СЕТИ СВЯЗИ С УЛЬТРА МАЛЫМИ ЗАДЕРЖКАМИ И ЦИФРОВОЙ РАЗРЫВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Н. А. Чистова¹, А. С. Бородин², А. Е. Кучерявый^{1*}

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,

Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

²ПАО «Ростелеком», Санкт-Петербург, 191167, Российская Федерация

*Адрес для переписки: akouch@mail.ru

Аннотация—Предмет исследования. Статья посвящена анализу возможностей сетей связи с ультра малыми задержками для сокращения цифрового разрыва между регионами Российской Федерации. **Метод.** Системный и технико-экономический анализ. **Основные результаты.** Определение сетей связи как основы для сокращения цифрового разрыва, установление взаимосвязи Валового Регионального Продукта и доли занятых в сфере информатизации и связи, типизация территорий Российской Федерации по возможностям внедрения услуг сетей связи с ультра малыми задержками. **Практическая значимость.** Результаты статьи могут быть использованы при реализации программы цифровой экономики, научными и проектными организациями при планировании и проектировании сетей связи, а также университетами в учебном процессе.

Ключевые слова—сети связи с ультра малыми задержками, цифровой кластер, валовый региональный продукт, расстояния между населенными пунктами в сельской местности.

Информация о статье

УДК 004.942

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 11.07.2021, принята к печати 28.07.2021.

Ссылка для цитирования: Чистова Н. А., Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Сети связи с ультра малыми задержками и цифровой разрыв в Российской Федерации // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 2. С. 1–20. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-1-20.

ULTRA-LOW LATENCY NETWORKS AND BRIDGING THE DIGITAL DIVIDE BETWEEN RUSSIAN FEDERATION REGIONS

N. Chistova¹, A. Borodin², A. Koucheryavy^{1*}

¹The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

²PJSC "Rostelecom", St. Petersburg, 191167, Russian Federation

*Corresponding author: akouch@mail.ru

Abstract—Research subject. The article is devoted to the analysis of the capabilities of telecommunication networks with ultra low latency to reduce the digital divide between the regions of the Russian Federation. **Method.** Systemic and technical and economic analysis. **Core results.** Determination of communication networks as the basis for reducing the digital divide, establishing the relationship between the Gross Regional Product and the share of employees in the field of informatization and communications, typing of the territories of the Russian Federation according to the possibilities of introducing communication network services with ultra low delays. **Practical relevance.** The results of the article can be used in the implementation of the digital economy program, scientific and design organizations in the planning and design of communication networks, as well as by universities in the educational process.

Keywords—ultra-low latency communication networks, digital cluster, gross regional product, distances between settlements in rural areas.

Article info

Article in Russian.

Received 11.07.2021, accepted 28.07.2021.

For citation: Chistova N., Borodin A., Koucheryavy A.: Ultra-low latency networks and bridging the digital divide between Russian Federation regions // Telecom IT. 2021. Vol. 9. Iss. 2. pp. 1–20 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-1-20.

Введение

Сети связи в настоящее время являются одним из наиболее динамично развивающихся секторов экономики. Сети связи в последние годы развиваются на основе концепции Тактильного Интернета [1, 2, 3] и концепции сетей связи с ультра малыми задержками [4, 5, 6], включившей в себя и концепцию Тактильного Интернета. Требования по значению круговой задержки в таких сетях составляют порядка 1мс, что принципиально изменяет архитектуру сетей связи [7, 8]. Вследствие ограничений по скорости распространения света оказывать услуги пользователям в таких сетях при выполнении требований по качеству обслуживания и качеству восприятия оказывается возможным в круге радиусом 50км, что приводит к децентрализации сети и необходимости создания очень большого числа центров обработки данных, составляющего 6–8 тысяч [9, 10].

Одной из главных задач создания эффективной цифровой экономики является уменьшение цифрового разрыва между различными территориями государства. В работах [11, 12] авторами была высказана идея о том, что децентрализация сети при внедрении сетей связи с ультра малыми задержками может быть эффективным инструментарием для уменьшения цифрового разрыва, поскольку тысячи центров обработки данных для обеспечения функционирования таких сетей потребуют высококвалифицированного персонала, что, естественно, должно привести к росту Валового Регионального Продукта (ВРП) для тех регионов, где такие центры будут развернуты.

В статье проводится анализ ВРП и влияние на его значение доли занятых с высшим образованием, а также доли работников, занятых в области информатизации и связи. Анализ проводится на основе статистических данных государственных органов Российской Федерации для 2018 года, поскольку по ВРП эти данные являются последними из приведенных в статистических сборниках [13, 14, 15].

Децентрализация сети приводит к образованию территориальных образований, в пределах которых возможна организация предоставления услуг сетей связи с ультра малыми задержками. В работах [16, 17] такие образования названы цифровыми агломерациями. Поскольку децентрализация сети проводится на основе использования методов кластеризации, в своих работах мы предложили называть такие образования цифровыми кластерами [18]. Независимо от названия организация цифровых кластеров или агломераций требует анализа расстояний между населенными пунктами для понимания того на каком же уровне поселений потребуется создание центров обработки данных. Такой анализ проведен в статье на основе данных книги [19], одним из авторов которой является один из соавторов статьи.

Анализ взаимосвязи ВРП и доли работников, занятых в области информатизации и связи

В таблице 1 приведены статистические данные из [14, 15], упорядоченные по величине ВРП.

Таблица 1.

ВРП на душу населения в рублях, доля занятых с высшим образованием,
число занятых в области информатизации и связи (тысяч человек)

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Доля занятых с высшим образованием	Число занятых в области информатизации и связи (тыс. человек)
	Сахалинская область	2 407 929,4	30,3	3,7
	Тюменская область	2 370 551,5	36,5	36,9
	Чукотский автономный округ	1 578 496,1	35,4	0,6
1	Москва	1 423 588,6	49,7	364,5
	Магаданская область	1 196 690,1	36,7	2,0
	Республика Саха (Якутия)	1 123 113,8	32,3	10,4
	Республика Коми	796 759,7	27,7	6,6
	Красноярский край	792 980,5	29,4	22,9
	Санкт-Петербург	781 214,3	43,5	97,7
	Камчатский край	750 407,7	-	2,0
	Архангельская область	712 652,7	27,4	7,7
	Мурманская область	642 705,6	31,8	6,4
	Республика Татарстан	633 708,5	35,2	40,3
	Ленинградская область	603 839,7	31,3	8,2
	Иркутская область	580 152,8	28,9	15,5
1	Белгородская область	559 184,2	31,7	10,0
	Московская область	556 413,9	41,4	54,1
	Астраханская область	544 793,4	35,0	7,9
	Томская область	537 512,2	34,8	10,1
	Хабаровский край	536 377,5	37,0	11,6
	Свердловская область	527 158,5	30,5	38,1
	Оренбургская область	507 847,3	28,3	12,7
	Липецкая область	506 054,3	30,8	10,6
	Пермский край	503 818,3	26,0	21,3
	Вологодская область	497 039,6	26,7	8,2
	Самарская область	473 772,3	37,3	34,6
	Кемеровская область	462 495,1	27,4	19,1
	Калининградская область	461 596,7	31,8	7,9
	Калужская область	461 023,2	31,4	7,8
	Республика Карелия	451 436,4	29,0	5,0
	Новосибирская область	448 658,8	34,7	34,9

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Доля занятых с высшим образованием	Число занятых в области информатизации и связи (тыс. человек)
	Ярославская область	443 970,1	31,2	14,9
	Республика Хакасия	438326,0	27,3	3,5
	Приморский край	437 147,4	33,2	17,3
	Новгородская область	434 229,5	25,5	3,7
	Тульская область	428 275,7	30,8	12,9
	Нижегородская область	424 085,8	31,7	32,5
	Челябинская область	422 950,8	32,0	29,4
	Удмуртская Республика	417 899,1	26,3	10,7
	Краснодарский край	416 760,2	26,3	40,9
	Республика Башкортостан	412530,0	28,9	29,1
	Воронежская область	404 838,5	32,9	20,3
	Курская область	385 587,5	35,1	7,9
	Амурская область	378 318,7	31,5	7,8
	Омская область	349 165,7	28,5	17,6
	Еврейская автономная область	346 715,8	23,0	1,1
	Тверская область	345 919,1	25,0	11,0
	Ростовская область	343 408,7	30,5	28,8
	Рязанская область	342 734,4	31,0	9,2
	Волгоградская область	338 860,7	32,4	20,7
	Смоленская область	330 766,0	31,1	6,8
	Тамбовская область	323 618,7	28,1	7,0
2	Владимирская область	321 078,5	27,4	10,0
	Орловская область	310 357,1	36,2	6,2
	Забайкальский край	305 683,1	25,2	8,5
	Пензенская область	302 304,4	30,6	8,3
	Саратовская область	290 611,6	33,8	19,5
	Республика Мордовия	284 010,1	36,9	5,6
	Костромская область	281 568,6	26,0	4,7
	Ульяновская область	279 959,2	31,0	13,1
3	Брянская область	272 742,5	30,5	10,0
	Республика Калмыкия	268 920,1	42,3	1,7
	Республика Марий Эл	260 845,2	28,9	4,6
	Кировская область	260 282,7	26,7	9,2
	Псковская область	259 404,1	26,3	3,7

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Доля занятых с высшим образованием	Число занятых в области информатизации и связи (тыс. человек)
	Ставропольский край	255 726,3	35,7	15,9
	Курганская область	253 573,7	25,7	4,8
	Чувашская Республика	242 634,0	31,1	7,7
	Республика Адыгея	238 773,8	38,0	1,9
	Алтайский край	234 885,9	27,4	19,6
	Республика Алтай	231464,2	32,8	1,4
	Республика Бурятия	229 836,3	36,3	5,6
	Республика Тыва	212 874,5	38,2	1,3
	Республика Крым	204 571,4	34,3	10,9
	Республика Дагестан	203 272,3	35,7	9,5
	Ивановская область	195 994,9	29,3	6,4
	Республика Северная Осетия-Алания	185 641,3	44,0	3,9
	Севастополь	180 148,3	43,0	15,9
	Кабардино-Балкарская Республика	168 192,1	32,9	3,5
	Карачаево-Черкесская Республика	165 358,9	43,2	2,2
	Чеченская Республика	133 435,8	29,4	5,2
	Республика Ингушетия	112 553,4	34,4	2,4

Не удалось установить взаимосвязь между ВРП и долей занятых с высшим образованием. Тому есть две причины: наличие доминирующего на рынке сектора экономики в ряде регионов и неполная ясность с числом занятых с высшим образованием в отдельных регионах. Вместе с тем, прослеживается достаточно хорошо взаимосвязь между числом занятых в области информатизации и связи и ВРП. Для того, чтобы упорядочить статистику, исключим из рассмотрения регионы с доминирующими на рынке секторами экономики, и будем далее рассматривать число занятых в области информатизации и связи в приведенных единицах на 100 тысяч занятых во всех областях, которое можно получить из [14]. В таблице 2 приведены соответственно значения ВРП на душу населения в рублях и число занятых в области информатизации и связи на 100 тысяч занятых во всех областях деятельности в регионе.

Таблица 2.

ВРП на душу населения в рублях и число занятых в области информатизации и связи на 100 тысяч занятых во всех областях деятельности.

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Число занятых в области информатизации и связи (на 100 тысяч занятых во всех областях деятельности)
1	Москва	1 423 588,6	4,12
	Санкт-Петербург	781 214,3	3,10
	Архангельская область	712 652,7	1,45
	Мурманская область	642 705,6	1,75
	Республика Татарстан	633 708,5	2,07
	Ленинградская область	603 839,7	1,05
	Иркутская область	580 152,8	1,42
1	Белгородская область	559 184,2	1,33
	Московская область	556 413,9	1,60
	Астраханская область	544 793,4	1,68
	Томская область	537 512,2	1,99
	Хабаровский край	536 377,5	1,68
	Свердловская область	527 158,5	1,87
	Оренбургская область	507 847,3	1,38
	Липецкая область	506 054,3	1,87
	Пермский край	503 818,3	1,84
	Вологодская область	497 039,6	1,55
	Самарская область	473 772,3	2,09
	Кемеровская область	462 495,1	1,60
	Калининградская область	461 596,7	1,65
	Калужская область	461 023,2	1,55
	Республика Карелия	451 436,4	1,85
	Новосибирская область	448 658,8	2,63
	Ярославская область	443 970,1	2,39
	Республика Хакасия	438 326,0	1,52
	Приморский край	437 147,4	1,78
	Новгородская область	434 229,5	1,30
	Тульская область	428 275,7	1,80
	Нижегородская область	424 085,8	1,99
	Челябинская область	422 950,8	1,67
	Удмуртская Республика	417 899,1	1,53
	Краснодарский край	416 760,2	1,57

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Число занятых в области информатизации и связи (на 100 тысяч занятых во всех областях деятельности)
	Республика Башкортостан	412 530,0	1,73
	Курская область	385 587,5	1,55
	Амурская область	378 318,7	2,01
	Омская область	349 165,7	1,97
	Еврейская автономная область	346 715,8	1,69
	Тверская область	345 919,1	1,82
	Ростовская область	343 408,7	1,49
	Рязанская область	342 734,4	1,85
	Волгоградская область	338 860,7	1,81
	Смоленская область	330 766,0	1,57
	Тамбовская область	323 618,7	1,50
2	Владимирская область	321 078,5	1,59
	Орловская область	310 357,1	1,97
	Забайкальский край	305 683,1	1,82
	Пензенская область	302 304,4	1,37
	Саратовская область	290 611,6	1,85
	Республика Мордовия	284 010,1	1,47
	Костромская область	281 568,6	1,67
	Ульяновская область	279 959,2	2,29
3	Брянская область	272 742,5	1,91
	Республика Калмыкия	268 920,1	1,57
	Республика Марий Эл	260 845,2	1,63
	Кировская область	260 282,7	1,57
	Псковская область	259 404,1	1,31
	Ставропольский край	255 726,3	1,27
	Курганская область	253 573,7	1,47
	Чувашская Республика	242 634,0	1,49
	Республика Адыгея	238 773,8	1,25
	Алтайский край	234 885,9	1,91
	Республика Алтай	231 464,2	1,69
	Республика Бурятия	229 836,3	1,46
	Республика Тыва	212 874,5	1,26
	Республика Крым	204 571,4	1,30
	Республика Дагестан	203 272,3	0,80
	Ивановская область	195 994,9	1,43

№ п/п	Субъект Российской Федерации	Валовый Региональный Продукт на душу населения (руб.)	Число занятых в области информатизации и связи (на 100 тысяч занятых во всех областях деятельности)
	Республика Северная Осетия - Алания	185 641,3	1,31
	Кабардино-Балкарская Республика	168 192,1	0,94
	Карачаево-Черкесская Республика	1653 58,9	1,26
	Чеченская Республика	133 435,8	1,00
	Республика Ингушетия	112 553,4	1,33

Из таблицы 2 исключена Сахалинская область, в которой почти 60 % работающих заняты в области транспортировки и хранения, оптовой и розничной торговли, строительстве и других видах деятельности. При этом 18 % заняты как раз другими видами деятельности. Тюменская область, включая Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономный округа также не включена в таблицу 2, поскольку более 60 % занято в добыче полезных ископаемых, а также в области транспортировки и хранения, оптовой и розничной торговли, строительстве и других видах деятельности. Исключен из таблицы также и Чукотский автономный округ, в котором почти 70 % заняты добычей полезных ископаемых, деятельностью в области энергетики, а также в области транспортировки и хранения, оптовой и розничной торговли и других видах деятельности. Для Магаданской области 56 % деятельности составляют добыча полезных ископаемых, оптовая и розничная торговля и другие виды деятельности. При этом на другие виды деятельности приходится 22 % занятых от общего числа занятых в регионе. Исходя из этих данных Магаданская область также исключена из таблицы 2.

В Республике Саха (Якутия) 50 % работающих занято в области добычи полезных ископаемых, а также оптовой и розничной торговли, строительстве и других видах деятельности. Поэтому ВРП Республики Саха (Якутия) также нельзя рассматривать как представительный для оценки взаимосвязи ВРП и доли занятых в информатизации и связи. В таблицу также не попали Республика Коми с ориентацией на добычу полезных ископаемых и ее обработку, а также на оптовую и розничную торговлю, транспортировку и хранение и другие виды деятельности, что в сумме составляет почти 60 % от общего числа занятых и Красноярский край, где доминирует обрабатывающая промышленность вкупе с добычей полезных ископаемых и занятыми другими видами деятельности, определяющими в сумме 55 % от числа занятых в целом в крае.

Исключен из таблицы 2 также Камчатский край, поскольку почти 60 % работников занято в области рыболовства и рыбоводства, охоты, сопутствующей обрабатывающей промышленности, оптовой и розничной торговли, а также другими видами деятельности. Число занятых другими, не классифицируемыми в государственных статистических источниках, видами деятельности составляет в Камчатском крае 25 %.

В соответствии с известными правилами винзоризации статистических оценок [20] для получения робастных оценок максимального правдоподобия далее

из рассмотрения исключены также г. Севастополь и Воронежская область, имеющие в несколько раз отличающиеся от других величин крайние значения: максимальное и минимальное соответственно.

Как видим, Валовый Региональный Продукт в существенной степени зависит от числа занятых в области информатизации и связи, что позволяет определить эту область деятельности в обществе как ключевую для сокращения цифрового разрыва между территориями Российской Федерации.

Типизация территорий Российской Федерации по возможностям внедрения услуг сетей связи с ультра малыми задержками

Как уже отмечалось выше, для сетей связи с ультра малыми задержками характерна кластеризация с учетом ограничения по расстоянию, на котором могут оказываться услуги таких сетей с заданными требованиями по качеству обслуживания и качеству восприятия. Проведем далее типизацию территорий Российской Федерации с учетом результатов по среднему расстоянию между сельскими населенными пунктами (СНП) и районными центрами (РЦ), а также между районными и областными центрами (ОЦ) [19].

На рис. 1–14 представлены характеристики этих средних расстояний для всех федеральных округов Российской Федерации.

Рис. 1. Средние расстояния между СНП и РЦ для Центрального федерального округа

Рис. 2. Средние расстояния между РЦ и ОЦ для Центрального федерального округа

Рис. 3. Средние расстояния между СНП и ОЦ для Северо-Западного федерального округа

Рис. 4. Средние расстояния между РЦ и ОЦ для Северо-Западного федерального округа

Рис. 5. Средние расстояния между СНП и ОЦ для Приволжского федерального округа

Рис. 6. Средние расстояния между РЦ и ОЦ для Приволжского федерального округа

Рис. 7. Средние расстояния между СНП и ОЦ для Южного федерального округа

Рис. 8. Средние расстояния между РЦ и ОЦ для Южного федерального округа

Рис. 9. Средние расстояния между СНП и ОЦ для Сибирского федерального округа

Рис. 10. Средние расстояния между РЦ и ОЦ для Сибирского федерального округа

Рис. 11. Средние расстояния между СНП и ОЦ для Уральского федерального округа

Рис. 12. Средние расстояния между РЦ и ОЦ для Уральского федерального округа

Рис. 13. Средние расстояния между СЧТ и ОЦ для Дальневосточного федерального округа

Рис. 14. Средние расстояния между РЦ и ОЦ для Дальневосточного федерального округа

Анализ статистических данных на рис. 1–14 позволяет на основе характеристик расстояний между СНП и РЦ, а также РЦ и ОЦ, выделить три группы федеральных округов, для которых построение сетей связи с ультра малыми задержками будет существенно различаться по структуре сети и размещению центров обработки данных для обеспечения требований по качеству обслуживания и качеству восприятия при предоставлении услуг таких сетей.

В первую группу входят Центральный федеральный округ, Приволжский федеральный округ и Южный федеральный округ. Для этих федеральных округов средние расстояния между СНП и РЦ не превосходят соответственно 16,5, 23,0 и 25,0 км. Даже с учетом поправок на трассы прокладки волоконно-оптических кабелей при размещении ЦОД в районных центрах возможно практически повсеместное предоставление услуг Тактильного ИНТЕРНЕТА и подобных ему, которые требуют круговой задержки в 1 мс. Кроме того, для этой группы федеральных округов средние расстояния между РЦ и ОЦ не превосходят 95,7 км для Центрального федерального округа, 132,2 км для Приволжского федерального округа и 114,4 км для Южного федерального округа. Это, в свою очередь, позволяет утверждать, что при размещении ЦОД в областных центрах возможно практически повсеместное предоставление услуг дополненной реальности и им подобных, которые требуют круговой задержки в 5 мс. При этом могут быть учтены и дополнительные ограничения по расстояниям, вызванные трассами прокладки волоконно-оптических кабелей.

Во вторую группу федеральных округов входят Северо-Западный федеральный округ и Сибирский федеральный округ. Для этих округов максимальные значения средних расстояний между СНП и РЦ составляют соответственно 61,4

и 49,6 км, что не позволяет говорить о повсеместной возможности предоставления услуг Тактильного Интернета при установке ЦОД в районных центрах. В ряде случаев будет необходимо применять нетиповые решения для обеспечения требований по качеству обслуживания и качеству восприятия.

В тоже время, для Северо-Западного федерального округа максимальное среднее расстояние между РЦ и ОЦ составляет 252,9 км, а для Сибирского федерального округа – 284,9 км. Поэтому, целесообразным оказывается предоставление услуг дополненной реальности и иных услуг, которые требуют круговой задержки в 5 мс, на ЦОД районных центров.

В третью группу входят Уральский федеральный округ и Дальневосточный федеральный округ. Для этих округов максимальные средние расстояния между СНП и РЦ составляют 108 и 101 км соответственно, что делает возможным предоставление услуг дополненной реальности и им подобных на уровне ЦОД районных центров. Что же касается предоставления услуг Тактильного Интернета и ему подобных с задержкой в 1 мс, по всей видимости, необходимо сегментировать ряд территорий районных центров в этих округах и устанавливать несколько ЦОД в их пределах для достижения выполнения требований по качеству обслуживания и качеству восприятия. Это же относится и к территориям областных центров, для которых максимальные средние расстояния между РЦ и ОЦ составляют 350,0 км для Уральского федерального округа и 581,3 км для Дальневосточного федерального округа.

Выводы

1. На основании статистического анализа предложено в качестве меры цифрового разрыва между территориями Российской Федерации использовать число занятых в области информатизации и связи на 100 тысяч занятых во всех областях деятельности.

2. На основании данных о средних расстояниях между сельскими населенными пунктами и районными центрами, а также районными и областными центрами Российской Федерации, проведена типизация федеральных округов по способам построения сетей связи с ультра малыми задержками и возможностям по оказанию услуг этих сетей.

Литература

1. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
2. Кучерявый А. Е., Выборнова А. И. Тактильный Интернет // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. АПИНО-2016. V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. в 3-х т. СПб.: СПбГУТ, 2016. Т. 1. С. 6–11.
3. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Маколкина М. А., Выборнова А. И., Пирмагомедов Р. Я. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1–14.
4. Кучерявый А. Е. Сети связи с ультра малыми задержками // Труды НИИР. 2019. № 1. С. 69–74.
5. Popovski P. and all. Wireless Access for Ultra-Reliable Low Latency Communications // IEEE Network. V. 32, Iss. 2. March-April 2018. pp. 16–23.

6. Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Borodin A., Koucheryavy A. Future Networks 2030: Architecture and Requirements // The 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT). November 2018, Moscow. Proceedings, 2018.

7. Ateya A. A., Vybornova A., Kirichek R., Koucheryavy A. Multilevel cloud based Tactile Internet system // In Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Pongpyeong, Korea, 19–22 February 2017. pp. 105–110.

8. Атея А. А., Выборнова А. И., Кучерявый А. Е. Многоуровневая облачная архитектура для услуг Тактильного Интернета // Электросвязь. 2017. № 2. С. 26–30.

9. Кучерявый А. Е., Бородин А. С., Киричек Р. В. Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56.

10. Чистова Н. А., Кучерявый А. Е. Анализ технико-экономических последствий внедрения сетей связи с ультрамалыми задержками // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 4. С. 53–60.

11. Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики // Электросвязь. 2017. № 5. С. 45–49.

12. Koucheryavy A., Borodin A., Chistova N. Evolution of 5G Networks towards Decentralized Network Structure // BRICS Forum on Networks Innovation, October 29–30, 2020, Shenzhen, China. MIIT, China Academy of Information and Communications Technology (CAICT).

13. Российский статистический ежегодник. 2020: ст. сб. / под ред. П. В. Малкова и др. М.: Росстат, 2020, 700 с. ISBN 978-5-89476-497-9.

14. Регионы России: социально-экономические показатели. 2020: стат. сб. / под ред. С. М. Складникова и др. М.: Росстат, 2020. 1242 с. ISBN 978-5-89476-502-0.

15. Труд и занятость в России. 2019: стат. сб. / под ред. К. Э. Лайкама и др. М.: Росстат, 2019. 135 с.

16. Блануца В. И. Цифровое агломерирование городских поселений Сибири по сверхмалым задержкам в сетях электросвязи // Географический вестник. 2019. № 1 (48). С. 5–14. doi: 10.17072/2079-7877-2019-1-5-14.

17. Блануца В. И. Территориальная структура цифровой экономики России: предварительная делимитация “умных” городских агломераций и регионов // Пространственная экономика. 2018. № 2. С. 17–35. doi: 10.14530/se.2018.2.017-035.

18. Чистова Н. А., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Метод формирования цифровых кластеров сетей пятого и последующих поколений на основе качества предоставления услуг // Электросвязь. 2020. № 7. С. 22–28. doi: 10.34832/ELSV.2020.8.7.003.

19. Кучерявый А. Е., Цуприков А. Л. Сети связи следующего поколения. М.: ЦНИИС, 2006. 274 с.

20. Хампель Ф., Рончетти Э. Робастность в статистике. Подход на основе функций влияния. М.: Мир, 1989. 512 с.

References

1. Koucheryavy A. E., Makolkina M. A., Kirichek R. V. Tactile internet. Ultra-low latency networks // Electrosvyaz. 2016. No. 1. pp. 44–46 (in Russian).

2. Koucheryavy A., Vybornova A. Tactile Internet // Aktual'nye problemy infotelekkommunikacij v nauke i obrazovanii. ICAIT-2016. V Mezhduna-rodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferenciya: sb. nauch. st. v 3-h t. SPb.: SPbGUT. Vol. 1. pp. 6–11 (in Russian).

3. Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R., Makolkina M., Paramonov A., Vybornova A., Pirmagomedov R. The prospects for research in the field of communications networks on the 2017–2020 years // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 3. pp. 1–14 (in Russian).

4. Koucheryavy A. Network delay communications networks // Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta radio. 2019. No. 1. pp. 69–74 (in Russian).

5. Popovski P. and all. Wireless Access for Ultra-Reliable Low Latency Communications // IEEE Network. V. 32, Iss. 2. pp. 16–23. March–April 2018

6. Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Borodin A., Koucheryavy A. Future Networks 2030: Architecture and Requirements // The 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT), November 2018, Moscow. Proceedings, 2018.

7. Ateya A. A., Vybornova A., Kirichek R., Koucheryavy A. Multilevel cloud based Tactile Internet system // In Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Pongpyeong, Korea, 19–22 February 2017. pp. 105–110.
8. Ateya A. A., Vybornova A. I., Koucheryavy A. Eu. Multilevel cloud architecture for tactile internet applications // *Electrosvyaz*. 2017. No. 2. pp. 26–30 (in Russian).
9. Koucheryavy A. Eu., Borodin A. S., Kirichek R. V. Network 2030 // *Electrosvyaz*. 2018. No. 11. pp. 52–56 (in Russian).
10. Chistova N., Koucheryavy A.: Analysis of the technical and economic consequences of the implementation of the telecommunication networks with ultra-low latency // *Telecom IT*. 2018. Vol. 6. Iss. 4. pp. 53–60 (in Russian).
11. Borodin A. S., Koucheryavy A. E. Fifth generation networks as a base to the digital economy // *Electrosvyaz*. 2017. No. 5. pp. 45–49 (in Russian).
12. Koucheryavy A., Borodin A., Chistova N. Evolution of 5G Networks towards Decentralized Network Structure // BRICS Forum on Networks Innovation, October 29–30, 2020, Shenzhen, China. MIIT, China Academy of Information and Communications Technology (CAICT).
13. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik. 2020: st. sb. / pod red. P. V. Malkova i dr. M.: Rosstat, 2020, 700 s. ISBN 978-5-89476-497-9 (in Russian).
14. Regiony Rossii: social'no-ekonomicheskie pokazateli. 2020: stat. sb. / pod red. S. M. Skladnikova i dr. M.: Rosstat, 2020. 1242 s. ISBN 978-5-89476-502-0 (in Russian).
15. Trud i zanyatost' v Rossii. 2019: stat. sb. / pod red. K. E. Lajkama i dr. M.: Rosstat, 2019. 135 s. (in Russian).
16. Blanutsa Viktor I. Digital agglomerations of Siberian urban settlements on ultra-low latency in telecommunication networks // *Geographical bulletin*. 2019. No. 1 (48). pp. 5–14 (in Russian).
17. Blanutsa V. I. Territorial structure of digital economy of Russia: preliminary delimitation of 'smart' urban agglomerations and regions // *Spatial economics*. 2018. No. 2. pp. 17–35 (in Russian). doi: 10.14530/se.2018.2.017-035.
18. Chistova N. A., Paramonov A. I., Koucheryavy A. E. The method of forming the digital clusters for communication networks of fifth and subsequent generations based on QOS // *Electrosvyaz*. 2020. No. 7. pp. 22–28 (in Russian). doi: 10.34832/ELSV.2020.8.7.003.
19. Kucheryavyj A. E., Cuprikov A. L. Seti svyazi sleduyushchego pokoleniya. M.: CNIIS, 2006. 274 s. (in Russian).
20. Hampel' F., Ronchetti E. Robastnost' v statistike. Podhod na osnove funkciy vliyaniya. M.: Mir, 1989. 512 s. (in Russian).

Чистова Наталья Александровна

аспирантка Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, chistova.na@spbqut.ru

Chistova Natalia A.

Postgraduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
chistova.na@spbqut.ru

Бородин Алексей Сергеевич

кандидат технических наук, представитель
ПАО «Ростелеком» в МСЭ, borodin.msk@mail.ru

Borodin Alexey S.

Candidate of engineering sciences, representative
of PJSC "Rostelecom" in ITU, borodin.msk@mail.ru

Кучерявый Андрей Евгеньевич

доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, akouch@mail.ru

Koucheryavy Andrey E.

Doctor of engineering sciences, full professor, head
of the department, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
akouch@mail.ru