

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ WI-FI В ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ И НА ПЛАТФОРМАХ СТАНЦИЙ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

**Д. Г. Анисимов, Р. А. Дунайцев\***

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\*Адрес для переписки: [roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto:roman.dunaytsev@spbgut.ru)

**Аннотация**—В 2017 году в Петербургском метрополитене была запущена в эксплуатацию бесплатная сеть Wi-Fi под названием MT\_FREE. За прошедшие годы бесплатный Wi-Fi стал неотъемлемой частью метро Санкт-Петербурга, несомненно повысив уровень комфорта пассажиров. Во многом это еще и имиджевый проект для нашего города, на опыт которого оглядываются многие компании, в том числе и из других стран. По этой причине хотелось бы подвести некий промежуточный итог и оценить качество работы сети MT\_FREE. **Предмет исследования.** В статье представлены результаты комплексного исследования работы сети Wi-Fi в метро Санкт-Петербурга. **Метод.** В ходе работы использовались следующие методы эмпирического исследования: измерение, эксперимент и опрос. **Основные результаты.** В первой части исследования приводятся экспериментальные данные по измерению пропускной способности и круговой задержки сети MT\_FREE в Петербургском метрополитене. Вторая часть исследования посвящена результатам онлайн-опроса, проведенного среди студентов СПбГУТ, относительно востребованности Wi-Fi в метро и удовлетворенности пользователей работой данной сети. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при выполнении работ по оптимизации сети Wi-Fi в Петербургском метрополитене.

**Ключевые слова**—Wi-Fi, MT\_FREE, метро.

## Информация о статье

УДК 004.732

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 04.08.20, принята к печати 23.09.20.

**Ссылка для цитирования:** Анисимов Д. Г., Дунайцев Р. А. Исследование работы WI-FI в подвижном составе и на платформах станций Петербургского метрополитена // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 3. С. 27–38. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-27-38.

# A STUDY OF WI-FI PERFORMANCE INSIDE THE TRAINS AND ON THE PLATFORMS OF THE STATIONS OF THE SAINT PETERSBURG METRO

**D. Anisimov, R. Dunaytsev\***

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\*Corresponding author: roman.dunaytsev@spbgut.ru

**Abstract**—In 2017, a free Wi-Fi network, called MT\_FREE, was launched in the St. Petersburg metro. Over the years, free Wi-Fi has become an integral part of the St. Petersburg metro, undoubtedly increasing the level of passenger comfort. In many ways, this is also an image project for our city, the experience of which many companies consider as a guideline, including those from other countries. For this reason, we would like to summarize and evaluate the quality of service the MT\_FREE network provides. **Research subject.** In this article, we present the results of a performance evaluation study of the Wi-Fi network in the St. Petersburg metro. **Method.** To achieve this goal, the following methods of empirical research were used: measurement, experiment, and survey. **Core results.** In the first part of the study, experimental data on measuring the throughput and round-trip time of the MT\_FREE network in the St. Petersburg metro are provided. The second part of the study is devoted to the results of an online survey conducted among SPbSUT students regarding the demand for Wi-Fi in the metro and user satisfaction with the operation of this network. **Practical relevance.** The obtained results can be used for optimization of the Wi-Fi network in the St. Petersburg metro.

**Keywords**—Wi-Fi, MT\_FREE, metro.

## Article info

Article in Russian.

Received 04.08.20, accepted 23.09.20.

**For citation:** Anisimov D., Dunaytsev R.: A Study of Wi-Fi Performance Inside the Trains and on the Platforms of the Stations of the Saint Petersburg metro // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 3. pp. 27–38 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-27-38.

## Введение

В 2017 году в Петербургском метрополитене была запущена в эксплуатацию бесплатная сеть Wi-Fi под названием MT\_FREE. Построением сети Wi-Fi занималась компания «МаксимаТелеком», несколькими годами ранее развернувшая сеть бесплатного Wi-Fi в Московском метрополитене<sup>1, 2</sup>. Сеть MT\_FREE функционирует

<sup>1</sup> Wi-Fi в метро: архитектура сети и подземные камни [Электронный ресурс]. 2017. URL: <https://habr.com/ru/company/maximatelecom/blog/332538/> (дата обращения: 31.07.2020).

<sup>2</sup> Wi-Fi под Невой: как мы построили сеть в самом глубоком метро мира [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://habr.com/ru/company/maximatelecom/blog/348420/> (дата обращения: 31.07.2020).

вот уже 3 года, и за это время бесплатный Wi-Fi стал неотъемлемой частью Петербургского метрополитена, несомненно повысив уровень комфорта пассажиров. Во многом это еще и имиджевый проект для нашего города, на опыт которого оглядываются многие компании из других стран. По этой причине хотелось бы подвести некий промежуточный итог и оценить качество работы сети Wi-Fi в метро Санкт-Петербурга. В данной статье представлены результаты комплексного исследования работы Wi-Fi в Петербургском метрополитене. В первой части исследования приводятся экспериментальные данные по измерению пропускной способности и круговой задержки сети MT\_FREE в Петербургском метрополитене. Вторая часть исследования посвящена результатам онлайн-опроса, проведенного среди студентов СПбГУТ, относительно востребованности Wi-Fi в метро и удовлетворенности пользователей работой данной сети.

### **Измерение пропускной способности и круговой задержки**

Результаты пассивного инспектирования в подвижном составе Петербургского метрополитена, проведенного ранее с помощью программы Ekahau Site Survey версии 9.0.3, представлены в [1]. В настоящем исследовании было выполнено активное инспектирование сети MT\_FREE с измерением пропускной способности и круговой задержки. Время проведения экспериментов было выбрано по критерию максимальной загруженности сети, поэтому измерения проводились в будние дни в период вечернего часа пик с 16:30 до 18:00. Для измерения пропускной способности сети Wi-Fi использовалась бесплатная утилита iPerf3, а для перехвата передаваемых пакетов применялся анализатор трафика Savvius Omnipipeek версии 11.1.1. Пропускная способность измерялась в нисходящем направлении (*downlink*), так как для большинства пользователей сети именно скорость загрузки является наиболее важным параметром. С удаленного iPerf-сервера генерировался TCP-трафик и передавался на ноутбук в вагоне поезда, выступающего в роли iPerf-клиента. Сам сервер находился в сети петербургского провайдера с гарантированной скоростью доступа 100 Мбит/с. Таким образом были проведены измерения на каждой линии Петербургского метрополитена.

На графиках, представленных на рис. 1, показаны значения измеренной пропускной способности и числа подключенных к точке доступа (ТД) внутри вагона активных пользователей на перегонах между станциями Кировско-Выборгской, Московско-Петроградской, Невско-Василеостровской, Лахтинско-Правобережной и Фрунзенско-Приморской линий метро. Число активных пользователей определялось по количеству уникальных MAC-адресов, с которых был зафиксирован обмен данными с ТД объемом более 1 000 байт. По полученным результатам отчетливо заметен большой разброс скорости от 1,8 до 44,1 Мбит/с, из-за чего говорить о каком-то типичном значении не приходится. Также можно отметить, что подобный разброс не всегда связан с количеством подключенных к ТД активных пользователей. Так, в случае, когда поезд прибыл на станцию и часть пассажиров вышла (соответственно уменьшилось количество пользователей, подключенных к ТД в вагоне поезда), скорость может все равно оставаться низкой. Причиной этого может стать трафик одного из оставшихся в вагоне пассажиров, запустившего, к примеру, многопоточную загрузку данных через пиринговую файлообменную систему BitTorrent или просмотр видео в разрешении 4K.

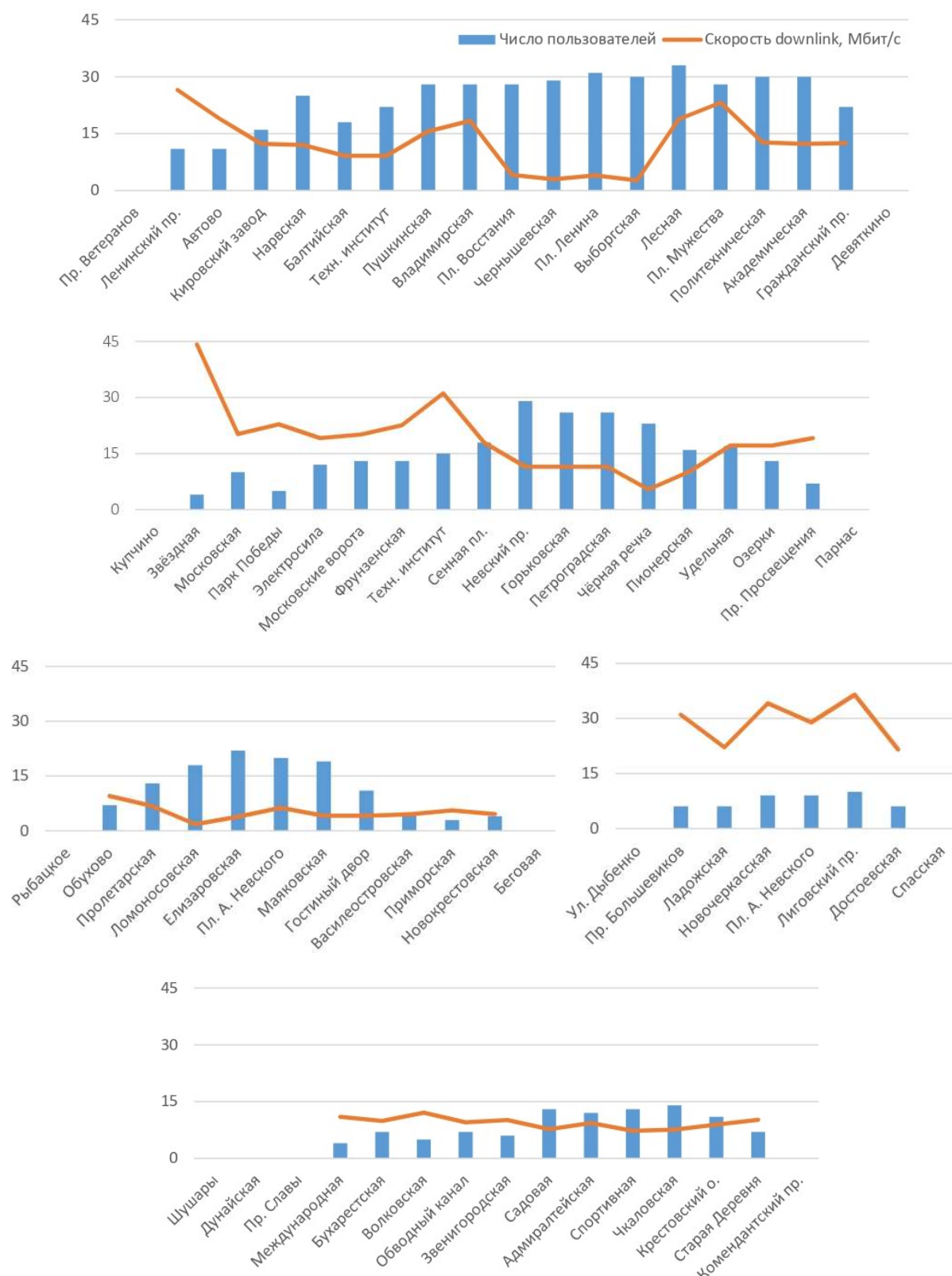


Рис. 1. Скорость загрузки и число активных пользователей, подключенных к ТД внутри вагона

В условиях помех, возникающих в результате интерференции, увеличение передаваемого трафика приводит к увеличению вероятности потери пакета.

В случае с TCP-трафиком это приведет к необходимости повторной передачи, что, естественно, снизит скорость передачи данных. По результатам проведенных экспериментов доля повторных передач в среднем составляла 6 % от общего числа передаваемых пакетов, варьируясь в пределах от 1 до 11 % (рис. 2).

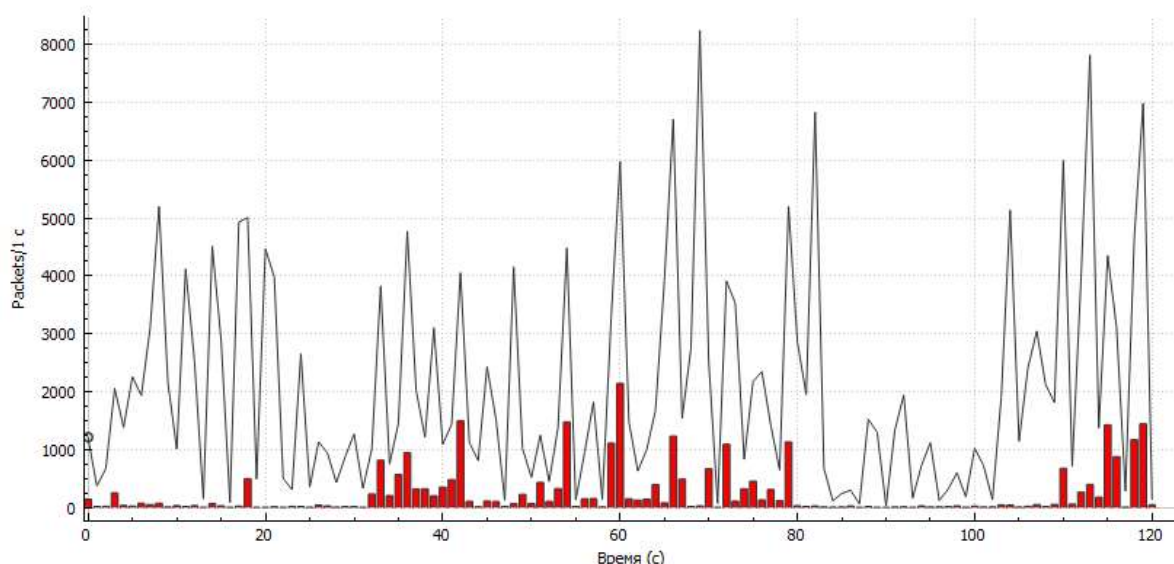


Рис. 2. Общий объем передаваемого TCP-трафика и повторные передачи

Стоит также подчеркнуть, что определенные ограничения пропускной способности задает сама архитектура сети MT\_FREE. Передача данных из поезда во внешнюю сеть и обратно происходит по каналу «поезд-тоннель» со скоростью 500 Мбит/с [2]. Канал организован между базовыми станциями производства итальянской компании Fluidmesh Networks, расположенными по пути следования подвижного состава в тоннеле, и антеннами, установленными на крышах головных вагонов поезда. Частично канал «поезд-тоннель» разгружается промышленным компьютером в кабине головного вагона, способным кэшировать запрашиваемые данные. Между вагонами проложены два кабеля (витая пара) с пропускной способностью по 1 Гбит/с каждый<sup>3, 4</sup>.

Если взять одно из TCP-соединений и посмотреть на график его круговой задержки (*Round-Trip Time, RTT*), то можно увидеть всплески величиной в 1–1,5 секунды (рис. 3). Это может быть как следствием тайм-аутов повторных передач, возникающих при работе протокола TCP на транспортном уровне, или механизма CSMA/CA на канальном, так и особенностью работы утилиты iPerf3. Учитывая, что на графике отображена задержка за период в 2,5 минуты (более 30 тысяч пакетов), такие всплески происходят не слишком часто. Если рассмотреть график в приближении, то станет видно, что для подавляющего большинства пакетов величина круговой задержки в среднем составляет 18 мс (рис. 4).

<sup>3</sup> Wi-Fi в метро: архитектура сети и подземные камни [Электронный ресурс]. 2017. URL: <https://habr.com/ru/company/maximatelecom/blog/332538/> (дата обращения: 31.07.2020).

<sup>4</sup> Wi-Fi под Невой: как мы построили сеть в самом глубоком метро мира [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://habr.com/ru/company/maximatelecom/blog/348420/> (дата обращения: 31.07.2020).

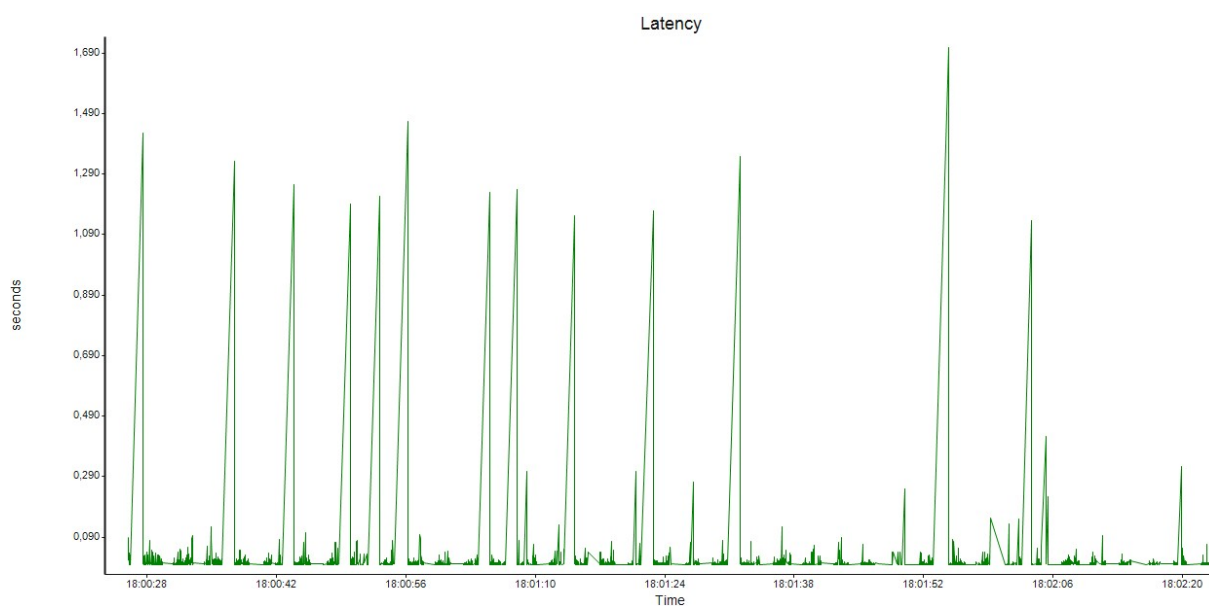


Рис. 3. Круговая задержка TCP-соединения

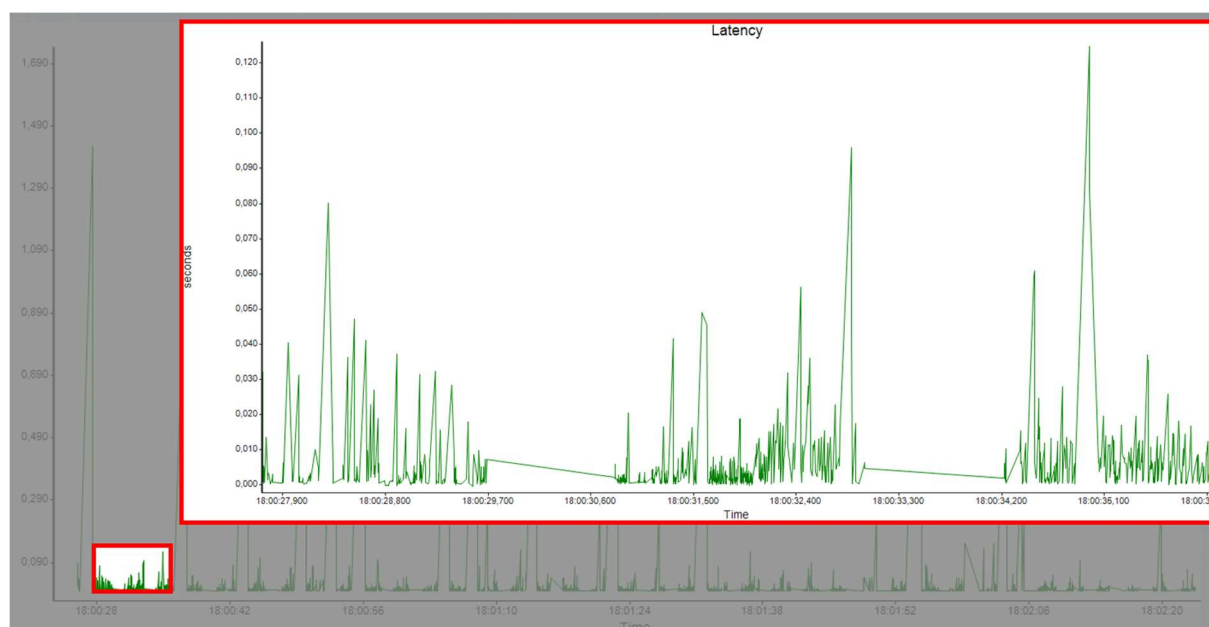


Рис. 4. Круговая задержка TCP-соединения в приближении

Измерение основных параметров сети с помощью специальных интернет-сервисов дало схожие результаты. На рис. 5 представлен результат тестирования скорости соединения до ближайшего гигабитного сервера с помощью сервиса [perf.com](http://perf.com). Средняя величина круговой задержки составила 27 мс с джиттером 33 мс, а средняя скорость загрузки – 29,8 Мбит/с.



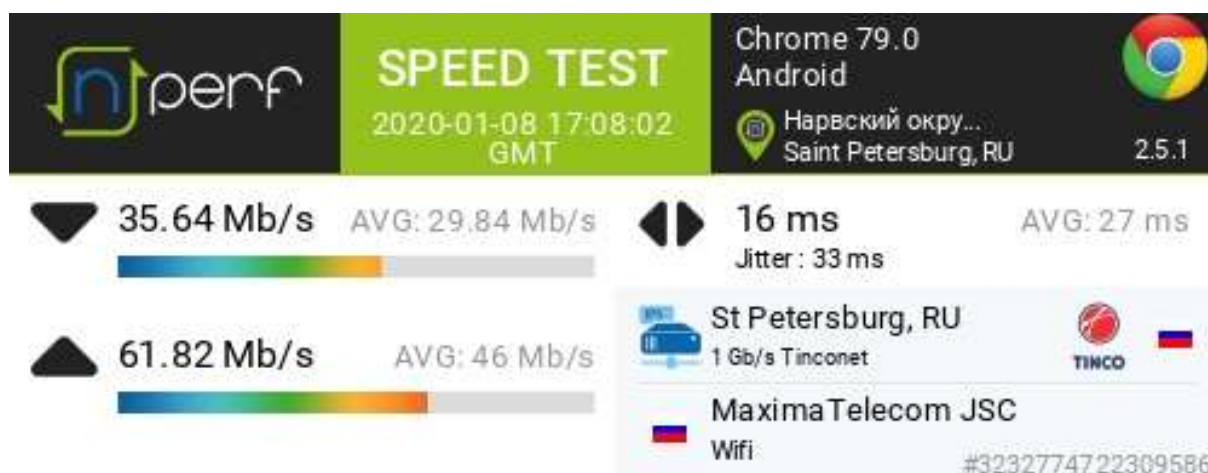


Рис. 5. Результат тестирования с помощью сервиса nperf.com

### Результаты онлайн-опроса

Чтобы узнать, насколько востребована сеть MT\_FREE в Петербургском метрополитене, а также получить оценку удовлетворенности пользователей, среди студентов СПбГУТ был проведен онлайн-опрос<sup>5</sup>. За полтора месяца в опросе приняло участие 150 человек, из которых 75 % (113 человек) пользуется Wi-Fi в метро. Абсолютно все опрошенные студенты подключаются к беспроводной сети с помощью смартфонов. 91 человек пользуется бесплатным доступом в Интернет с просмотром рекламы, 13 подключаются с помощью специальных приложений для блокировки рекламы, 8 используют услугу платного отключения рекламы и только 1 пользуется тарифом «Wi-Fi в метро без рекламы» своего сотового оператора (рис. 6). При этом 77 человек пользуется Wi-Fi каждую свою поездку в метро, 24 делают это периодически и 12 человек подключается редко (рис. 7).

Как Вы подключаетесь к Wi-Fi в метро?

113 ответов

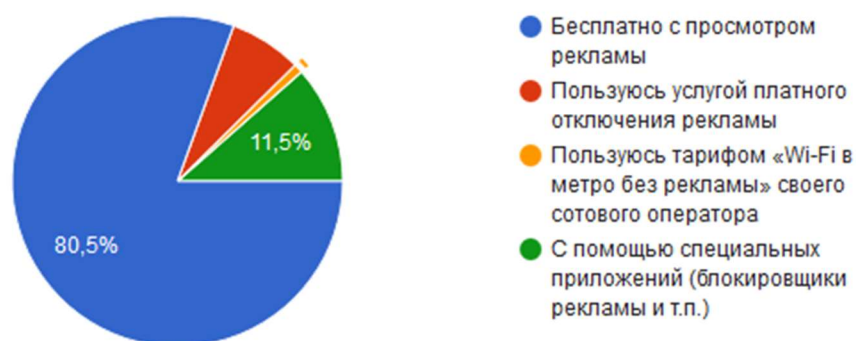


Рис. 6. Вопрос анкеты: Как Вы подключаетесь к Wi-Fi в метро?

<sup>5</sup> Как Вы оцениваете работу Wi-Fi (MT\_FREE) в метро? [Электронный ресурс]. URL: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScGvCVuQZg0hNwtralMp98-uuQI4q8XB77CSMNCqfuTS\\_GIng/viewanalytics](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScGvCVuQZg0hNwtralMp98-uuQI4q8XB77CSMNCqfuTS_GIng/viewanalytics) (дата обращения: 31.07.2020).

### Как часто Вы пользуетесь Wi-Fi в метро?

113 ответов



Рис. 7. Вопрос анкеты: Как часто Вы пользуетесь Wi-Fi в метро?

На рис. 8 представлена статистика использования ресурсов сети Интернет, среди которых лидируют социальные сети, мессенджеры и веб-сайты. Далее идут видеохостинги (YouTube и т. п.) и электронная почта. Все эти сервисы не столь критичны к пропускной способности и задержке, как VoIP или онлайн-игры.

### Какими ресурсами в основном пользуетесь, подключившись к Wi-Fi в метро?

113 ответов

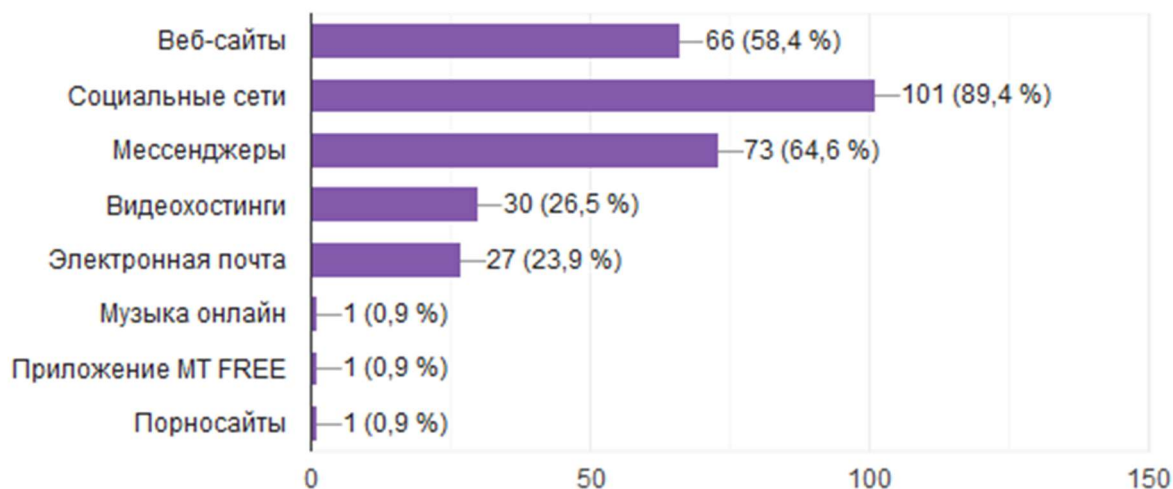


Рис. 8. Вопрос анкеты: Какими ресурсами в основном пользуетесь, подключившись к Wi-Fi в метро?

Среди тех, кто пользуется Wi-Fi в метро, большинство недовольны разрывами соединения при переходе с одной станции на другую, обилием рекламы и сложностями с подключением. Также примерно треть пользователей (39 человек) справедливо опасается за конфиденциальность передаваемых данных (напомним, что шифрование трафика в Петербургском метро пока не реализовано). На низкую скорость пожаловалось 14 человек (рис. 9).



### Что не устраивает в работе Wi-Fi в метро?

113 ответов

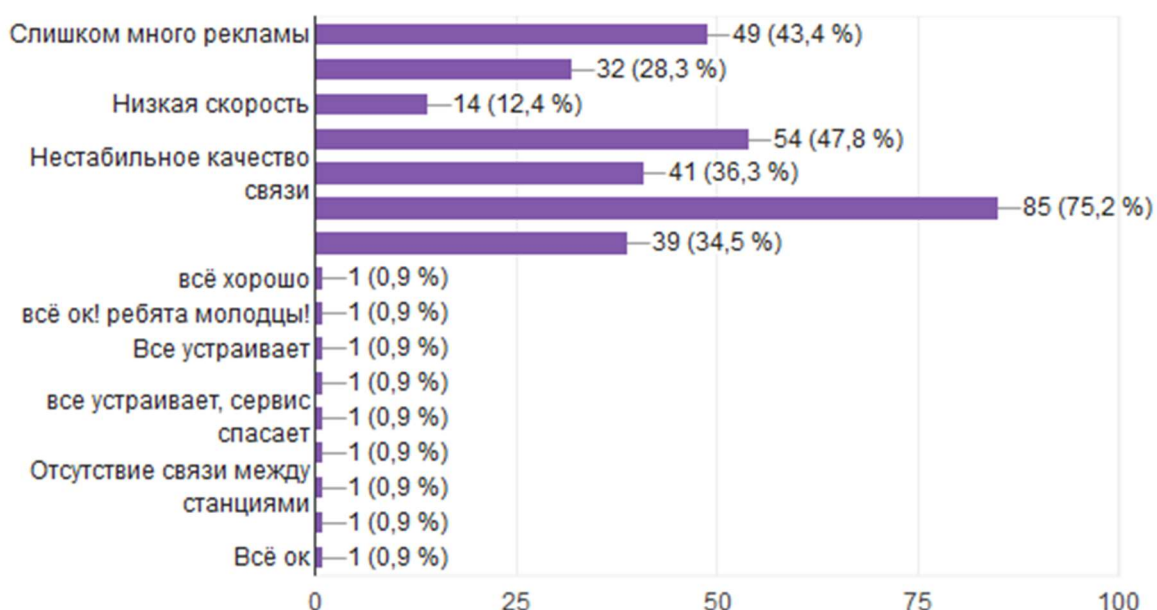


Рис. 9. Вопрос анкеты: Что не устраивает в работе Wi-Fi в метро?

По мнению постоянных пользователей, работа сети Wi-Fi в метро по 5-балльной шкале удостоилась среднего балла 3,6 (рис. 10). Как было отмечено в [3], компания «МаксимаТелеком» теряет часть аудитории, так как сеть Wi-Fi хорошо работает в тоннелях, но зачастую не охватывает вестибюли, переходы и эскалаторы. В [4] авторы также указывают на неудовлетворительную работу Wi-Fi на станциях и переходах метрополитена. Основной причиной здесь является неудачное расположение ТД.

### Как Вы оцениваете работу Wi-Fi в метро?

113 ответов

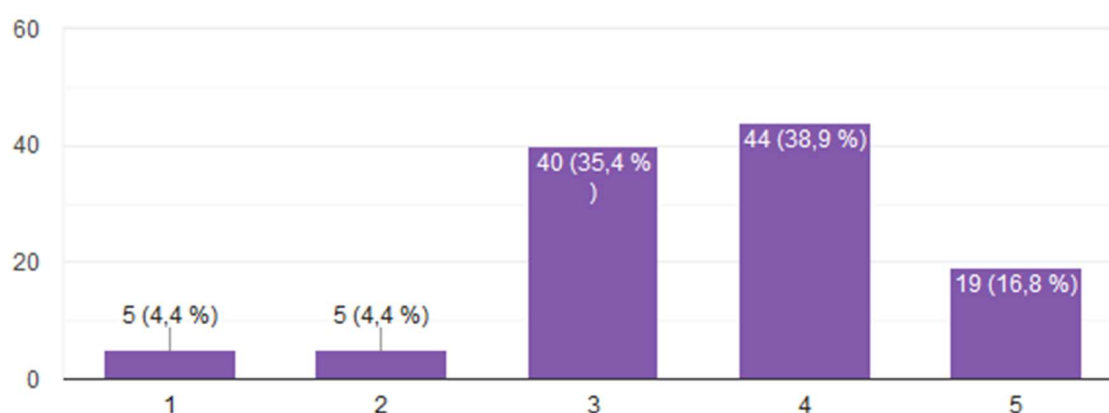


Рис. 10. Вопрос анкеты: Как вы оцениваете работу Wi-Fi в метро?

В ходе проведения экспериментов была составлена карта Петербургского метрополитена с нанесенной на нее информацией о размещении ТД на платформах (рис. 11). В настоящее время воспользоваться услугами бесплатного доступа в Интернет можно лишь на территории 62 станций из 72 имеющихся. На платформах десяти станций (отмечены желтым) ТД расположены не самым лучшим образом, из-за чего к ним происходит не так много подключений. На платформах еще семи станций (отмечены красным) работающие ТД и вовсе «спрятаны» от посетителей метрополитена. Порой это может быть оправданно огромным пассажиропотоком, как, например, на станциях метро «Невский проспект» и «Гостинный двор», но в остальных случаях такое расположение представляется нерациональным.



Рис. 11. Размещение ТД на платформах станций

Жалобы на низкую скорость передачи данных могут быть связаны с большим числом активных пользователей Wi-Fi, подключившихся к ТД внутри вагона. В час пик в вагоне метро может помещаться примерно 259 человек<sup>6</sup>, при этом около 20 % пассажиров пользуются услугами сети MT\_FREE<sup>7</sup>. Таким образом, на одну двухдиапазонную ТД в вагоне приходится примерно 52 активных пользователя. Данный расчет хорошо согласуется с информацией о том, что во всем поезде обычно имеется 200–300 активных пользователей [2]. При 6 вагонах в составе это дает те же 50 пользователей на одну ТД. ТД корпоративного класса обычно в состоянии обслужить до 30 пользователей в каждом диапазоне<sup>8</sup>. Если у механизма Band Steering, используемого в сети MT\_FREE, получится поровну разделить пользователей между диапазонами 2,4 и 5 ГГц, то на один радиомодуль ТД придется 26 клиентских устройств. Как следует из рис. 1, это удастся не всегда, что в определенных ситуациях может приводить к перегрузке сети и ухудшению качества обслуживания пассажиров.

### Заключение

Подводя итог, отметим, что построенная компанией «МаксимаТелеком» сеть бесплатного Wi-Fi неплохо справляется с обслуживанием пассажиров Петербургского метрополитена. При этом скорость загрузки в период вечернего часа пик порой может снижаться до 1,8 Мбит/с, чего, впрочем, вполне достаточно для просмотра веб-сайтов и социальных сетей. Однако большую часть времени стоит рассчитывать на значения порядка 10–15 Мбит/с и выше, при которых можно комфортно смотреть видео в разрешении 1280x720 или 1920x1080 пикселей. Среднее значение задержки для большинства пакетов составляет 18 мс, но, учитывая ее непредсказуемость, работа приложений, чувствительных к задержкам, может оказаться нестабильной. Коэффициент повторных передач, в условиях загрузки сети TCP-трафиком, редко превышал 10 % от общего числа передаваемых пакетов. На платформах ТД не всегда расположены удачным образом, из-за чего подключения к ним происходят довольно редко, а радиопокрытие платформ оставляет желать лучшего.

### Литература

1. Анисимов Д. Г., Дунайцев Р. А. Исследование работы Wi-Fi в метро Санкт-Петербурга // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 4-х т. СПб.: СПбГУТ, 2020. Т. 1. С. 89-93.
2. Титаренко Е. Отличия Москвы и Петербурга [Электронный ресурс]: Новости цифровой трансформации, телекоммуникаций, вещания и ИТ: ComNews. 2017. URL: <https://comnews.ru/news/2017/05/14/otlichija-moskvy-i-peterburga/>

<sup>6</sup> Сколько человек помещается в вагоне метро в час пик? // Форум Москвы: сайт. 2020. URL: <http://mosfo.ru/o-moskve/skolko-chelovek-pomeshchaetsya-v-vagone-metro-v-chas-pik> (дата обращения: 31.07.2020).

<sup>7</sup> Бесплатным Wi-Fi в метро Петербурга пользуется каждый пятый мобильный абонент [Электронный ресурс]. 2018. URL: <https://topspb.tv/news/2018/05/14/besplatnym-wi-fi-v-metro-peterburga-polzuetsya-kazhdyy-pyatyy-mobilnyj-abonent/> (дата обращения: 31.07.2020).

<sup>8</sup> How many clients support access points 1602, 2602, 3602? [Электронный ресурс]: Сообщество Cisco: сайт. 2013. URL: <https://community.cisco.com/t5/wireless-and-mobility/how-many-clients-support-access-points-1602-2602-3602/td-p/2269067> (дата обращения: 31.07.2020).

[www.comnews.ru/content/107393/2017-06-22/mihail-minkovskiy-zamestitel-generalnogo-direktora-tehnicheskij-direktora-ao-maksimatelekom](http://www.comnews.ru/content/107393/2017-06-22/mihail-minkovskiy-zamestitel-generalnogo-direktora-tehnicheskij-direktora-ao-maksimatelekom) (дата обращения: 31.07.2020).

3. Журавлева Ж. В петербургском метро Wi-Fi оказался не столь популярен, как у москвичей // DP.RU: сетевое издание. 2018. URL: [https://www.dp.ru/a/2018/05/11/V\\_peterburgskom\\_metro\\_Wi-](https://www.dp.ru/a/2018/05/11/V_peterburgskom_metro_Wi-) (дата обращения: 31.07.2020).

4. Послянова А. Wi-Fi в метро Петербурга: ловит хорошо, но не везде // Комсомольская правда: сетевое издание (сайт). URL: <https://www.spb.kp.ru/daily/26767/3799969/> (дата обращения: 31.07.2020).

## References

1. Anisimov D., Dunaytsev R. A Study of Wi-Fi Performance in the St. Petersburg Metro // IX International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference «Actual Problems of Infotelecommunications in Science and Education». St. Petersburg: SPbSUT, 2020. pp. 89–93 (in Russian).

2. Titarenko, E. Otlichiya Moskvy i Peterburga [Electronic resource]: Novosti cifrovoj transformacii, telekommunikacij, veshchaniya i IT: ComNews. 2017. URL: <https://www.comnews.ru/content/107393/2017-06-22/mihail-minkovskiy-zamestitel-generalnogo-direktora-tehnicheskij-direktora-ao-maksimatelekom> (in Russian).

3. Zhuravleva, Zh. V peterburgskom metro Wi-Fi okazalsya ne stol' populyaren, kak u moskvichej // DP.RU: setevoe izdanie. URL: [https://www.dp.ru/a/2018/05/11/V\\_peterburgskom\\_metro\\_Wi-](https://www.dp.ru/a/2018/05/11/V_peterburgskom_metro_Wi-) (in Russian).

4. Poslyanova, A. Wi-Fi v metro Peterburga: lovit horosho, no ne vezde // Komsomol'skaya pravda: setevoe izdanie (sajt). URL: <https://www.spb.kp.ru/daily/26767/3799969/> (in Russian).

**Анисимов Даниил Густавович** – магистрант кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [anisimovdd@outlook.com](mailto:anisimovdd@outlook.com)

**Anisimov Daniil** – Undergraduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [anisimovdd@outlook.com](mailto:anisimovdd@outlook.com)

**Дунайцев Роман Альбертович** – PhD, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, [roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto:roman.dunaytsev@spbgut.ru)

**Dunaytsev Roman** – PhD, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, [roman.dunaytsev@spbgut.ru](mailto:roman.dunaytsev@spbgut.ru)