ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ WI-FI В СТУДЕНЧЕСКИХ ОБЩЕЖИТИЯХ В СВЕТЕ ПАНДЕМИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

А. Д. Антоненко, 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

Аннотация—Высокоскоростной доступ к информационным ресурсам сети Интернет необходим студентам не только на территории вуза, но и в общежитиях. Особенно остро это стало ощущаться во время пандемии COVID-19 с вынужденной самоизоляцией и дистанционным обучением. **Предмет исследования.** В статье представлены результаты комплексного исследования работы сетей Wi-Fi на территории общежитий СПбГУТ. **Метод.** В работе использовались следующие методы эмпирического исследования: измерение, эксперимент и опрос. **Основные результаты.** Первая часть исследования посвящена результатам онлайн-опроса, проведенного среди студентов СПбГУТ, относительно использования технологии Wi-Fi в общежитиях. Во второй части исследования приводятся результаты тестирования пропускной способности проводного и беспроводного каналов в одной из комнат общежития «Рыбацкое». **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы при выполнении работ по построению сетей Wi-Fi на территории общежитий и подключению их к сети Интернет.

Ключевые слова—Wi-Fi, общежитие, точка доступа.

Информация о статье

УДК 004.732

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 09.03.2021, принята к печати 24.03.2021.

Ссылка для цитирования: Антоненко А. Д., Дунайцев Р. А. Исследование работы WI-FI в студенческих общежитиях в свете пандемии и дистанционного обучения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 1. С. 13–25. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-1-13-25.

A STUDY OF WI-FI PERFORMANCE IN STUDENT DORMITORIES IN THE LIGHT OF A PANDEMIC AND DISTANCE LEARNING

A. Antonenko, R. Dunaytsev*

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

*Corresponding author: roman.dunaytsev@spbgut.ru

Abstract—High-speed access to information resources and services via the Internet is necessary for students not only at the university, but in dormitories as well. This became especially important during the COVID-19 pandemic with forced self-isolation and distance learning. **Research subject.** In this paper, we present the results of a performance evaluation study of Wi-Fi networks in SUT dormitories. **Method.** To achieve this goal, the following methods of empirical research were used: measurement, experiment, and survey. **Core results.** The first part of the study is devoted to the results of an online survey conducted among SUT students regarding the use of Wi-Fi in dormitories. In the second part of the study, experimental data on measuring the throughput of wired and wireless channels in one of the rooms of SUT dormitory "Rybatskoye" are presented. **Practical relevance.** The obtained results can be used for designing Wi-Fi network in student dormitories and connecting them to the Internet.

Keywords—Wi-Fi, dormitory, access point.

Article info

Article in Russian.

Received 09.03.2021, accepted 24.03.2021.

For citation: Antonenko A., Dunaytsev R.: A study of WI-FI performance in student dormitories in the light of a pandemic and distance learning // Telecom IT. 2021. Vol. 9. Iss. 1. pp. 13–25 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-1-13-25.

Введение

Высокоскоростной доступ к ресурсам и сервисам глобальной сети Интернет стал неотъемлемым элементом жизни современного общества. Не стали здесь исключением и студенты, для которых Интернет – это не только способ проведения досуга, но и бесценный кладёзь учебной и научной информации. Поэтому возможность подключения к сети Интернет необходима не только на территории вуза, но и в студенческих общежитиях. Причем в общежитиях доступ в Интернет даже нужнее, чем в учебных корпусах. Об этом говорил Дмитрий Медведев на совещании по социальному положению студентов еще в 2011 году: «Идея создать какую-то программу для того, чтобы во всех высших учебных заведениях был качественный, быстрый интернет с Wi-Fi, мне кажется абсолютно правильной. Как мы когда-то школами занимались, подключением школ к Интернету, так сейчас для ВУЗов. Да и для школ, конечно, тоже, но в школах все-таки это, может быть, в старших классах необходимо, а для высших учебных заведений Wi-Fi, конечно, необходим 24 часа в сутки на территории университета везде: и в учебных аудиториях, и в общежитиях. Это то, что может стать большой государственной программой. Надо подумать только, каким образом это делать, за счет каких средств, в каком порядке...»¹. В Москве проект бесплатного беспроводного доступа в Интернет был запущен в 2012 году. Сперва бесплатный Wi-Fi стал появляться в парках и пешеходных зонах города, потом в наземном транспорте и метро, а с 2013 года столичный департамент информационных технологий совместно с московскими ВУЗами приступил к организации бесплатного беспроводного доступа по технологии Wi-Fi и в студенческих общежитиях². Сегодня по количеству точек доступа (ТД) Москва занимает второе место в мире, и если раньше доступ в Интернет студентам предлагали полулегальные конторы с бесконтрольным завышением цен³, то теперь бесплатные сети Wi-Fi функционируют в студенческих общежитиях десятков столичных вузов⁴. Схожий проект с бесплатным беспроводным доступом в Интернет по технологии Wi-Fi реализуется сейчас в Казани^{5, 6}. Однако в других городах ситуация не столь радужная, так как не определены источники финансирования подобных проектов. В результате в большинстве студенческих общежитий по-прежнему используются проводные сети Ethernet, когда на нескольких проживающих в одной комнате приходится всего одна розетка RJ-45. Так как в среднем у каждого студента имеется два и более

¹ Совещание по социальному положению студентов [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/12672> (дата обращения: 07.03.2021).

² Студенческие общежития Москвы перешли к тестированию Wi-Fi [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/studencheskie_obshchezhitija_moskvy_pereshli (дата обращения: 07.03.2021).

³ Во всех общежитиях столичных вузов появится бесплатный Wi-Fi [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/news/533461> (дата обращения: 07.03.2021).

⁴ Wi-Fi, умный город и интернет вещей: онлайн-технологии для столицы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mos.ru/news/item/21107073/> (дата обращения: 07.03.2021).

⁵ В Москве появится крупнейшая образовательная Wi-Fi-сеть [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosbalt.ru/moscow/2017/03/13/1598052.html> (дата обращения: 07.03.2021).

⁶ Точки доступа Wi-Fi Таттелеком по всей Республике [Электронный ресурс]. URL: <https://tattelecom.ru/wifi/street> (дата обращения: 07.03.2021).

устройств с выходом в Интернет⁷, для реализации возможности одновременного доступа студенты сами покупают и устанавливают Wi-Fi роутеры (далее ТД). Как следствие на территории общежития функционирует множество сетей Wi-Fi, каждая из которых состоит из одной ТД и нескольких клиентских устройств, использующих ее для выхода в Интернет. К сожалению, очень часто при настройке ТД в своих комнатах студенты не задумываются об особенностях беспроводной среды передачи и тонкостях радиочастотного планирования. Во время пандемии COVID-19 с вынужденной самоизоляцией и переходом на дистанционное обучение потребность в высокоскоростном доступе значительно возросла, что еще больше обострило имевшиеся в общежитиях проблемы с работой инфокоммуникационных сетей и систем^{8, 9, 10}.

В [1, 2] ранее было выполнено исследование характеристик сетей Wi-Fi в студенческих общежитиях «Рыбацкое» и «Лесное», принадлежащих СПбГУТ. Для этого с помощью специализированного программного обеспечения было проведено радиообследование указанных общежитий, в ходе которого были собраны данные по числу установленных проживающими ТД, используемые этими ТД частотные каналы и диапазоны, а также методы шифрования и версии стандарта IEEE 802.11. В данной работе приведены результаты онлайн-опроса студентов относительно использования ими технологии Wi-Fi, а также выполнено тестирование пропускной способности проводного и беспроводного каналов в одной из комнат общежития «Рыбацкое».

Результаты радиообследования общежитий СПбГУТ

В зависимости от планировки общежития бывают квартирного, блочного и коридорного типа. В общежитиях коридорного типа все комнаты располагаются вдоль коридора по обеим его сторонам, на этаже обычно имеется общая кухня и санузел. В общежитиях блочного типа комнаты объединяются в блоки, каждый из которых оснащен отдельным санузлом, а иногда и кухней. Общежития квартирного типа представляют собой, по сути, многоквартирные дома с одно- или многокомнатными квартирами. Кухня может быть либо в каждой квартире, либо же общей на целый этаж.

Рассмотренные в [1, 2] общежития относятся к двум разным типам: квартирному и коридорному. «Рыбацкое» – это шестнадцатиэтажное общежитие квартирного типа, на каждом этаже которого располагаются двух- и трехкомнатные квартиры с отдельным санузлом и общим тамбуром в каждой. «Лесное» –

⁷ Объем Wi-Fi-трафика в московских общежитиях составил 3,5 ПБ за полгода [Электронный ресурс]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2016-08-02_obem_wifitrafika_v_moskovskih_obshchezhitayah_sostavil (дата обращения: 07.03.2021).

⁸ В КГУ возникли проблемы с дистанционным обучением. В вузе винят фанатов сериалов [Электронный ресурс]. URL: <https://ura.news/news/1052458371> (дата обращения: 07.03.2021).

⁹ Нагрузка на Wi-Fi в общежитиях ВШЭ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hse.ru/our/news/366451404.html> (дата обращения: 07.03.2021).

¹⁰ Студенты общежитий БНТУ, где обнаружен коронавирус, получили бесплатный интернет [Электронный ресурс]. URL: <https://reform.by/studenty-obshhezhitij-bntu-gde-obnaruzhen-koronavirus-poluchili-besplatnyj-internet> (дата обращения: 07.03.2021).

это пятиэтажное общежитие коридорного типа с небольшими комнатами и тонкими стенами. В обоих общежитиях в каждой комнате проживает по 2–3 студента, при этом сетевой кабель в комнату заводится только один.

Для анализа характеристик сетей Wi-Fi в студенческих общежитиях использовалась программа Ekahau Site Survey, установленная на ноутбуке, и внешний USB-адаптер. В программу были загружены поэтажные планы зданий, затем планы этажей были выровнены по контрольным точкам, задана высота потолков и толщина перекрытий. Обход общежитий совершался по коридорам этажей, но без посещения жилых помещений. Аналогично [1, 2], в это же время было проведено радиообследование пятнадцатизэтажного общежития «Дальневосточное», относящегося к блочному типу. Результаты всех радиообследований по используемым диапазонам и версиям стандарта IEEE 802.11, а также ширине каналов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

IEEE 802.11	«Рыбацкое»		«Дальневосточное»		«Лесное»	
	2,4 ГГц	5 ГГц	2,4 ГГц	5 ГГц	2,4 ГГц	5 ГГц
b	1	-	0	-	1	-
b, g	48	-	46	-	14	-
b, g, n	275	-	421	-	196	-
a	-	0	-	0	-	0
a, n	-	4	-	0	-	0
a, n, ac	-	5	-	6	-	0
Итого:	324	9	467	6	211	0

Таблица 2.

Ширина канала, МГц	«Рыбацкое»		«Дальневосточное»		«Лесное»	
	Обнаружено ТД	Доля, %	Обнаружено ТД	Доля, %	Обнаружено ТД	Доля, %
20	168	50,5	174	36,8	88	41,7
40	160	48,0	293	61,9	123	58,3
80	5	1,5	6	1,3	0	-
160	0	-	0	-	0	-
Итого:	333	100	473	100	211	100

Согласно данным, представленным в таблице 1, наиболее активно используется диапазон 2,4 ГГц, в то время как в диапазоне 5 ГГц работает всего несколько ТД. Кроме того, из таблицы 2 следует, что более половины ТД используют каналы шириной 40 МГц. Подобное объединение каналов (*channel bonding*) в диапазоне 2,4 ГГц обычно не рекомендуется к использованию (поскольку создает помехи для соседних ТД и их клиентов), однако широко

применяется пользователями при настройке своего оборудования, либо же установлено производителем ТД по умолчанию.

Таким образом, в результате ранее проведенных исследований было выявлено, что студенты в основном используют бюджетные ТД с поддержкой лишь диапазона 2,4 ГГц. При этом принципы территориально-частотного планирования не соблюдаются, и зачастую расположенные рядом ТД используют либо одинаковые каналы (*co-channel overlap*), либо соседние (*adjacent-channel overlap*). В результате этого повсеместно наблюдается как внутриканальная, так и межканальная интерференция^{11, 12}. На рис. 1, 2 и 3 представлена картина использования каналов диапазонов 2,4 и 5 ГГц для среднего этажа в данных общежитиях. Как и следовало ожидать, наблюдается высокая загруженность диапазона 2,4 ГГц.

Учитывая столь высокую степень загруженности диапазона 2,4 ГГц, некоторые студенты начинают «мигрировать» в диапазон 5 ГГц, покупая двухдиапазонные ТД.

Рис. 1. Использование диапазонов 2,4 и 5 ГГц на восьмом этаже в общежитии «Рыбацкое»

¹¹ Why Channels 1, 6 and 11? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metageek.com/training/resources/why-channels-1-6-11.html> (дата обращения: 07.03.2021).

¹² Adjacent and Co-Channel Congestion [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metageek.com/training/resources/adjacent-channel-congestion.html> (дата обращения: 07.03.2021).

Рис. 2. Использование диапазонов 2,4 и 5 ГГц на седьмом этаже в общежитии «Дальневосточное»

Рис. 3. Использование диапазонов 2,4 и 5 ГГц на третьем этаже в общежитии «Лесное»

Результаты онлайн-опроса студентов СПбГУТ

Чтобы узнать, как студенты выбирают и настраивают свое оборудование, а также оценивают качество работы Wi-Fi, был проведен онлайн-опрос в группе ВКонтакте «Подслушано Бонч». За неделю в опросе приняло участие 160 студентов, из которых 64 проживают в общежитиях «Рыбацкое», «Дальневосточное» и «Лесное» (25, 17 и 22, соответственно). Как видно из диаграмм на рис. 4 и 5, студенты активно используют Wi-Fi, но при этом большинство выбирает оборудование, руководствуясь не его техническими характеристиками, а использует имеющееся или приобретает, ориентируясь на низкую цену. Причем около половины опрошенных либо прибегает к услугам сторонних лиц для настройки своих ТД, либо оставляет заводские настройки (см. рис. 6). Как следует из диаграммы на рис. 7, даже обучаясь в университете телекоммуникаций, многие студенты не знакомы с основами радиочастотного планирования сетей Wi-Fi либо просто не уделяют этому должного внимания. Как результат, ряд студентов не доволен качеством беспроводной связи у себя в комнате, но, как ни удивительно, многие даже не пытались сравнивать с качеством проводного соединения (см. рис. 8).

Рис. 4. Вопрос анкеты: Что вы используете у себя в общежитии для подключения к Интернет?

Рис. 5. Вопрос анкеты: Чем вы руководствовались при покупке Wi-Fi роутера?

Рис. 6. Вопрос анкеты: Как вы настраивали свой Wi-Fi роутер?

Рис. 7. Вопрос анкеты: Если ваши соседи уже используют каналы 1, 6 и 11, то какой канал выберете вы?

Рис. 8. Вопрос анкеты: Оцените качество связи при использовании Wi-Fi роутера в сравнении с проводным соединением

Результаты тестирования пропускной способности каналов

Согласно результатам онлайн-опроса, многие студенты все-таки настраивают свои ТД самостоятельно, руководствуясь либо всевозможными инструкциями и советами, найденными в сети Интернет, либо опытным путем выбрав удачную комбинацию настроек (см. рис. 6). При этом часть студентов находит качество связи удовлетворительным или же варьирующимся во времени (рис. 8). Поэтому было решено провести экспериментальную проверку пропускной способности проводного и беспроводного соединений в одной из комнат общежития «Рыбацкое», а также оценить эффект от выбора того или иного канала в диапазоне 2,4 ГГц. Для генерации трафика была выбрана клиент-серверная утилита iPerf, на транспортном уровне использовался протокол TCP, а значения средней скорости фиксировались каждые 10 секунд.

Как уже отмечалось в [1], скорость проводного доступа в Интернет из общежитий подвержена существенным колебаниям. Поэтому для тестирования пропускной способности беспроводного канала в одной из комнат общежития «Рыбацкое» был собран испытательный стенд, состоящий из двух ноутбуков и ТД (рис. 9). В качестве ТД был использован Wi-Fi роутер Thomson TG585v8 с четырьмя портами 10/100 Ethernet и поддержкой IEEE 802.11b/g/n с максимальной скоростью 65 Мбит/с.

Рис. 9. Испытательный стенд без и с использованием беспроводного канала

Чтобы проверить, способна ли выбранная ТД передавать высокоскоростной трафик без каких-либо провалов в скорости, сперва было проведено нагрузочное тестирование, где в течение одного часа передавались данные по протоколу TCP между двумя ноутбуками, подключенными к ТД кабелями категории 5 (рис. 9а). Результат тестирования представлен на рис. 10. Легко видеть, что выбранная ТД вполне справляется с передачей такого трафика, поэтому дальнейшее снижение скорости при использовании беспроводного соединения будет происходить исключительно из-за особенностей технологии Wi-Fi.

Рис. 10. Скорость передачи при проводном подключении ноутбуков к ТД

Далее была измерена скорость передачи данных от ноутбука, использующего проводное соединение с ТД, к ноутбуку, подключенному к ТД через беспроводный канал в диапазоне 2,4 ГГц (рис. 11б). Были протестированы все 13 каналов, разрешенные к использованию в РФ, причем измерения на каждом продолжались в течение 15 минут. Результаты представлены на рис. 11 (см. на след. стр.)

Результаты тестирования позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, на момент проведения измерений скорость доступа в Интернет для проживающих была серьезно ограничена пропускной способностью сети СПбГУТ, к которой подключались общежития, и в среднем составляла 10 Мбит/с на комнату. Средняя скорость передачи данных по беспроводному каналу в указанных общежитиях составляла около 7–8 Мбит/с, что лишь немногим было меньше скорости проводного доступа. Данное наблюдение хорошо согласуется с результатами опроса (см. рис. 8), где часть студентов отметила сопоставимое качество связи при использовании Ethernet или Wi-Fi. При таком соотношении скоростей проводного и беспроводного доступа студентам нет смысла покупать дорогостоящее оборудование, поддерживающее новые версии стандарта IEEE 802.11ac и IEEE 802.11ax, так как полностью реализовать их преимущества не удастся из-за «узкого места» в виде недостаточной пропускной способности сети провайдера. Во-вторых, при отсутствии в общежитии единой беспроводной сети студенты самостоятельно устанавливают ТД, примерно по одной на комнату. Без должного внимания к правилам радиочастотного планирования сетей Wi-Fi это приводит к произвольному использованию каналов, что особенно чревато усилением взаимной интерференции в диапазоне 2,4 ГГц, где имеется всего три «непересекающихся» канала: 1, 6 и 11. При том хаотичном использовании каналов в диапазоне 2,4 ГГц, которое имеет место в студенческих общежитиях с самостоятельной установкой и настройкой ТД, невозможно дать однозначных рекомендаций по выбору номера канала. Например, в проведенном эксперименте наиболее высокую и стабильную скорость показал канал 13.

а) канал 1, сред. 7,2 Мбит/с

б) канал 2, сред. 7,1 Мбит/с

в) канал 3, сред. 7,4 Мбит/с

г) канал 4, сред. 8,8 Мбит/с

д) канал 5, сред. 7,3 Мбит/с

е) канал 6, сред. 7,8 Мбит/с

ж) канал 7, сред. 7,8 Мбит/с

з) канал 8, сред. 7,4 Мбит/с

и) канал 9, сред. 6,9 Мбит/с

к) канал 10, сред. 5,1 Мбит/с

л) канал 11, сред. 7,4 Мбит/с

м) канал 12, сред. 5,1 Мбит/с

н) канал 13, сред. 10,0 Мбит/с

Рис. 11. Скорость передачи данных при беспроводном подключении одного из ноутбуков к ТД

Заключение

Для обеспечения беспрепятственной работы студентов, проживающих в общежитиях, с такими популярными сервисами для дистанционного обучения, как Discord, Google Meet, Zoom и т. п., можно дать следующие рекомендации. Во-первых, необходимо провести модернизацию сети вуза и увеличить ее пропускную способность. Это позволит обеспечить высокую скорость как проводного, так из беспроводного доступа в Интернет на территории общежитий, а также реализовать преимущества современных Wi-Fi роутеров и клиентских устройств (смартфонов, планшетов и ноутбуков). Так смена Интернет-провайдера в 2020 году позволила СПбГУТ обеспечить своих студентов высокоскоростным доступом на время самоизоляции. Теперь средняя скорость передачи данных в общежитии «Рыбацкое» составляет около 50 Мбит/с при проводном подключении и примерно 40–50 Мбит/с при использовании Wi-Fi. Во-вторых, администрации вузов следует рассмотреть возможность построения в общежитиях единой сети Wi-Fi корпоративного класса. Это позволит снизить интерференцию и обеспечить стабильное соединение при работе с сервисами дистанционного обучения и другими приложениями реального времени.

Исследование выполнено в рамках исполнения ПНИ по государственному заданию СПбГУТ на 2021 год.

Литература

1. Дунайцев Р. А., Тампио А. В. Радиообследование общежития «Рыбацкое» СПбГУТ // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2017): Сб. науч. ст. VI Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х т. Санкт-Петербург, 01–02 марта 2017 года / Под ред. С. В. Бачевского. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2017. Т. 2. С. 290–295. ISBN 978-5-89160-149-9.
2. Дунайцев Р. А., Наумичева Д. А. Радиообследование общежития «Лесное» СПбГУТ // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2017): Сб. науч. ст. VI Международной научно-технической и научно-методической конференции. В 4-х т. Санкт-Петербург, 01–02 марта 2017 года / Под ред. С. В. Бачевского. СПб.: Изд-во СПбГУТ, 2017. Т. 2. С. 281–285. ISBN 978-5-89160-149-9.

References

1. Dunaytsev R., Tampio A. A Wireless Site Survey of SUT Dormitory "Rybatskoye" // Aktualnye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii (APINO 2017): Sbornik nauchnyh statej VI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy i nauchno-metodicheskoy konferencii. V 4-h t. Sankt-Peterburg, 01–02 marta 2017 goda / Pod red. S. V. Bachevskogo. SPb.: Izd-vo SPbGUT, 2017. T. 2. pp. 290–295 (in Russian). ISBN 978-5-89160-149-9.
2. Dunaytsev R., Naumicheva D. A Wireless Site Survey of SUT Dormitory "Lesnoye" // Aktualnye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii (APINO 2017): Sbornik nauchnyh statej VI Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy i nauchno-metodicheskoy konferencii. V 4-h t. Sankt-Peterburg, 01–02 marta 2017 goda / Pod red. S. V. Bachevskogo. SPb.: Izd-vo SPbGUT, 2017. T. 2. pp. 281–285 (in Russian). ISBN 978-5-89160-149-9.

Антоненко Анастасия Дмитриевна

магистрант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, glutton02@gmail.com

Antonenko Anastasia D.

Undergraduate, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, glutton02@gmail.com

Дунайцев Роман Альбертович

PhD, кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, roman.dunaytsev@spbqut.ru

Dunaytsev Roman A.

PhD, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, roman.dunaytsev@spbqut.ru