



УДК 004.738

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ VOIP-ТРАФИКА

Ю.А. Балакшина<sup>а</sup>, В.В. Соснин<sup>а</sup><sup>а</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: ignatovayuliya0@gmail.com

### Информация о статье

Поступила в редакцию 06.06.16, принята к печати 27.09.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1084-1090

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Балакшина Ю.А., Соснин В.В. Автоматизация подбора оптимальной дисциплины обслуживания при передаче VoIP-трафика // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 6. С. 1084–1090. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1084-1090

### Аннотация

Рассмотрено применение различных дисциплин обслуживания очередей в сетевых устройствах в качестве механизма обеспечения качества обслуживания. Определены этапы для подбора необходимых значений параметров дисциплин обслуживания в сетевых устройствах при передаче VoIP-трафика в компьютерных сетях. Выбор VoIP-трафика в качестве объекта исследования связан с наличием жестких требований VoIP-приложений к характеристикам передачи пакетов по сети. С помощью учебно-экспериментального комплекса имитационного моделирования проведены многочисленные эксперименты для подбора параметров наиболее распространенных дисциплин обслуживания (FIFO, WFQ, с относительными приоритетами). На примере проиллюстрирована возможность настройки весовых коэффициентов дисциплины обслуживания WFQ. Получены приближенные аналитические зависимости, позволяющие значительно сократить затраты системных администраторов на оценку и модификацию параметров дисциплин обслуживания в сетевых устройствах. Сформулирован метод автоматизации подбора оптимальной дисциплины обслуживания.

### Ключевые слова

передача трафика, VoIP-трафик, дисциплины обслуживания, загрузка, WFQ, weighted fair queueing, имитационное моделирование

## AUTOMATING SELECTION OF OPTIMAL PACKET SCHEDULING DURING VOIP-TRAFFIC TRANSMISSION

Yu.A. Balakshina<sup>а</sup>, V.V. Sosnin<sup>а</sup><sup>а</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: ignatovayuliya0@gmail.com

### Article info

Received 06.06.16, accepted 27.09.16

doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1084-1090

Article in Russian

**For citation:** Balakshina Yu.A., Sosnin V.V. Automating selection of optimal packet scheduling during VoIP-traffic transmission. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2016, vol. 16, no. 6, pp. 1084–1090. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-6-1084-1090

### Abstract

The usage of various packet scheduling disciplines in computer networking devices as a mechanism to ensure the quality of service is described. Stages for selection of necessary parameters values of packet scheduling during VoIP-traffic transmission in computer networks are defined. VoIP-traffic was set as a research object because there are strict requirements of VoIP-applications to the network transmission parameters. With the aid of training and experimental simulation system the numerous experiments for parameters selection of the most common packet scheduling disciplines were carried out (FIFO, WFQ, non-preemptive priority queueing). The example that illustrates the ability to adjust the weighting coefficients of WFQ packet scheduling discipline is presented. Approximate analytical dependences are obtained and they will significantly reduce system administrators' efforts to assess and modify the parameters of packet scheduling in network devices. A method of automating selection of the optimal packet scheduling discipline is formulated.

### Keywords

traffic transmission, VoIP-traffic, packet scheduling, traffic intensity, WFQ, weighted fair queueing, simulation modeling

## Введение

Важным механизмом обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, QoS) является применение различных дисциплин обслуживания (ДО) очередей в сетевых устройствах, включая приоритетные и взвешенные ДО. Так как для большинства современных ДО не существует адекватных аналитических моделей, то при конфигурации сетевых устройств приходится устанавливать параметры ДО эмпирическим путем, что является ресурсоемкой и трудозатратной задачей. Следовательно, возникает необходимость автоматизировать подбор ДО и ее параметров.

Объектом исследования являются ДО, используемые при конфигурации сетевых устройств, и их параметры. Предметом исследования является влияние параметров ДО на характеристики качества передачи трафика. Цель исследования состоит в разработке метода автоматизации подбора параметров ДО для обеспечения требуемого стандартами международного союза электросвязи (МСЭ) качества передачи VoIP-трафика в сетевых устройствах.

Вопросами оценки параметров ДО ранее занимались как отечественные, так и зарубежные ученые. Большинство из них рассматривали заявки двух–пяти различных классов, производили моделирование и на этом основании вычисляли пропускную способность сетевого устройства [1], вероятность потерь [2], время отклика и ожидания пакета [2, 3], производительность [3, 4]. Многие исследователи сходятся во мнении, что для большинства комбинаций классов чаще всего предпочтительной является дисциплина WFQ (Weighted Fair Queueing – взвешенное справедливое обслуживание) [1–7].

Однако указанные исследователи приводят результаты моделирования только на своих данных, а общая концепция в выборе дисциплины обслуживания и настройке ее параметров до сих пор не сформирована. В результате пользователи ДО WFR считают эту дисциплину достаточно сложной в применении [8] и предпочитают использовать параметры по умолчанию<sup>1</sup>.

## Постановка задачи

Исходя из вышеперечисленного, для разработки метода автоматизации подбора параметров ДО применительно к VoIP-трафику были определены и решены следующие задачи.

1. Запись трассы аудиотрафика при использовании типового VoIP-приложения для передачи данных по компьютерной сети, а также трассы фоновых трафика, не предъявляющего QoS-требования к ресурсам сети.
2. Анализ собранных характеристик: получение эмпирических функций распределения размеров пакетов и распределения интервалов между поступлениями пакетов, расчет математического ожидания и коэффициента вариации.
3. Проведение имитационных экспериментов для подбора параметров ДО с помощью ранее разработанного Т.К. Гомзиной и Д.А. Поповой учебно-экспериментального комплекса имитационного моделирования (УЭК) [9–11].
4. Получение приближенных зависимостей, позволяющих оценить параметры ДО сетевых устройств для обеспечения требуемого стандартами МСЭ качества обслуживания аудиотрафика в компьютерной сети.

## Сбор и анализ собранных характеристик трафика

Как и в аналогичных исследованиях, было принято решение произвести сбор характеристик трафика разных классов, в данном случае трафика реального времени и трафика компьютерных данных (фоновых трафика). В качестве трафика реального времени был использован аудиотрафик приложения Skype. В качестве трафика компьютерных данных – трафик, полученный во время загрузки файла большого объема с помощью торрент-клиента.

Для генерации VoIP-трафика было использовано приложение Skype, поскольку оно является лидером по трафику голосовых звонков (на 2012 год объем международного рынка голосовых звонков составил 34%)<sup>2</sup>, и темпы роста такого трафика опережают телефонные каналы впятеро [12]. Для генерации трафика компьютерных данных была осуществлена загрузка файла большого объема с помощью приложения uTorrent. Данное приложение было использовано, поскольку оно является распространенным (на январь 2011 года количество активных пользователей составило 100 миллионов человек)<sup>3</sup> и бесплатным для загрузки и использования<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Chapter: Configuring Weighted Fair Queueing // Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide, Release 12.2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12\\_2/qos/configuration/guide/fqos\\_c/qcwfq.html](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/qos/configuration/guide/fqos_c/qcwfq.html), свободный. Яз англ. (дата обращения 20.05.2016).

<sup>2</sup> The Bell Tolls for Telcos // TeleGeography Authoritative Telecom Data [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.telegeography.com/press/press-releases/2013/02/13/the-bell-tolls-for-telcos/index.html>, свободный. Яз англ. (дата обращения 20.05.2016).

<sup>3</sup> Utorrent and bittorrent hit 100 million monthly users // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://torrentfreak.com/utorrent-bittorrent-hit-100-million-monthly-users-110103/>, свободный. Яз англ. (дата обращения 20.05.2016).

<sup>4</sup> Utorrent // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.utorrent.com/intl/ru/>, свободный. Яз англ. (дата обращения 20.05.2016).

С помощью программы-анализатора трафика Wireshark был осуществлен захват аудио- и фонового трафика. Трафик голосового звонка записывался в течение 30 минут, поскольку было сделано предположение, что это время соответствует средней длительности совещания при использовании аудиоприложений. Данное время определило размер выборки, который составил 100000 пакетов.

В ходе анализа характеристик VoIP-трафика была построена эмпирическая функция распределения размера пакетов (рис. 1). Значение математического ожидания составило 141 Б. Коэффициент вариации равен 0,135.

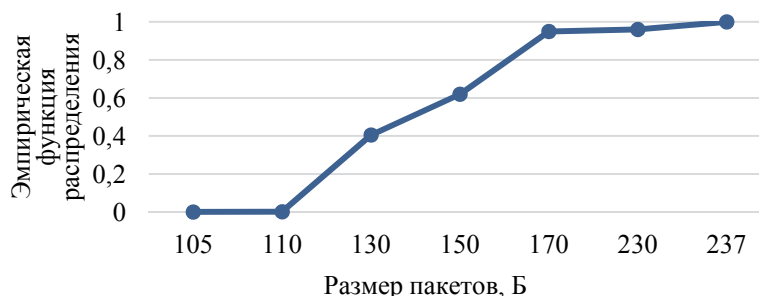


Рис. 1. Эмпирическая функция распределения размеров пакетов VoIP-трафика

Была построена эмпирическая функция распределения интервалов между поступлением пакетов VoIP-трафика (рис. 2). Рассчитаны математическое ожидание и коэффициент вариации. Значение математического ожидания составило 19,8 мс. Коэффициент вариации равен 0,1. Полученные результаты подтверждают информацию о том, что трафик мультимедийных данных характеризуется регулярной интенсивностью поступления пакетов.

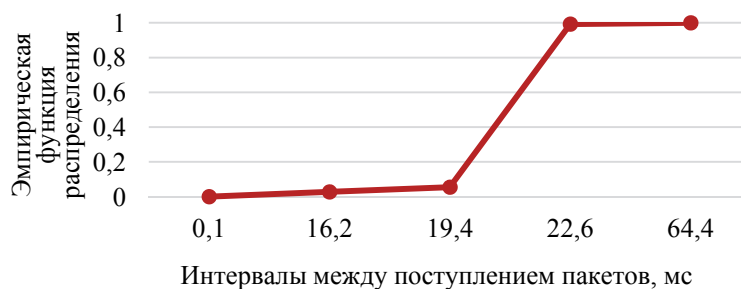


Рис. 2. Эмпирическая функция распределения интервалов между поступлением пакетов VoIP-трафика

В ходе анализа характеристик фонового трафика была построена эмпирическая функция распределения размера пакетов (рис. 3). Рассчитаны математическое ожидание и коэффициент вариации. Значение математического ожидания составило 745 Б. Коэффициент вариации равен 0,93.

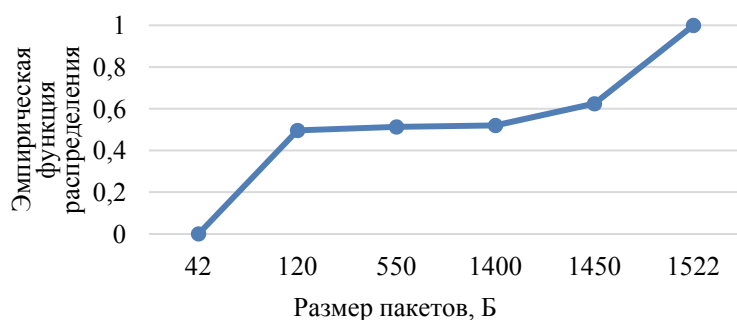


Рис. 3. Эмпирическая функция распределения размеров пакетов фонового трафика

Также была построена эмпирическая функция распределения интервалов между поступлением пакетов фонового трафика (рис. 4). Рассчитаны математическое ожидание и коэффициент вариации. Значение математического ожидания составило 1,66 мс. Коэффициент вариации равен 0,98.



Рис. 4. Эмпирическая функция распределения интервалов между поступлением пакетов фонового трафика

### Проведение имитационных экспериментов

Далее были исследованы такие ДО, как беспriorитетная ДО FIFO (First In First Out), ДО с относительными приоритетами (ОП) и WFQ, поскольку в современных маршрутизаторах и коммутаторах они используются наиболее часто [13].

Для проведения эксперимента был использован УЭК, в котором задавались такие значения, как:

- дисциплина обслуживания;
- закон распределения интервалов между поступлением пакетов;
- закон распределения размеров пакетов;
- пропускная способность канала связи.

При выборе ДО WFQ в качестве дополнительного параметра указывались весовые коэффициенты для потоков трафика разных классов.

При проведении экспериментов было задано значение пропускной способности, равное 10 Мбит/с. Емкость накопителя не ограничивалась.

Первой исследуемой ДО являлась ДО FIFO [14]. После первого эксперимента загрузка канала связи составила 15%, значение задержки удовлетворяло значениям МСЭ. Для более детального исследования данной ДО были проведены имитационные эксперименты при разных значениях загрузки. Для увеличения загрузки вручную была увеличена интенсивность поступления пакетов фонового трафика. Так как интенсивность зависит от времени между поступлением пакетов, было принято решение уменьшать это время в 2, 3, 4, 5 и 6 раз. При этом значения загрузки канала связи составили 31, 47, 57, 78 и 94% соответственно.

Аналогичным образом были проведены имитационные эксперименты для исследования ДО ОП.

Исследование ДО WFQ также производилось при разных значениях загрузки прибора. Особенностью исследования данной ДО являлась необходимость подбора весовых коэффициентов для двух классов трафика таким образом, чтобы задержка VoIP-трафика не превышала 100 мс (данное значение задержки для VoIP-трафика указано в рекомендациях Международного союза электросвязи), а задержка пакетов фонового трафика не стремилась к бесконечности. Следовательно, настройку ДО WFQ на каждом этапе измерений нужно было произвести таким образом, чтобы для трафика 1 класса (VoIP-трафика) изначально было задано минимальное необходимое значение весового коэффициента, а при появлении высоких значений задержки (выше 100 мс) значение весового коэффициента для VoIP-трафика увеличивалось.

Было проведено по десять имитационных экспериментов для разных значений интенсивности поступления пакетов фонового трафика. В каждой группе было определено среднее значение загрузки и времени пребывания пакетов трафика, рассчитан доверительный интервал с уровнем доверия 95%.

### Результаты экспериментов

В ходе анализа результатов имитационных экспериментов были построены графики зависимости задержки от загрузки прибора. На рис. 5 представлен график для ДО FIFO. На данном графике и графиках, представленных на рис. 6, 7, неразрывная кривая характеризует задержку, а пунктирная – доверительный интервал. Анализ показал, что, начиная со значения загрузки 57%, значения задержки всех пакетов не удовлетворяют рекомендациям МСЭ.

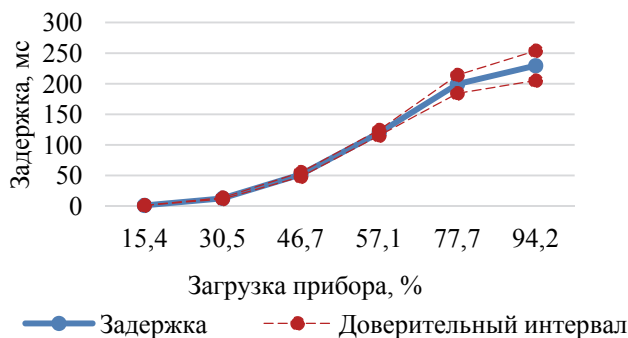


Рис. 5. Зависимость задержки от загрузки прибора для дисциплины обслуживания FIFO

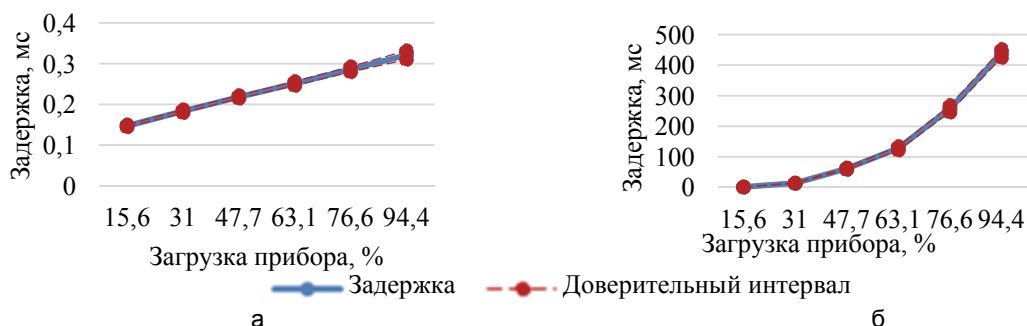


Рис. 6. Зависимость задержки пакетов для дисциплины обслуживания с относительными приоритетами от загрузки прибора: VoIP-трафика (а); фоновый трафика (б)

На рис. 6, а и б, представлены результаты экспериментов для ДО ОП. Анализ показал, что при любом значении загрузки значения задержки пакетов VoIP-трафика удовлетворяют рекомендациям МСЭ. Однако значения задержки пакетов фоновый трафика велики, что говорит о том, что качество обслуживания пакетов второго класса будет низким при использовании данной ДО, а при перегрузке сети обслуживание вообще может не произойти [15].

На рис. 7, 8 представлены результаты экспериментов для ДО WFQ. Графики на рис. 7 показывают зависимость задержки пакетов от загрузки прибора, а график на рис. 8 иллюстрирует возможности настройки весовых коэффициентов VoIP-трафика.

Изначально VoIP-трафику был задан минимально возможный в рамках ЧЭК весовой коэффициент WFQ, а именно 0,001. При этом значение задержки не превышало 100 мс, несмотря на увеличение загрузки прибора. При достижении значения загрузки 46,9% и превышении порогового значения задержки весовой коэффициент VoIP-трафика ДО WFQ был увеличен сначала до 0,009, а далее – до 0,011. В результате значение задержки существенно уменьшилось даже при увеличении загрузки прибора.

Для фоновый трафика при увеличении загрузки увеличивается и задержка. Однако значения задержки при использовании дисциплины обслуживания WFQ меньше, чем при использовании дисциплины обслуживания ОП. Анализ показал, что при высоком значении загрузки значения задержки пакетов VoIP-трафика удовлетворяют рекомендациям МСЭ. При этом значения задержки пакетов фоновый трафика ниже, чем при использовании ДО ОП, что позволяет сделать вывод о преимуществе использования дисциплины обслуживания WFQ при передаче VoIP-трафика. Полученный результат аналогичен другим исследованиям [16].

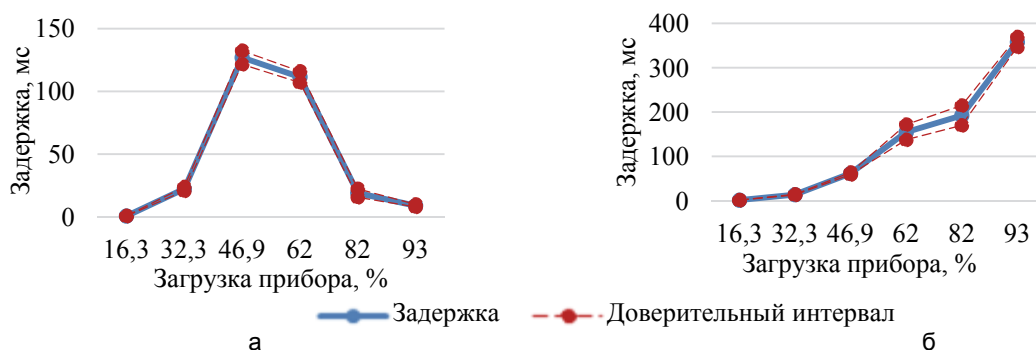


Рис. 7. Зависимость задержки пакетов от загрузки прибора для дисциплины обслуживания WFQ: VoIP-трафика (а); фоновый трафика (б)

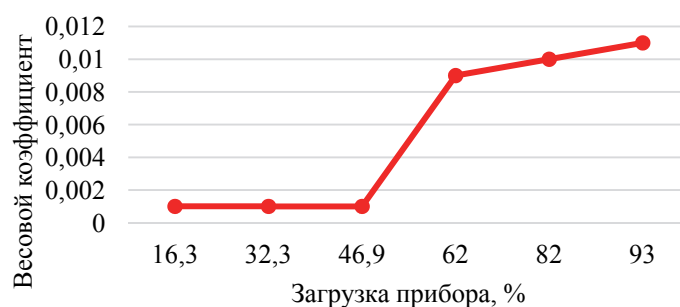


Рис. 8. Зависимость весовых коэффициентов VoIP-трафика от загрузки прибора

Опираясь на проведенные исследования, можно сформулировать метод автоматизации подбора оптимальной дисциплины обслуживания при передаче VoIP-трафика в компьютерной сети, заключающийся в последовательном выполнении следующих действий.

1. Осуществить захват трафика с помощью программного анализатора трафика.
2. Произвести фильтрацию данных (IP-адрес, порт и т.д.).
3. Экспортировать данные в табличный процессор.
4. Выделить необходимые для учебно-экспериментального комплекса характеристики: размер пакетов и интервалы между поступлением пакетов.
5. Преобразовать данные в формат, необходимый для учебно-экспериментального комплекса.
6. Задать исходные данные: ДО, законы распределения, пропускную способность и т.д.
7. Провести начальный эксперимент.
8. Изменить исходные данные (интенсивность трафика и (или) параметры ДО).
9. Провести новые эксперименты, вывести зависимости.
10. Использовать полученные зависимости при настройке коммутационного оборудования.

#### Заключение

В рамках проведенного исследования были получены следующие результаты.

1. Осуществлен сбор и анализ собранных характеристик аудио- и фонового трафика при их передаче в компьютерной сети.
2. Проведено порядка 200 имитационных экспериментов для исследования наиболее распространенных дисциплин обслуживания (FIFO, с относительными приоритетами, WFQ).
3. Произведены анализ и оценка данных, полученных в результате имитационных экспериментов. Получены приближенные аналитические зависимости, позволяющие оценить параметры дисциплин обслуживания сетевых устройств.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. В случае, когда значения задержки пакетов VoIP-трафика не превышают 100 мс, можно использовать дисциплину обслуживания FIFO, которая по умолчанию применяется во всех устройствах с коммутацией пакетов и не требует дополнительного конфигурирования.
2. Дисциплину обслуживания с относительными приоритетами целесообразно использовать при высоких требованиях к качеству обслуживания трафика первого класса и невысоких требованиях к качеству обслуживания трафика второго класса.
3. При использовании дисциплины обслуживания WFQ качество обслуживания пакетов фонового трафика будет выше, чем при использовании дисциплины обслуживания с относительными приоритетами. Однако дисциплина WFQ требует тонкой настройки для более точной работы.
4. Предложенный метод применения имитационного моделирования позволяет автоматизировать подбор параметров WFQ, в отличие от трудозатратного эмпирического перебора, который в настоящее время практикуют системные администраторы.

#### Литература

1. Balogh T., Medvecky M. Average bandwidth allocation model of WFQ // *Modelling and Simulation in Engineering*. 2012. Art. 301012. doi: 10.1155/2012/301012
2. Коваленко О.Н., Коваленко Д.Н. Выбор алгоритма обработки очередей для обслуживания трафика корпоративной сети передачи данных // *Россия молодая: передовые технологии в промышленность!* 2013. № 1. С. 212–215.
3. Sllame A.M., Raey A., Mohamed B., Alagel A. Performance comparison of VoIP over wireless ad hoc networks using

#### References

1. Balogh T., Medvecky M. Average bandwidth allocation model of WFQ. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2012, art. 301012. doi: 10.1155/2012/301012
2. Kovalenko O.N., Kovalenko D.N. Selection of queuing algorithm for traffic maintenance of corporate data network. *Rossiya Molodaya: Peredovye Tekhnologii v Promyshlennost'*, 2013, no. 1, pp. 212–215. (In Russian)
3. Sllame A.M., Raey A., Mohamed B., Alagel A. Performance comparison of VoIP over wireless ad hoc networks using different routing protocols and queuing techniques. *Proc.*

- different routing protocols and queuing techniques // Proc. International Symposium on Networks, Computers and Communications. Yasmine Hammamet, Tunisia, 2015. doi: 10.1109/ISNCC.2015.7238592
4. Al-Sawaai A., Awan I., Fretwell R. Performance of weighted fair queuing system with multi-class jobs // Proc. 24<sup>th</sup> IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications. Perth, Australia, 2010. P. 50–57. doi: 10.1109/AINA.2010.25
  5. Elnaka A.M., Mahmoud Q.H., Li X. Simulation based comparative performance analysis of QoS traffic scheduling using fair and delay adaptive scheduler (FDAS) versus WFQ and EDF // Proc. 13<sup>th</sup> IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC). Las Vegas, USA, 2016. P. 916–923.
  6. Khawam K., Kofman D. Opportunistic weighted fair queueing // Proc. 64<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference. Montreal, Canada, 2006. P. 1284–1288. doi: 10.1109/VTCF.2006.269
  7. Dekeris B., Adomkus T., Budnikas A. Analysis of QoS assurance using Weighted Fair Queueing (WFQ) scheduling discipline with Low Latency Queue (LLQ) // Proc. 28<sup>th</sup> Int. Conf. Information Technology Interfaces ITI. Cavtat/Dubrovnik, Croatia, 2006. P. 507–512.
  8. Sayenko A., Hämäläinen T., Joutsensalo J., Kannisto L. Comparison and analysis of the revenue-based adaptive queuing models // Computer Networks. 2006. V. 50. N 8. P. 1040–1058. doi: 10.1016/j.comnet.2005.09.002
  9. Гомзина Т.К. Создание обучающего экспериментального комплекса для исследования современных приоритетных дисциплин обслуживания. Выпускная работа. СПб.: НИУ ИТМО, 2013.
  10. Попова Д.А. Имитационное моделирование современных приоритетных дисциплин массового обслуживания на основе AnyLogic. Выпускная работа. СПб.: НИУ ИТМО, 2014.
  11. Попова Д.А., Соснин В.В. Разработка учебно-исследовательского комплекса имитационного моделирования современных дисциплин обслуживания в компьютерных сетях // Сборник трудов молодых ученых и сотрудников кафедры ВТ. 2015. № 6. С. 49–51.
  12. Карасев С. Темпы роста международного трафика Skype опережают телефонные каналы в пятеро // Сетевой журнал 3DNews Daily Digital Digest [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/795836> (дата обращения: 30.06.2016).
  13. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 363 с.
  14. Вегеша Ш. Качество обслуживания в сетях IP. М.: Вильямс, 2003. 368 с.
  15. Федосеев Д. Алгоритмы управления очередями // Журнал сетевых решений/LAN. 2007. №12. Режим доступа: <http://www.osp.ru/lan/2007/12/4659316> (дата обращения 20.05.2016).
  16. Rashed M.M.G., Kabir M. A comparative study of different queuing techniques in VoIP, video conferencing and file transfer // Daffodil International University Journal of Science and Technology. 2010. V. 5. N 1. P. 37–47. doi: 10.3329/diujst.v5i1.4380
  - International Symposium on Networks, Computers and Communications. Yasmine Hammamet, Tunisia, 2015. doi: 10.1109/ISNCC.2015.7238592
  4. Al-Sawaai A., Awan I., Fretwell R. Performance of weighted fair queuing system with multi-class jobs. Proc. 24<sup>th</sup> IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications. Perth, Australia, 2010, pp. 50–57. doi: 10.1109/AINA.2010.25
  5. Elnaka A.M., Mahmoud Q.H., Li X. Simulation based comparative performance analysis of QoS traffic scheduling using fair and delay adaptive scheduler (FDAS) versus WFQ and EDF. Proc. 13<sup>th</sup> IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference, CCNC. Las Vegas, USA, 2016, pp. 916–923.
  6. Khawam K., Kofman D. Opportunistic weighted fair queueing. Proc. 64<sup>th</sup> Vehicular Technology Conference, Montreal, Canada, 2006, pp. 1284–1288. doi: 10.1109/VTCF.2006.269
  7. Dekeris B., Adomkus T., Budnikas A. Analysis of QoS assurance using Weighted Fair Queueing (WFQ) scheduling discipline with Low Latency Queue (LLQ). Proc. 28<sup>th</sup> Int. Conf. Information Technology Interfaces ITI. Cavtat/Dubrovnik, Croatia, 2006, pp. 507–512.
  8. Sayenko A., Hämäläinen T., Joutsensalo J., Kannisto L. Comparison and analysis of the revenue-based adaptive queuing models. Computer Networks, 2006, vol. 50, no. 8, pp. 1040–1058. doi: 10.1016/j.comnet.2005.09.002
  9. Gomzina T.K. Creation Training Experimental Complex for Research of Modern Priority Service Courses. Vypusknaya rabota. St. Petersburg, NRU ITMO Publ., 2013. (In Russian)
  10. Popova D.A. Simulation Modeling of Modern Priority Queuing Courses Based on AnyLogic. St. Petersburg, NRU ITMO Publ., 2014. (In Russian)
  11. Popova D.A., Sosnin V.V. Development of training and research complex of service courses simulation in networks. Sbornik Trudov Molodykh Uchenykh i Sotrudnikov Kafedry VT, 2015, no. 6, pp. 49–51. (In Russian)
  12. Karasev S. The rate of growth of Skype international traffic exceed telephone lines five times. Available at: <http://www.3dnews.ru/795836> (accessed: 30.06.2016). (In Russian)
  13. Aliev T.I. Osnovy Modelirovaniya Diskretnykh System [Fundamentals of Simulation of Discrete Systems]. St. Petersburg, SPbSU ITMO Publ., 2009, 363 p. (In Russian)
  14. Vegesa S. IP Quality of Service. Indianapolis, USA, Cisco Press, 2001, 343 p.
  15. Fedoseev D. Queue management algorithms. Journal of Network Solutions/LAN, 2007, no. 12. Available at: [www.osp.ru/lan/2007/12/4659316](http://www.osp.ru/lan/2007/12/4659316) (accessed 20.05.2016). (In Russian)
  16. Rashed M.M.G., Kabir M. A comparative study of different queuing techniques in VoIP, video conferencing and file transfer. Daffodil International University Journal of Science and Technology, 2010, vol. 5, no 1, pp. 37–47. doi: 10.3329/diujst.v5i1.4380

### Авторы

**Балакшина Юлия Андреевна** – студент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [ignatovayuliya0@gmail.com](mailto:ignatovayuliya0@gmail.com)

**Соснин Владимир Валерьевич** – кандидат технических наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, [vsosnin@gmail.com](mailto:vsosnin@gmail.com)

### Authors

**Yuliya A. Balakshina** – student, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [ignatovayuliya0@gmail.com](mailto:ignatovayuliya0@gmail.com)

**Vladimir V. Sosnin** – PhD, Associate professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, [vsosnin@gmail.com](mailto:vsosnin@gmail.com)