

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

| | | |
|----------|------------------------|----------|
| 1 | Цель | 2 |
| 2 | Исходные данные | 2 |
| 3 | Ход работы | 2 |
| 3.1 | FIFO | 5 |
| 3.2 | PQ | 10 |
| 3.3 | WFQ | 14 |

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.

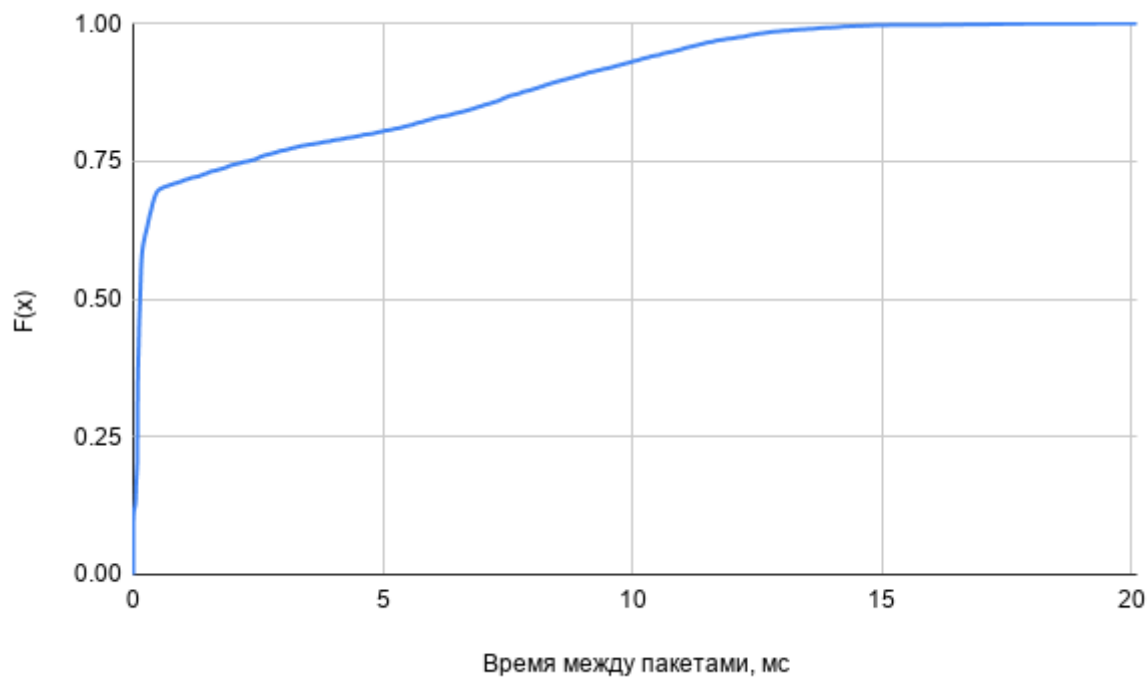


Рис. 3: Функция распределения для интервалов между пакетами Skype

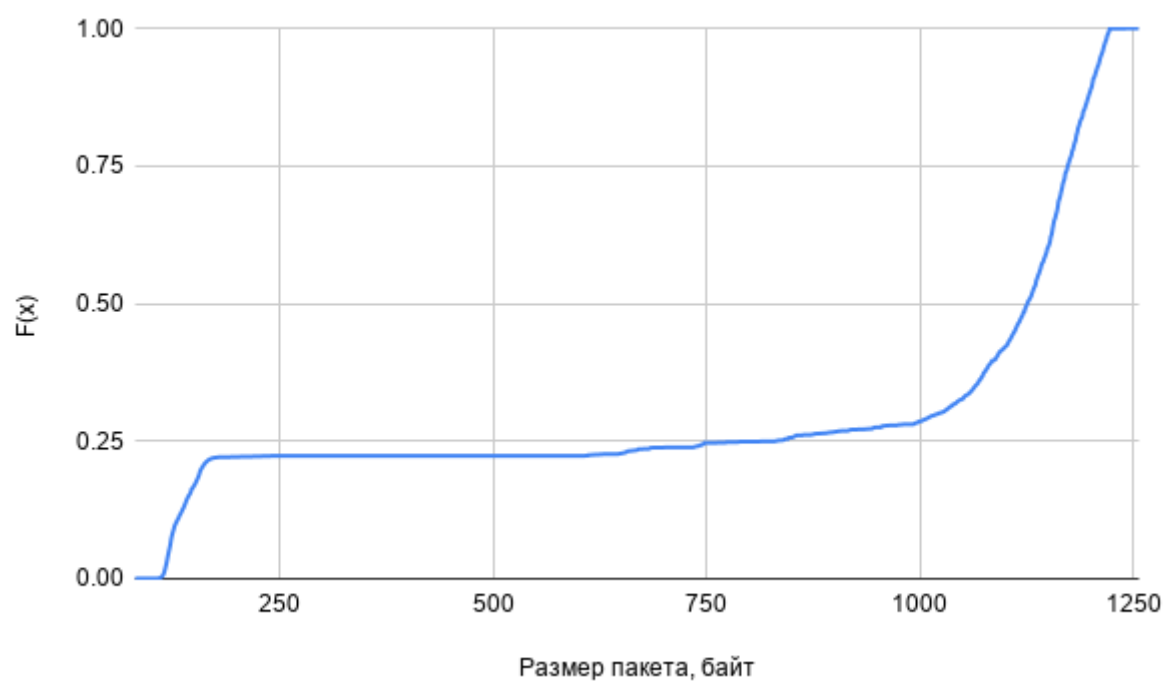


Рис. 4: Функция распределения для размеров пакетов Skype

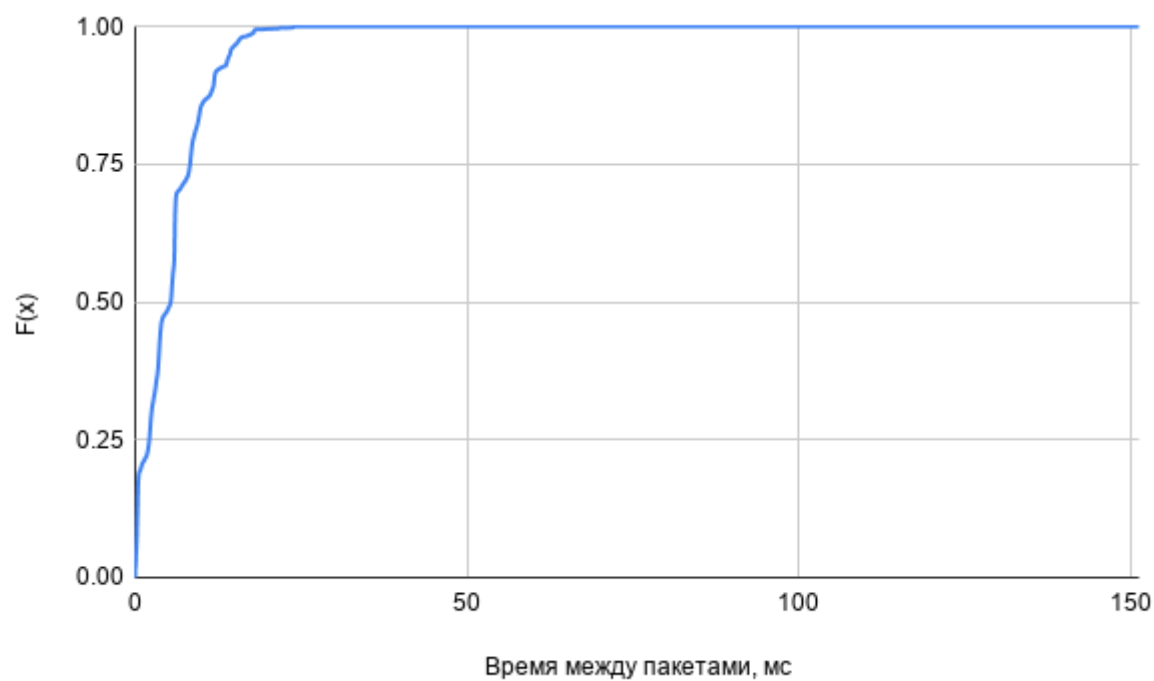


Рис. 5: Функция распределения для интервалов между пакетами ВПЗ

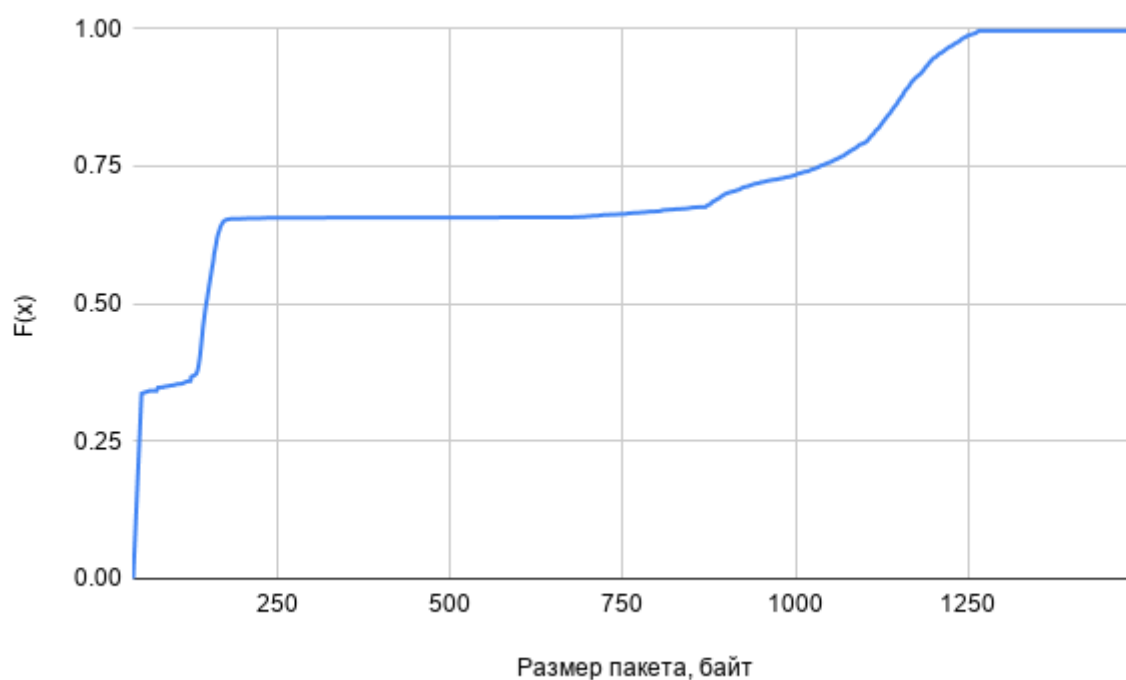


Рис. 6: Функция распределения для размеров пакетов ВПЗ

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

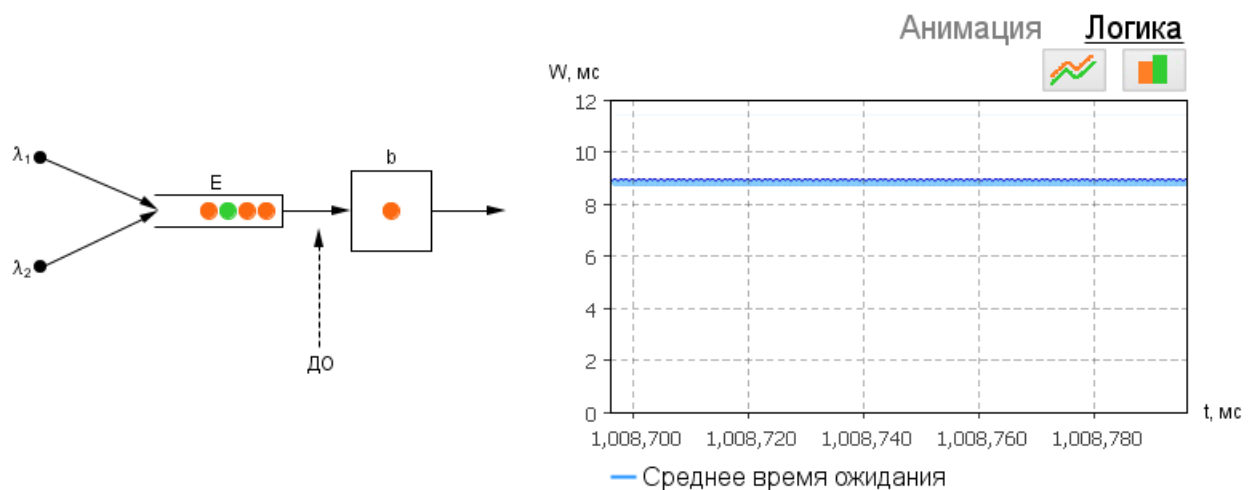
Емкость накопителя

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 ρ
 0.882 +/- 6.287E-4

вероятность потери π
 0.085 +/- 6.685E-6

среднее время ожидания W , мс
 8.792 +/- 0.015

среднее время пребывания U , мс
 10.273 +/- 0.015

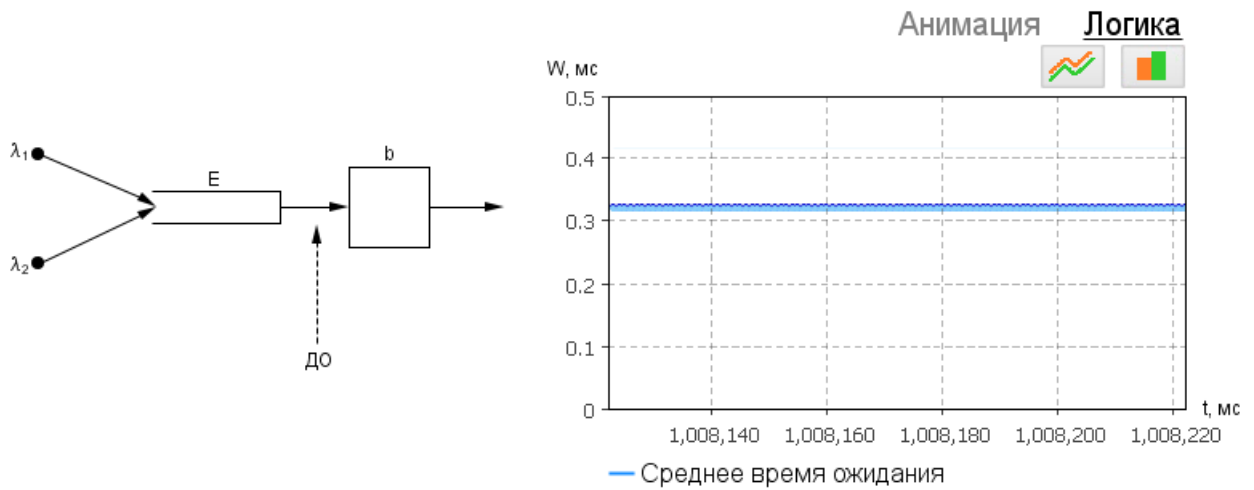
текущая длина очереди, пакетов
 4

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

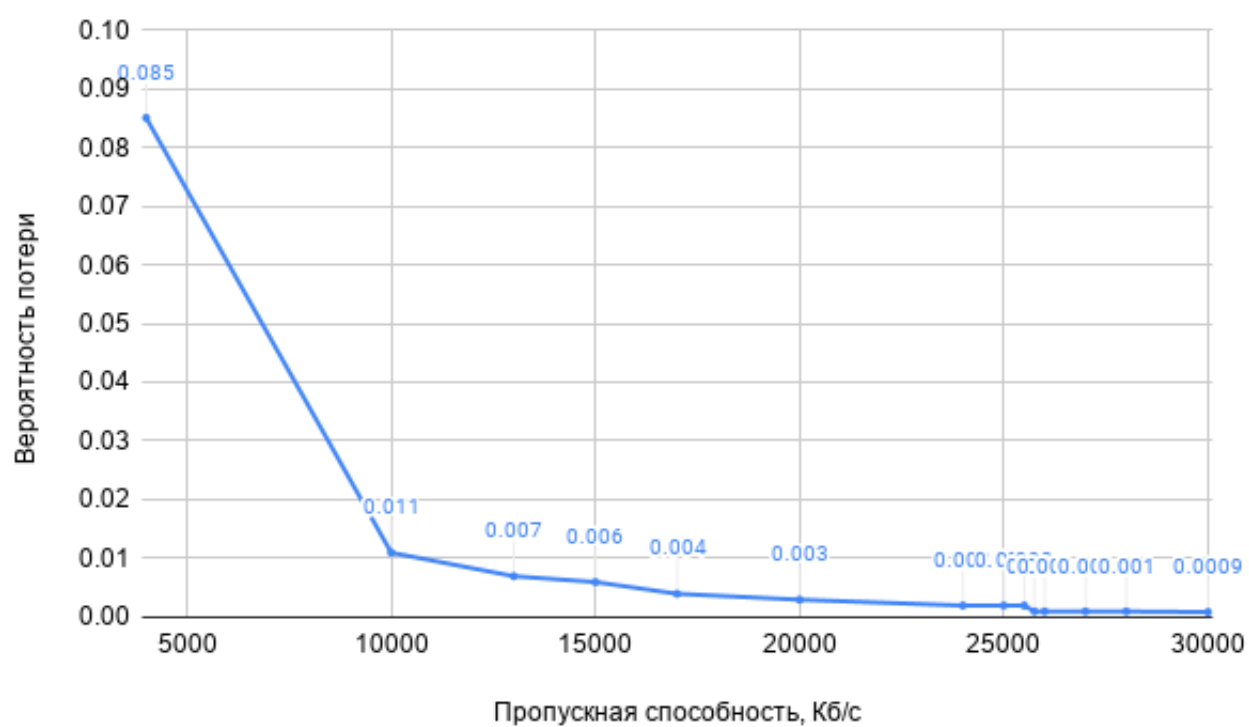


Рис. 10: Зависимость вероятности потери от пропускной способности, FIFO

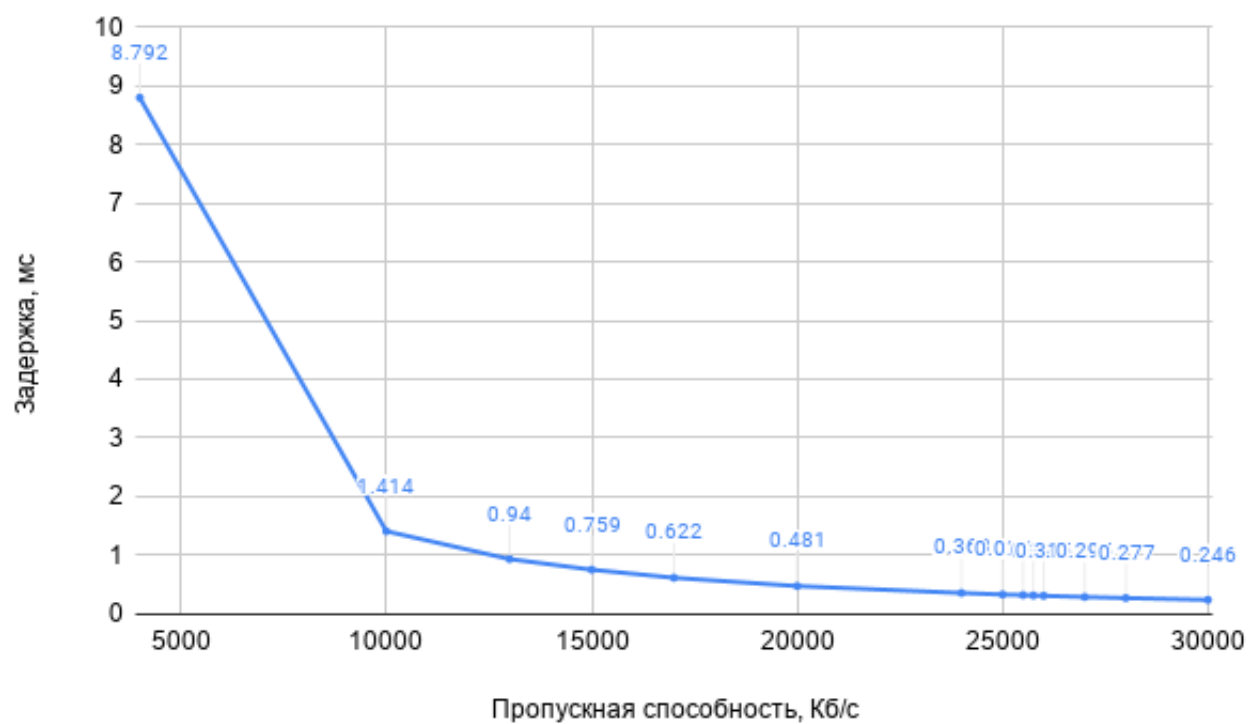


Рис. 11: Зависимость задержки от пропускной способности, FIFO

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 |
| ОП | 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

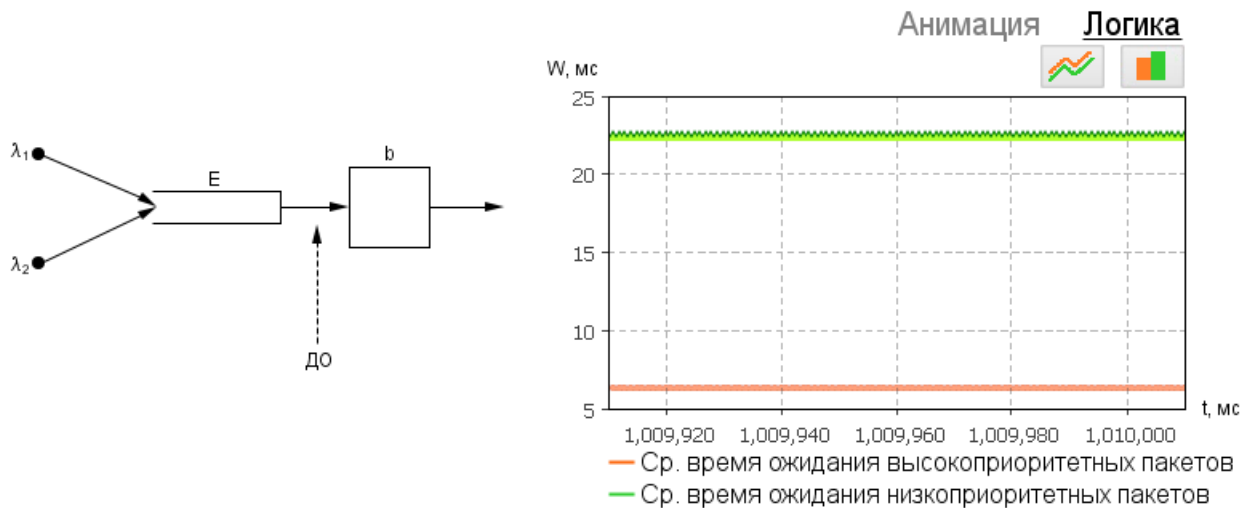
Пакеты низкоприоритетного класса
☐ равномерный ☐ экспоненциальный ☐ треугольный ☒ табличная функция
задается в файле excelFileSizeDistr.xls на листе 2

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.



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
 ОП

емкость накопителя E , байт
 10,000

Характеристики

загрузка ρ
 0.882 +/- 6.29E-4

вероятность потери π
 0.088 +/- 7.469E-6

среднее время ожидания W , мс
 6.274 +/- 0.015 22.362 +/- 0.101

среднее время пребывания U , мс
 8.027 +/- 0.015 23.22 +/- 0.1

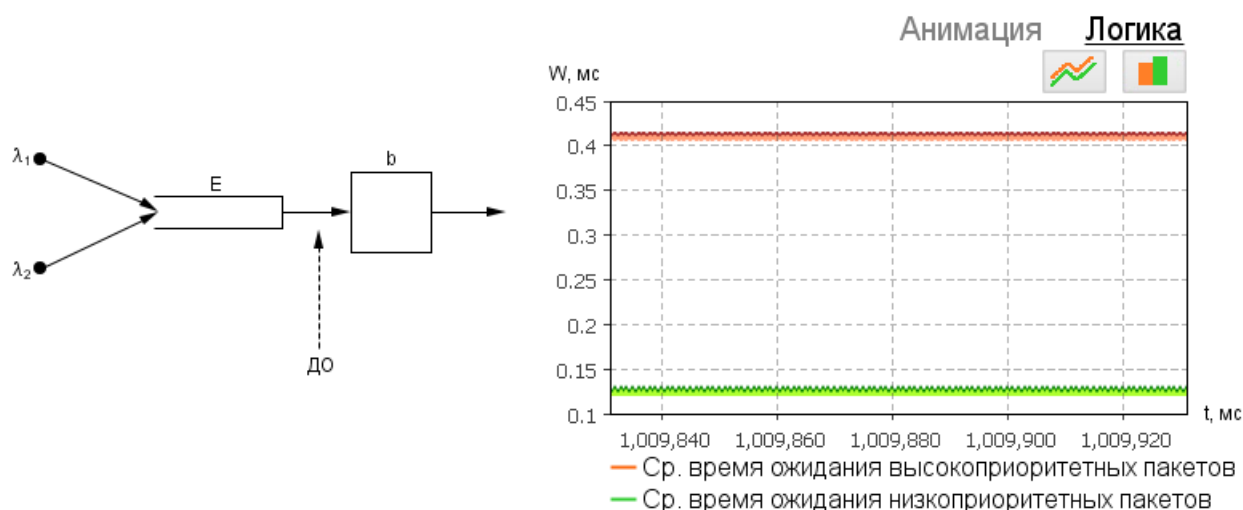
текущая длина очереди, пакетов
 0

средняя длина очереди l , пакетов
 6.622 +/- 0.01

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

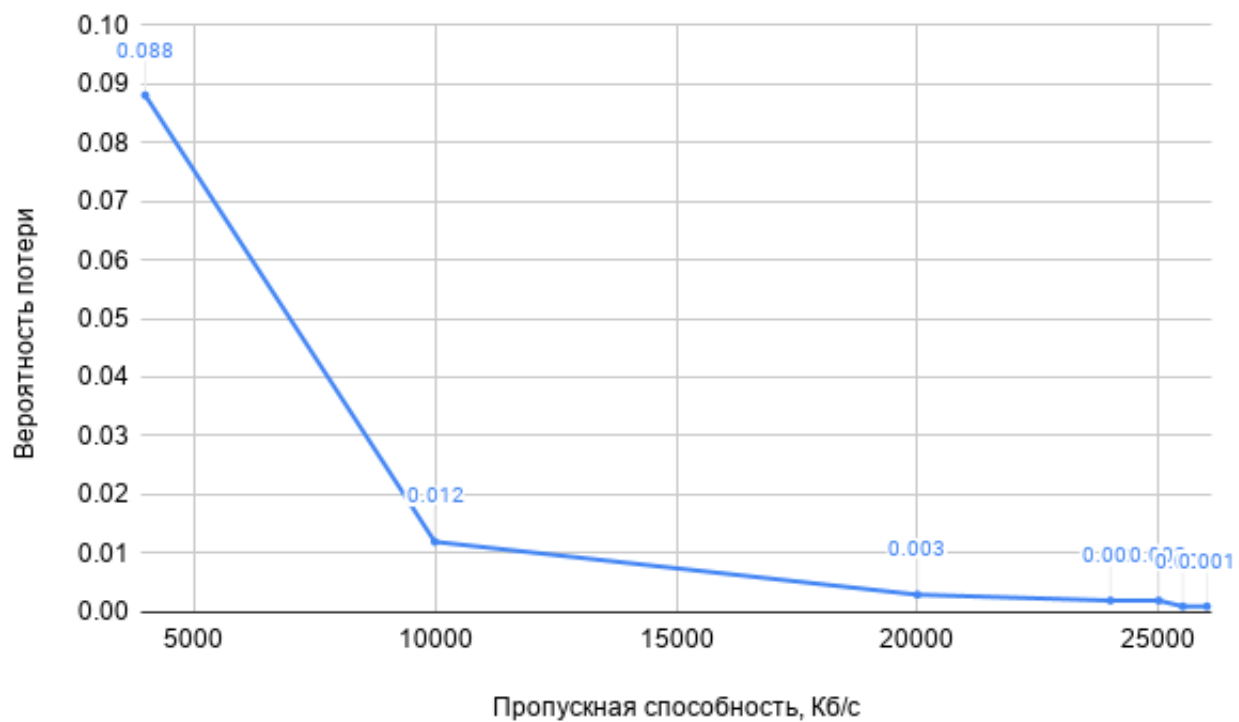


Рис. 15: Зависимость вероятности потери от пропускной способности, PQ

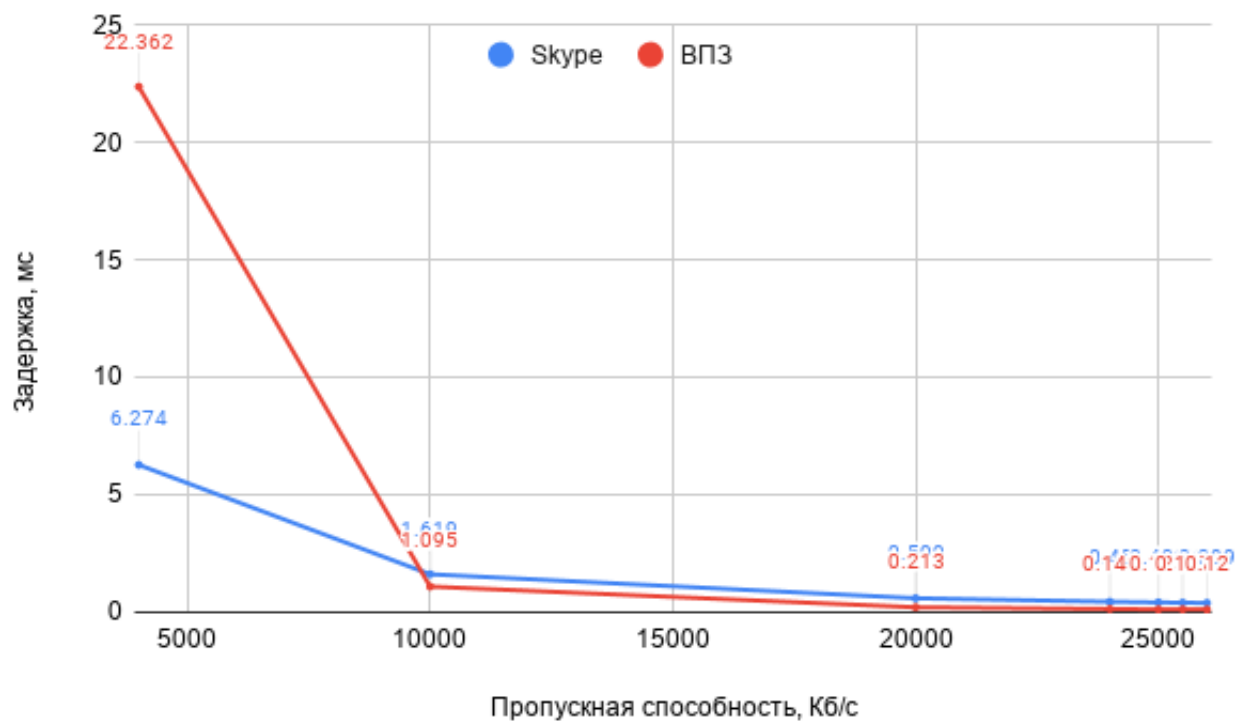


Рис. 16: Зависимость задержки от пропускной способности, PQ

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.

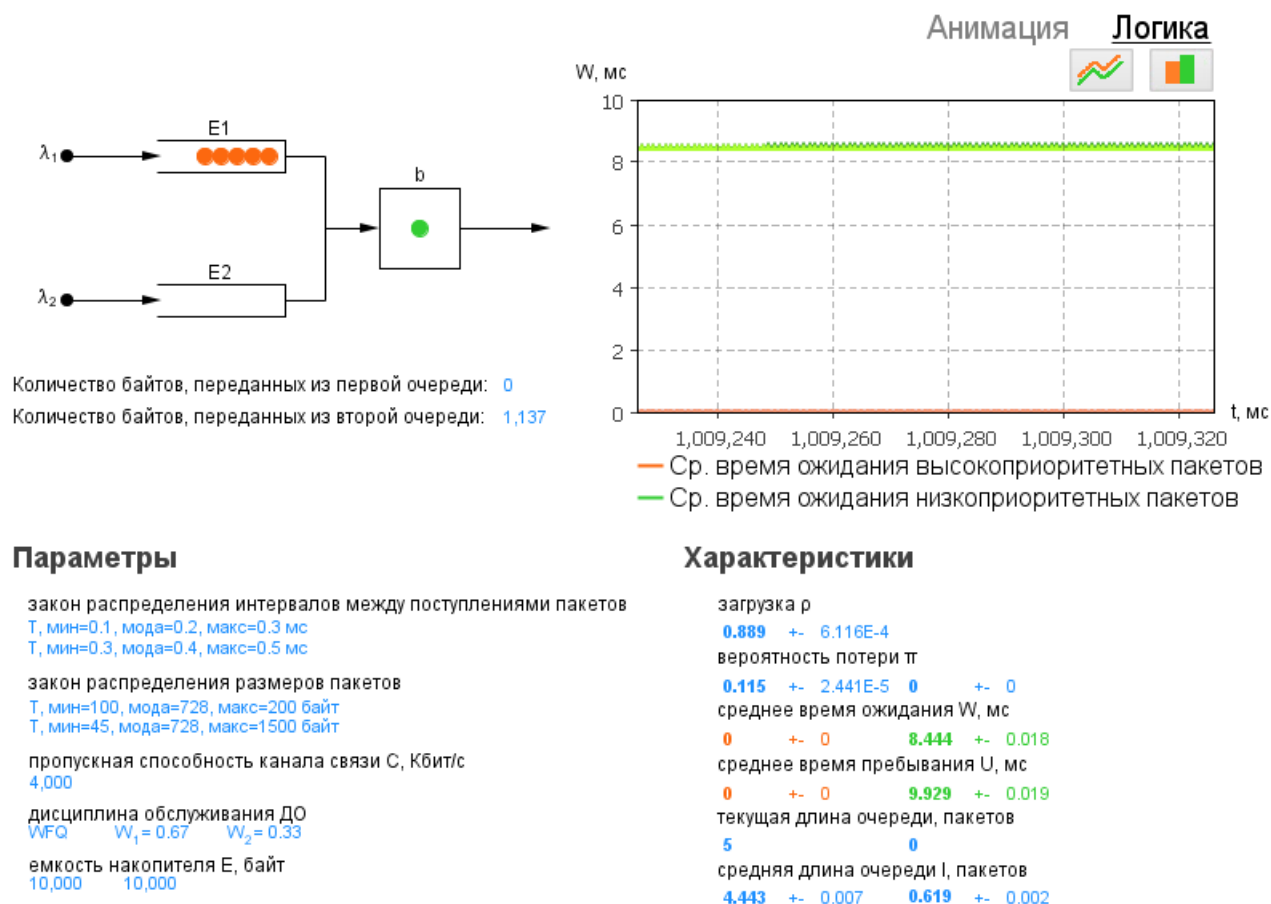


Рис. 18: Характеристики при параметрах, заданных в варианте, WFQ

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.

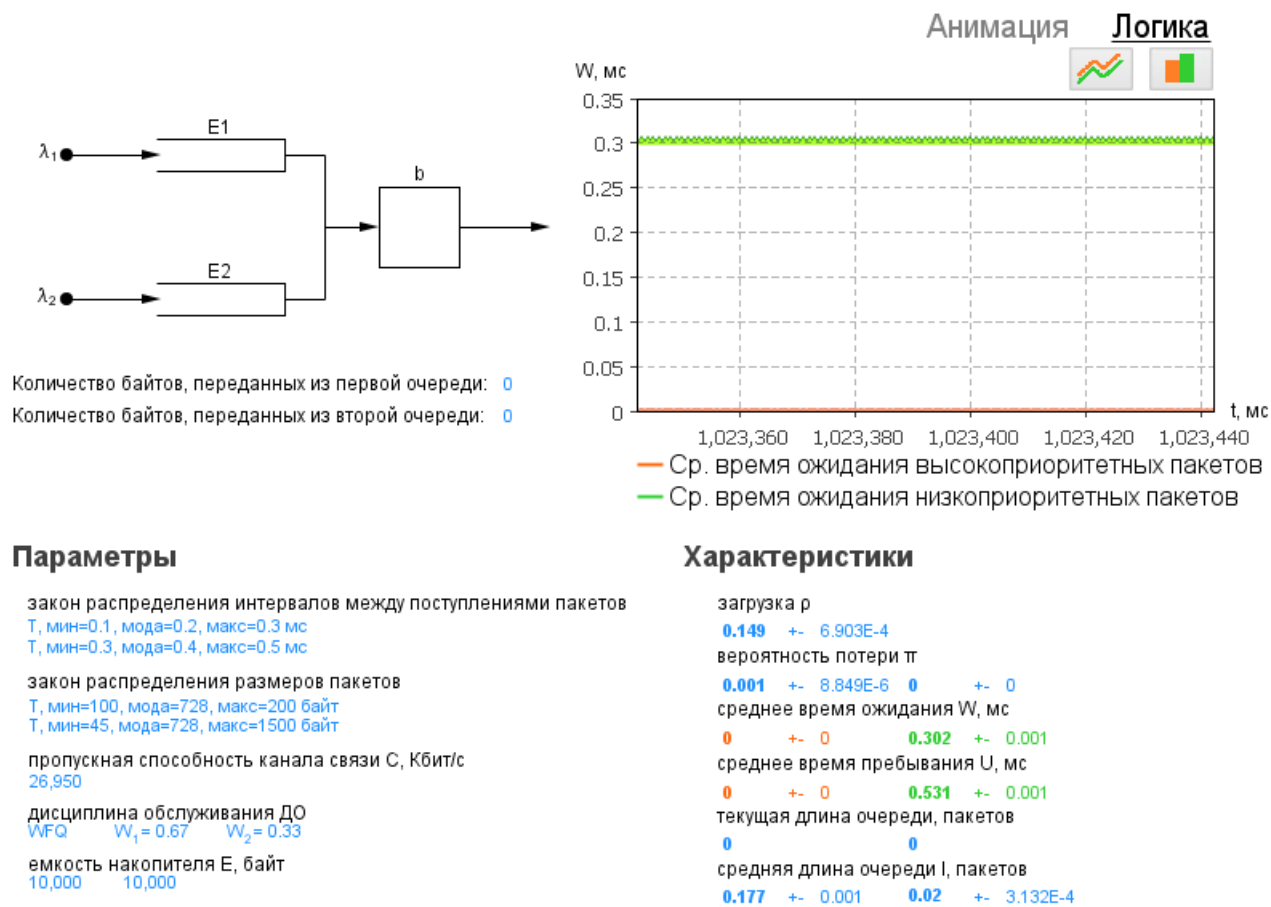


Рис. 19: Характеристики при параметрах, полученных в результате варьирования, WFQ

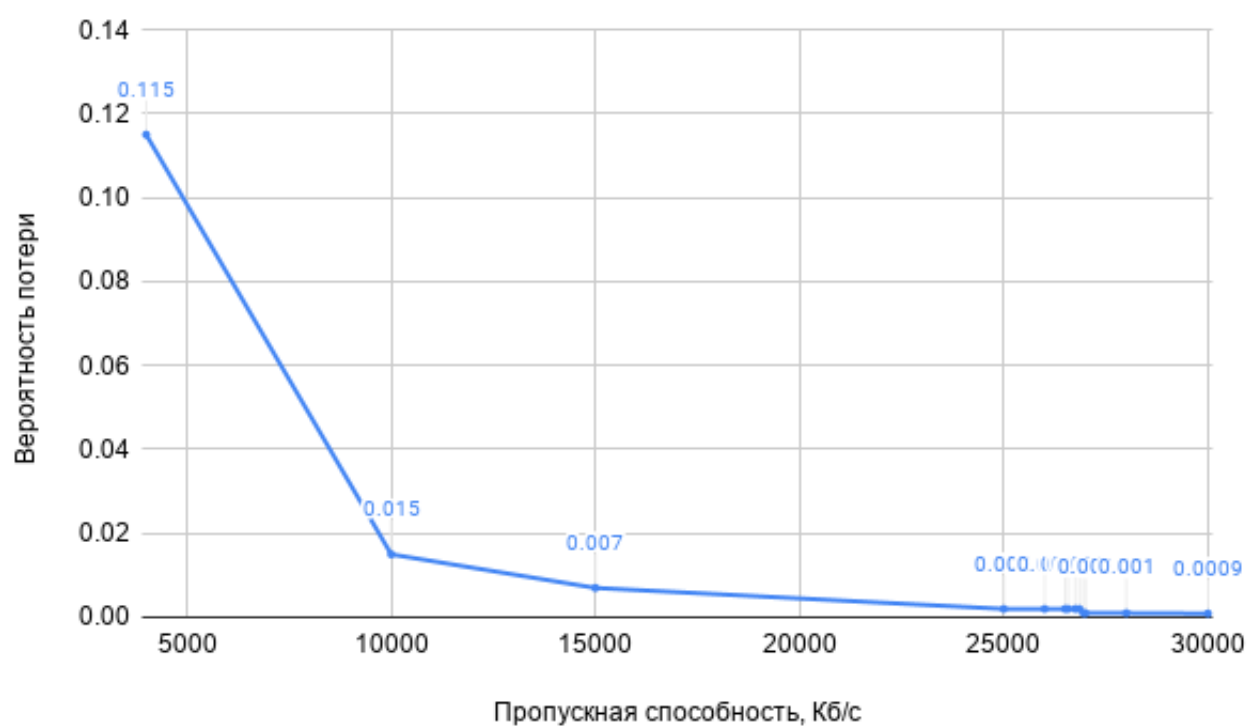


Рис. 20: Зависимость вероятности потери от пропускной способности, WFQ

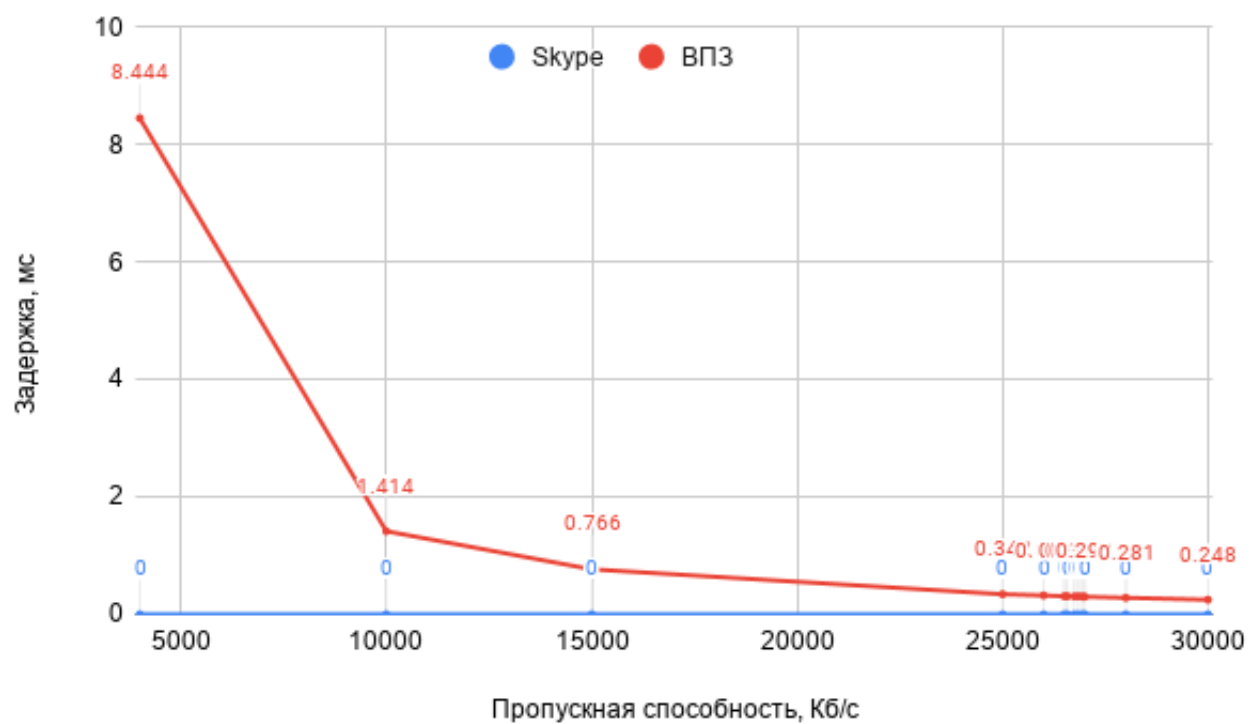


Рис. 21: Зависимость задержки от пропускной способности, WFQ

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.

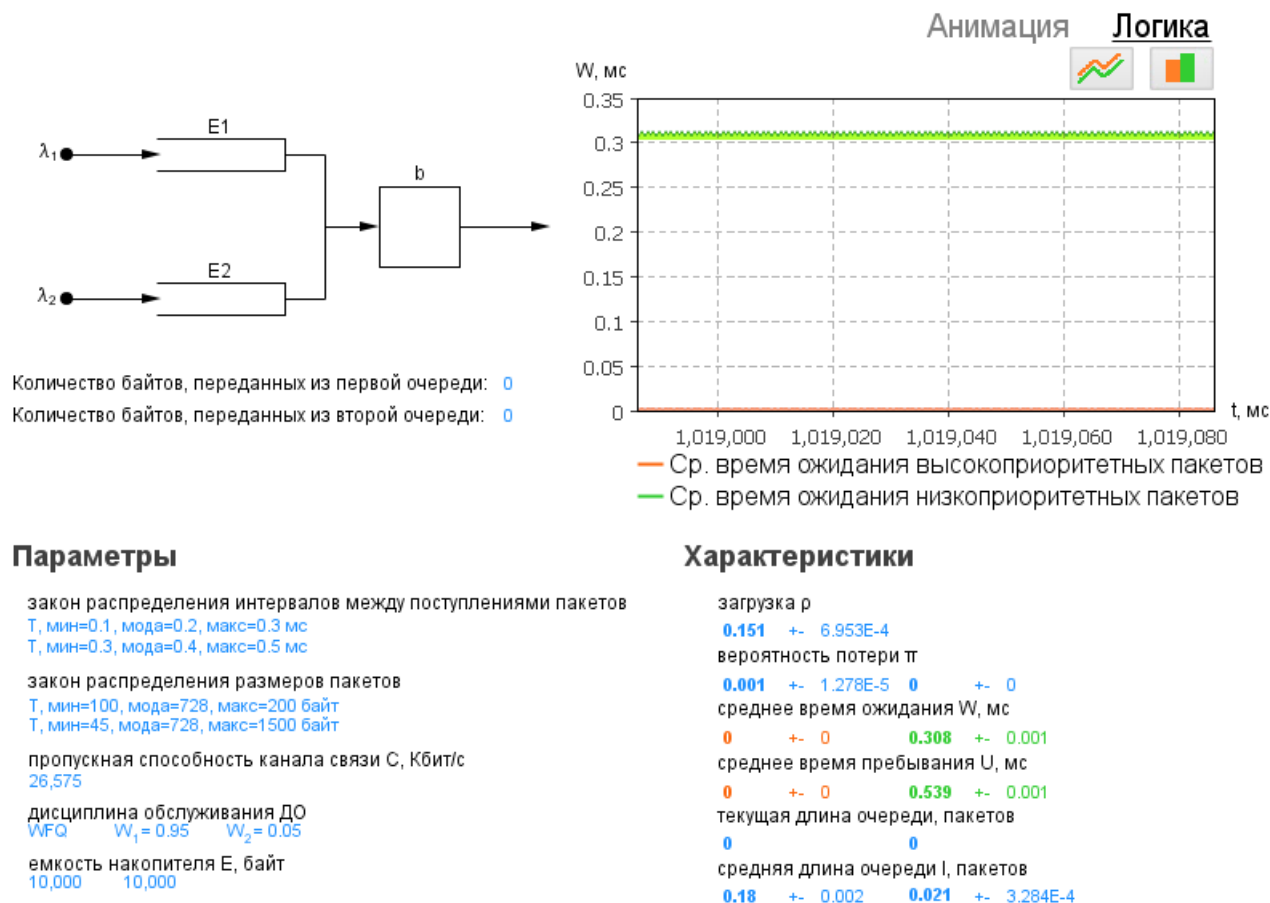


Рис. 22: Характеристики при параметрах, полученных в результате варьирования K , WFQ