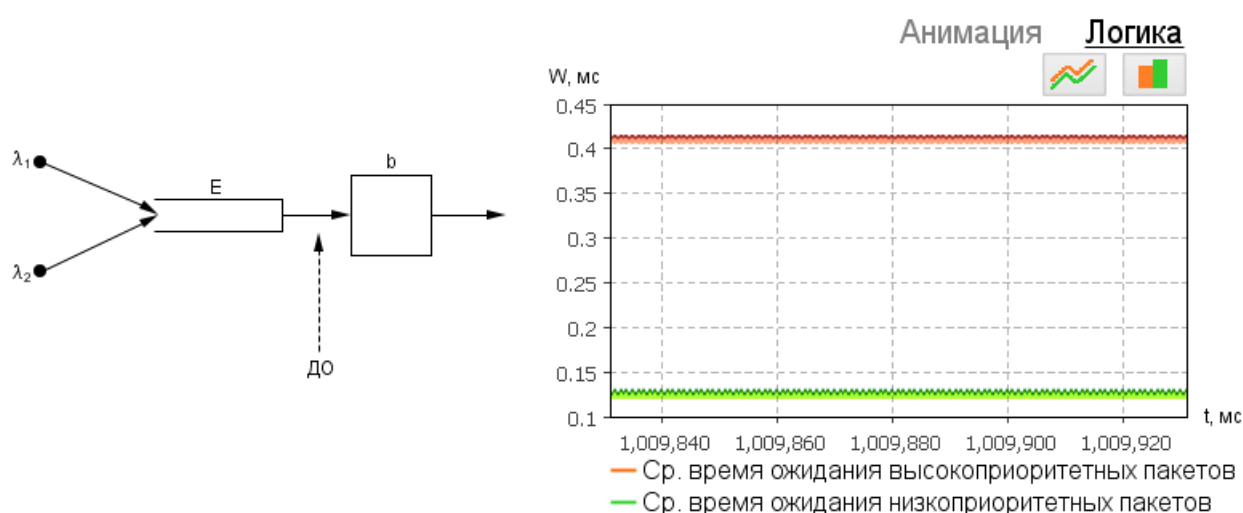


Рис. 13: Характеристики при параметрах, заданных в варианте, PQ

В процессе варьирования пропускной способности было установлено, что её минимальное значение, при котором все характеристики не превышают норму равно 25500 Кб/с. Вероятность потери при этом равна 0.001 (0.1%), а задержка 0.41 мс и 0.125 мс для скайпа и ВПЗ соответственно (при норме в 100 мс). Это можно увидеть на рисунке 14.

Так же, во время варьирования были зафиксированы все промежуточные значения вероятности потери заявок и задержки, по которым были построены графики, представленные на рисунках 15 и 16.



## 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

25,500

дисциплина обслуживания ДО

ОП

емкость накопителя E, байт

10,000

## Характеристики

загрузка ρ

0.157 +/- 7.104E-4

вероятность потери π

0.001 +/- 7.84E-7

среднее время ожидания W, мс

0.41 +/- 0.001 0.125 +/- 0.002

среднее время пребывания U, мс

0.692 +/- 0.001 0.262 +/- 0.002

текущая длина очереди, пакетов

0

средняя длина очереди I, пакетов

0.215 +/- 0.002

Рис. 14: Характеристики при параметрах, полученных в результате варьирования, PQ

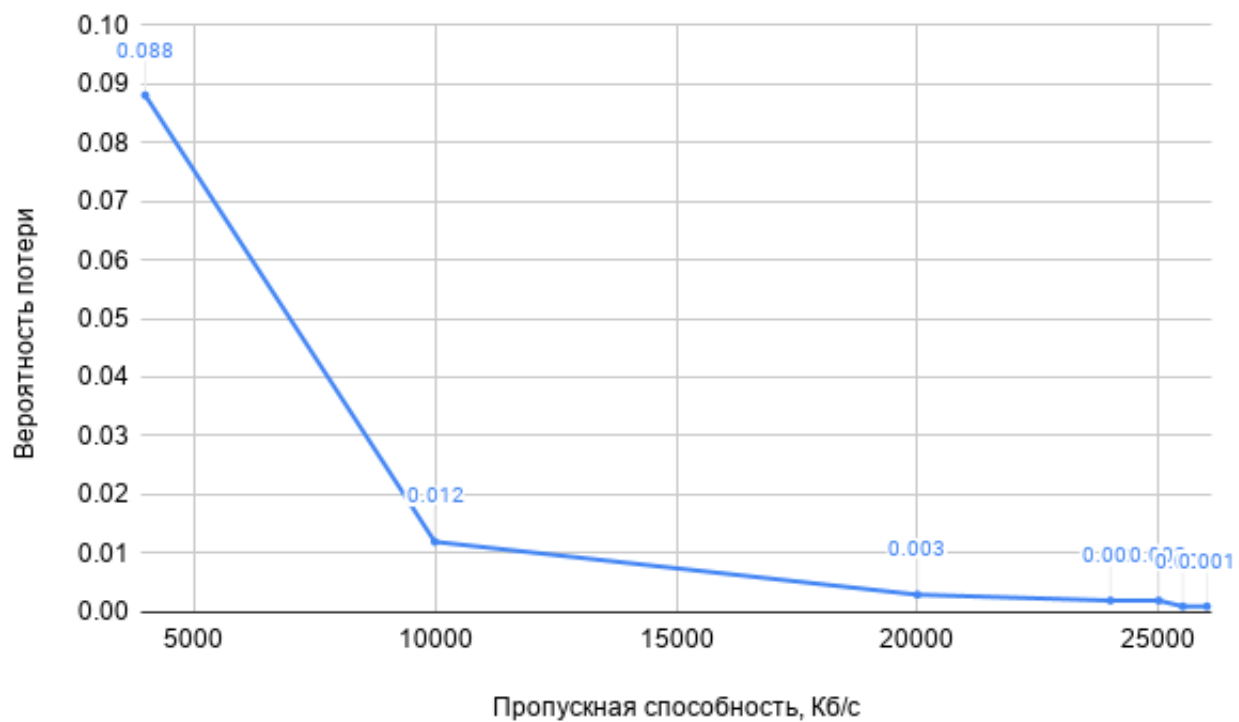


Рис. 15: Зависимость вероятности потери от пропускной способности, PQ

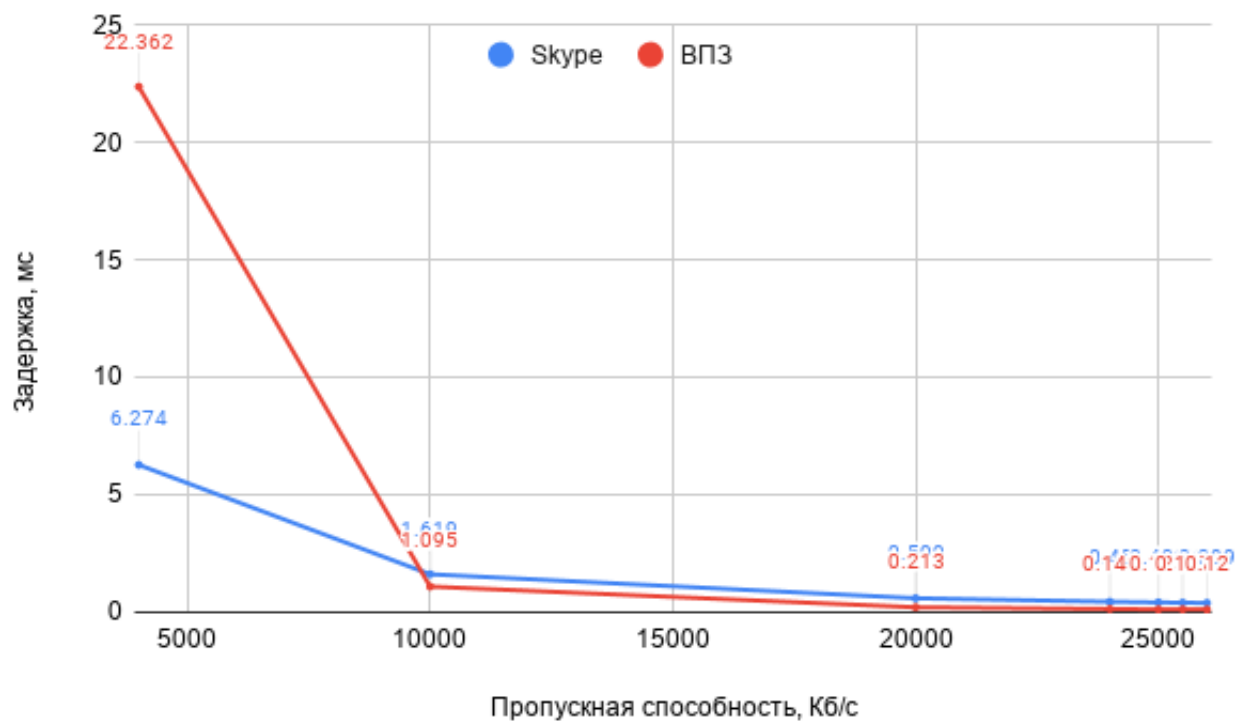


Рис. 16: Зависимость задержки от пропускной способности, PQ

В целом можно отметить, что при увеличении пропускной способности канала, как и ожидалось, вероятность потери и задержка падают для обоих типов пакетов, при этом они начинают соответствовать поставленным требованиям начиная с 25500 Кб/с.

### 3.3 WFQ

ДО со взвешенным честным обслуживанием. Каждому виду трафика назначается некий вес, при этом из очереди выбирается такое количество пакетов, что их суммарные размеры соотносятся как заданные веса. Таким образом, с одной стороны, есть гарантия, что пакеты с большим весом будут иметь приоритет, но в то же время, в условиях перегрузок низкоприоритетные пакеты будут обслуживаться за конечное время.

Настройки AnyLogic-модели можно увидеть на рисунке 17. Вес пакетов Skype равен 0.67, что в  $K = 2$  раза больше, чем вес пакетов ВПЗ, равный 0.33.

#### Параметры сетевого устройства

##### Дисциплина обслуживания – WFQ

БП	АП	WRR	WTB
ОП	WFQ	DWRR	LQF

##### Параметры WFQ

$W_1 =$    $W_2 =$

#### Закон распределения интервалов между поступлениями пакетов

##### Пакеты высокоприоритетного класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileIntervalDistr.xls на листе 1

##### Пакеты низкоприоритетного класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileIntervalDistr.xls на листе 2

#### Закон распределения размеров пакетов

##### Пакеты высокоприоритетного класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileSizeDistr.xls на листе 1

##### Пакеты низкоприоритетного класса

☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция

задается в файле excelFileSizeDistr.xls на листе 2

#### Пропускная способность

$C =$   Кбит/с

#### Емкость накопителя

$E_1 =$   байт ☐ неограниченная емкость

$E_2 =$   байт ☐ неограниченная емкость

Рис. 17: Настройки модели, WFQ

Значения характеристик при параметрах, заданных в варианте, можно увидеть на рисунке 18.

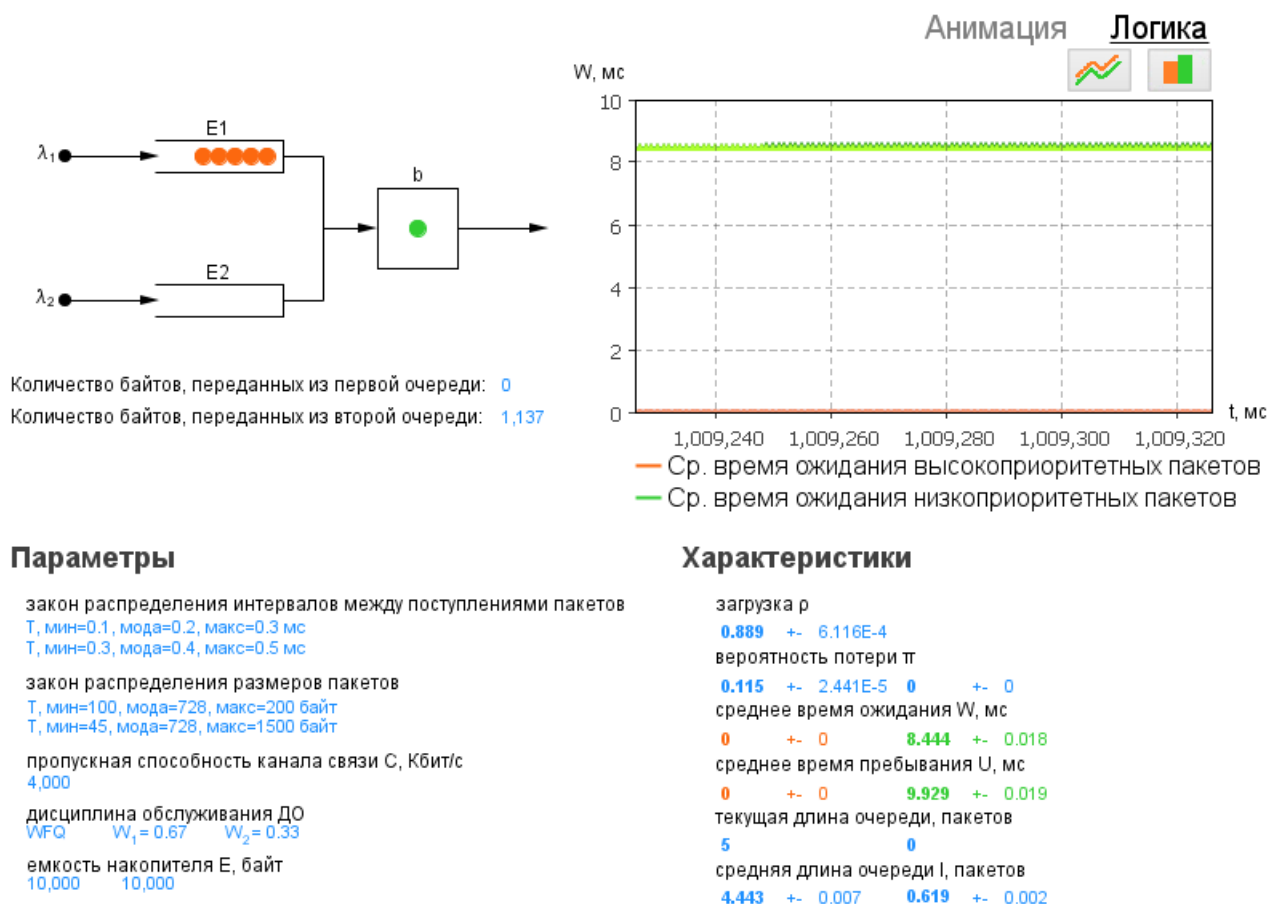


Рис. 18: Характеристики при параметрах, заданных в варианте, WFQ

В процессе варьирования пропускной способности было установлено, что её минимальное значение, при котором все характеристики не превышают норму равно 26950 Кб/с. Вероятность потери при этом равна 0.001 (0.1%), а задержка 0 мс и 0.302 мс для скайпа и ВПЗ соответственно (при норме в 100 мс). Это можно увидеть на рисунке 19.

Так же, во время варьирования были зафиксированы все промежуточные значения вероятности потери заявок и задержки, по которым были построены графики, представленные на рисунках 20 и 21.



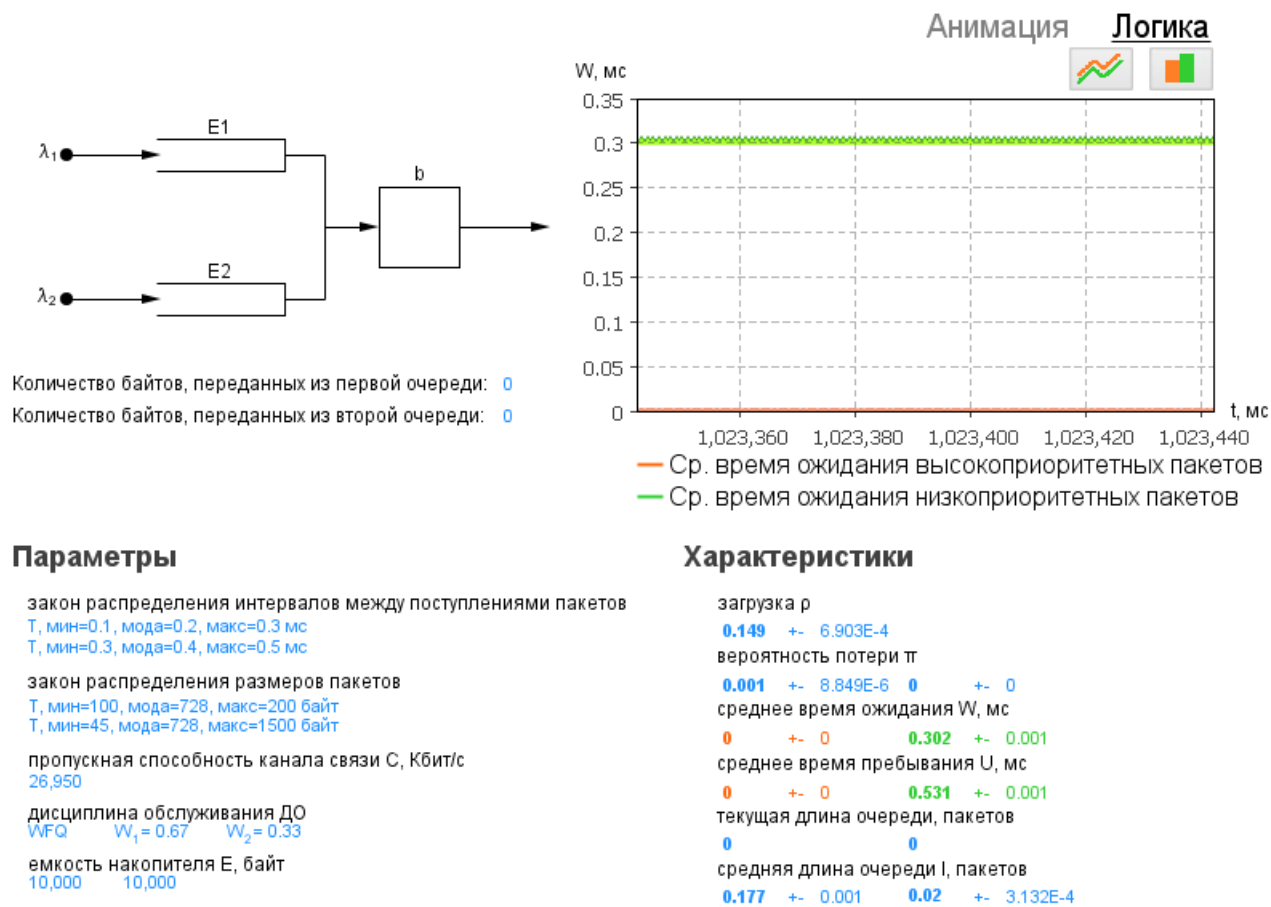


Рис. 19: Характеристики при параметрах, полученных в результате варьирования, WFQ

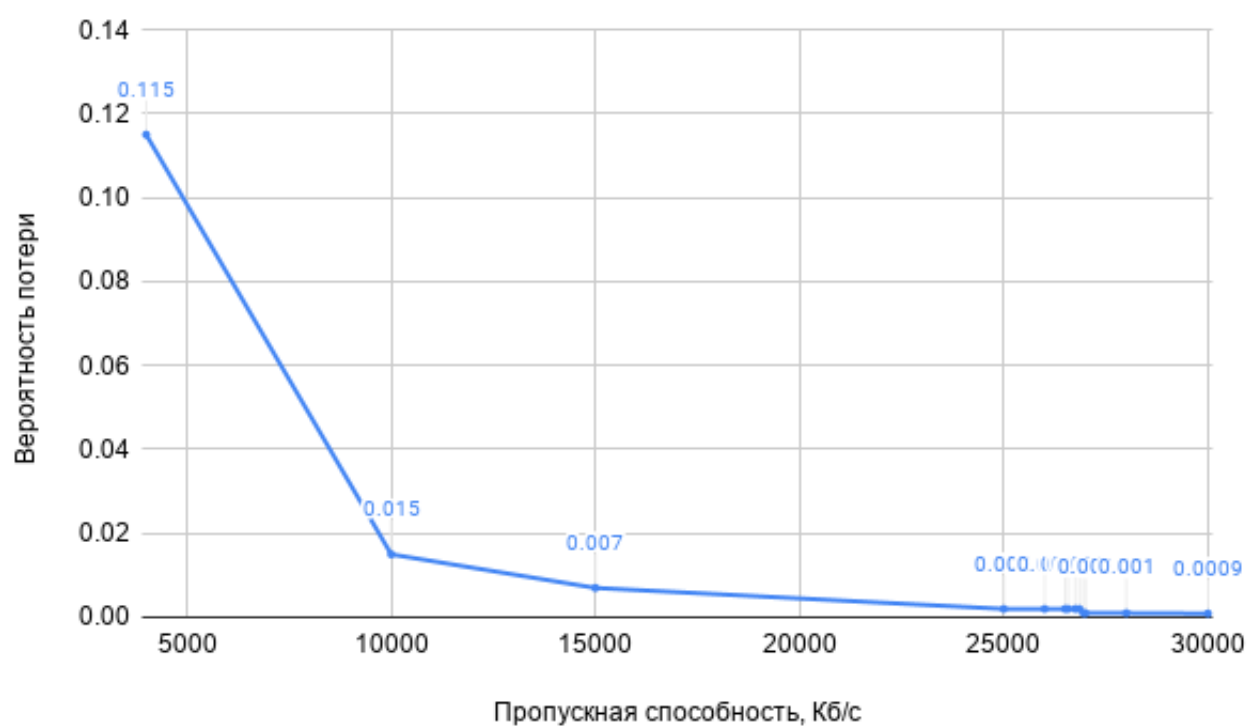


Рис. 20: Зависимость вероятности потери от пропускной способности, WFQ

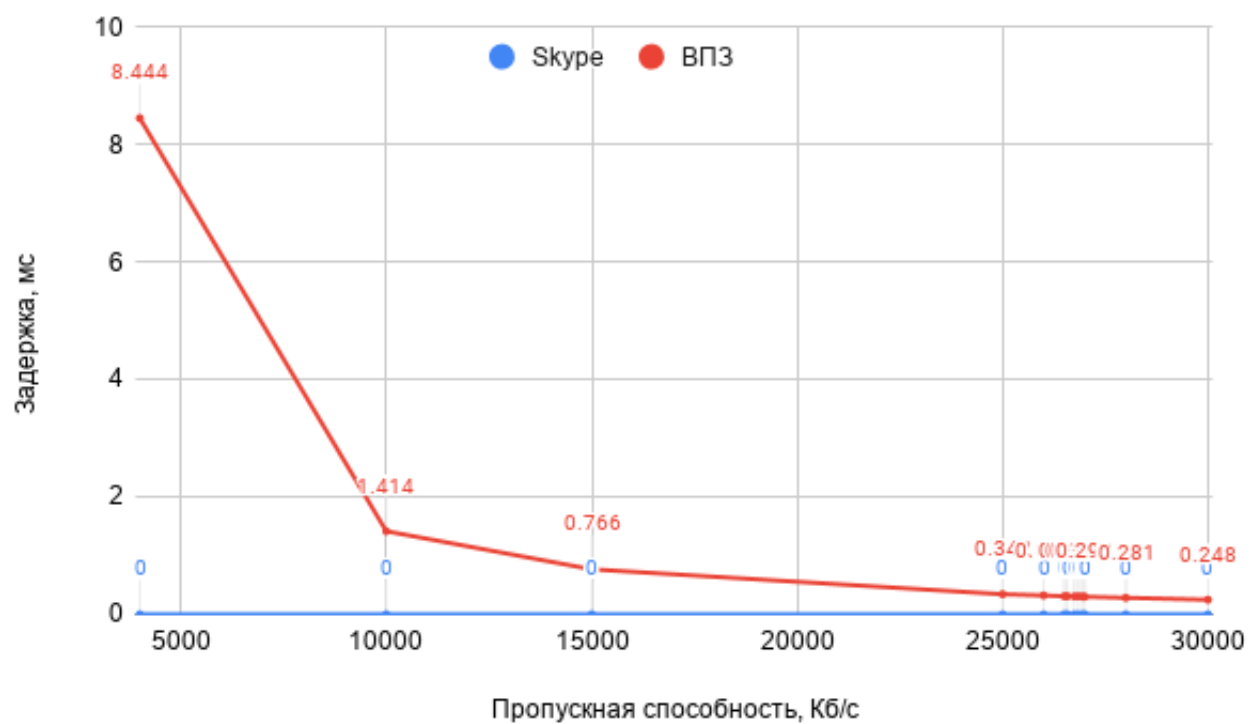


Рис. 21: Зависимость задержки от пропускной способности, WFQ

В целом можно отметить, что при увеличении пропускной способности канала, как и ожидалось, вероятность потери и задержка падают для обоих типов пакетов, при этом они начинают соответствовать поставленным требованиям начиная с 26950 Кб/с.

Помимо прочего, было проведено варьирование весов классов заявок. В результате этого варьирования было установлено, что если установить  $w_1 = 0.95$  и  $w_2 = 0.05$  ( $K = 19$ ), то можно добиться уменьшения необходимой пропускной способности до 26575 Кб/с, что можно увидеть на рисунке 22.

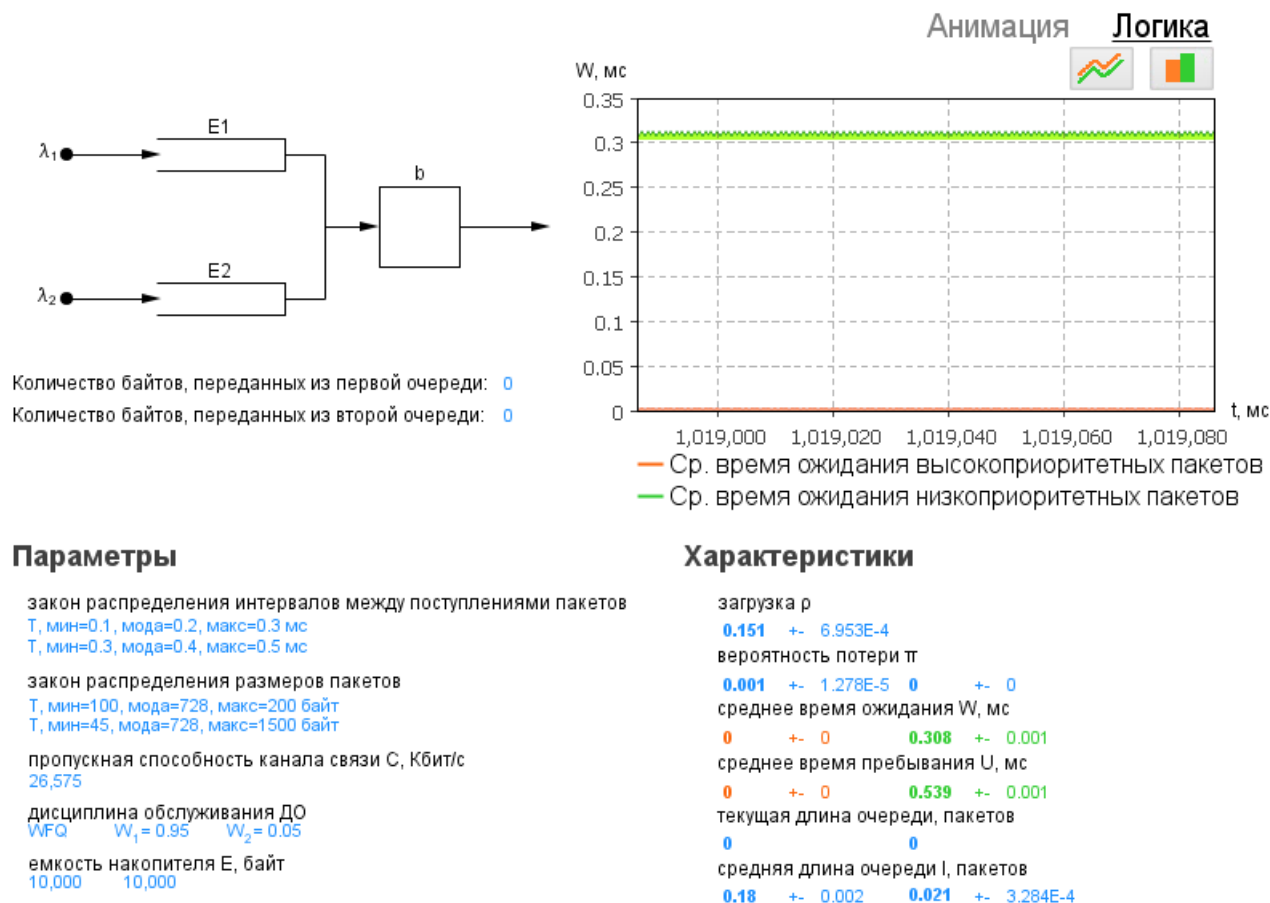


Рис. 22: Характеристики при параметрах, полученных в результате варьирования  $K$ , WFQ

## 4 Вывод

В ходе выполнения работы были получены данные, позволяющие провести сравнительную характеристику дисциплин обслуживания FIFO, PQ и WFQ. Для удобства основные характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2: Сравнительная характеристика ДО

	FIFO	PQ	WFQ
Пропускная способность, Кб/с	25750	25500	26575
Задержка Skype, мс	0.32	0.41	0
Задержка ВПЗ, мс		0.125	0.302

- Каждое следующее увеличение пропускной способности влияет на характеристики системы меньше, чем предыдущее, таким образом существенное влияние на качество передачи оно оказывает только до определенного предела.
- Дисциплина FIFO является самой простой из представленных - она работает со всем трафиком как с единым целым и не имеет специальных режимов работы при перегрузках.
- Дисциплина PQ уже различает заявки по классам и отдает приоритет заявкам более высокого класса.
- Дисциплина WFQ тоже является ДО с приоритетами, но помимо этого она гарантирует что даже в условиях перегрузок будут передаваться оба типа заявок.
- Наименьшей приемлемой пропускной способности удалось добиться при дисциплине PQ, она равна 25500 Кб/с.
- Тем не менее, я бы рекомендовал использовать самую простую ДО FIFO, так как она совсем незначительно проигрывает PQ в значении пропускной способности, в то время как выигрывает по задержке. Предположительно это связано с тем, что для удовлетворения условия по вероятности потери (0.1%) система должна работать в условиях далеких от перегрузок (во всех экспериментах итоговая загрузка была менее 0.2), поэтому большого влияния выбор ДО не оказывал, и FIFO удалось показать достойный результат.