



УДК 323

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2019.30.32>

Стратегия перехода Сибири к новой цифровой экономике: оптимизация оптоволоконной сети¹

В. И. Блануца

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация

Аннотация. Предложено отличать существующую цифровую экономику, связанную с цифровизацией деятельности экономических агентов, от будущей (новой) цифровой экономики, опирающейся на системы искусственного интеллекта. Отмечено, что в России на государственном уровне отсутствуют стратегии развития новой цифровой экономики. При разработке таких стратегий необходимо учитывать задержку сигнала в оптоволоконной сети. Для вычисления задержки сигнала использовалась авторская база данных по российским линиям электросвязи. Показано, что с учетом сверхмалых задержек сигнала Сибирь не будет целостным экономическим образованием, а предстанет в будущем как множество ареалов (групп городов со сверхмалыми задержками) и разделяющих их территорий с более значительными задержками. Приведено распределение ареалов по сибирским регионам и перечислены города, входящие в каждый ареал. Для улучшения ситуации на основе решения оптимизационной задачи рекомендовано проложить две новые оптоволоконные линии. Приведены значения суммарной и средней задержки сигнала между всеми сибирскими городами до и после реализации этих проектов. Результатом предлагаемой оптимизации оптоволоконной сети Сибири станет сокращение средней задержки сигнала между всеми городами на 0,7 миллисекунды.

Ключевые слова: цифровая экономика, волоконно-оптическая линия, задержка сигнала, оптимизация, Сибирский федеральный округ.

Для цитирования: Блануца В. И. Стратегия перехода Сибири к новой цифровой экономике: оптимизация оптоволоконной сети // Известия Иркутского государственного университета. Серия Политология. Религиоведение. 2019. Т. 30. С. 32–39. <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2019.30.32>

Переход России к цифровой экономике (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р) создаст ряд проблем, которые сейчас активно обсуждаются в научном сообществе [7–9]. По мнению автора, главная проблема правительственной программы носит концептуальный характер. Так сложилось, что к настоящему времени не сформировалось единого непротиворечивого понимания сущности цифровой экономики [3]. Все трактовки можно свести в две группы: прежнее (устаревшее) понимание цифровой экономики (в упрощенном виде сводится к необходимости внедрения информационно-коммуникационных технологий в деятельность экономических агентов) и будущая (новая) цифровая экономи-

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Русского географического общества в рамках проекта № 17–05–41057 РГО «Транспортно-коммуникационный фактор развития Сибири: возможности, ограничения, перспективы».

ка, которая возникнет в результате четвертой промышленной революции [11] и будет опираться на системы искусственного интеллекта. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» нацелена на прежнее понимание, что при наиболее благоприятном исходе приведет лишь к сохранению отставания России от стран-лидеров на 5–8 лет [8]. В дальнейшем отставание может увеличиться, поскольку страны-лидеры будут развивать новую цифровую экономику, а Россия сосредоточит усилия на достижении параметров старой цифровой экономики, которой более соответствует термин «цифровизация».

Не отрицая необходимости цифрового поворота российских экономических агентов, заложенного в правительственной программе, полагаем целесообразным разработать стратегию перехода России к новой цифровой экономике с установлением количественных критериев в соответствии с четвертой промышленной революцией. Создание такой стратегии – предмет специальных исследований, обсуждений и согласований, выходящих далеко за рамки данной статьи, поэтому лишь акцентируем внимание на определении новых критериев. Например, вместо реализующегося устранения цифрового неравенства посредством прокладки волоконно-оптических линий связи во все малые населенные пункты России (численность населения – 250–500 человек), что, конечно, очень важно, необходимо нацелиться на минимизацию цифрового неравенства будущей эпохи «тактильного интернета» [1, с. 205–214]. Другой пример связан с переходом от создания кластеров устаревшей цифровой экономики к построению «умных» городских агломераций [1, с. 127–135] и формированию территориальных цифровых платформ [2]. При таком переходе к новой цифровой экономике одним из критериев реализации стратегии является задержка сигнала (информационного потока) между населенными пунктами в оптоволоконной сети [1; 6].

Рассматриваемая стратегия может разрабатываться на четырех уровнях – федеральном (для всей России), макрорегиональном (для федеральных округов), региональном (для субъектов Российской Федерации) и городском. В качестве нижнего уровня выбран город как наименьшая территориальная ячейка формирования цифровой экономики [1; 5]. При этом более правильным является создание сначала федеральной стратегии, затем на ее основе формирование восьми макрорегиональных стратегий с последующим переходом к 85 региональным и 1114 городским стратегиям. Однако в связи с отсутствием федеральной стратегии приходится на остальных уровнях разрабатывать свои стратегии. Возможно, это подтолкнет Правительство Российской Федерации к разработке федеральной стратегии.

В статье предпринята попытка проанализировать оптоволоконную связность городов в Сибирском федеральном округе (в границах на 1 января 2019 г.) с целью установления величины задержки сигнала как в целом по макрорегиону, так и в каждом из 10 сибирских регионов, оценить такую задержку относительно критических величин, а затем наметить мероприятия по приемлемому сокращению задержки на основе решения оптимизационной задачи. Исследование опиралось на авторскую базу данных «Линии

электросвязи Российской Федерации», составленную по отчетам ответственных операторов связи на 1 января 2019 г. Анализировались только волоконно-оптические линии связи (на них приходится основной трафик [4] и наименьшая задержка [6]), соединяющие 114 городов Сибири.

Для определения величины задержки сигнала T использовалась следующая формула [6]: $T = R\tau + \Theta$, где R – расстояние между городами (км), τ – задержка, связанная с физическими свойствами среды передачи сигнала (мкс/км; 1 микросекунда = 0,000001 с), Θ – задержка, вносимая узлами обработки сигналов (мкс). Для волоконно-оптических линий $\tau = 5$ мкс/км [6]. При определении минимальной задержки принято допущение, что $\Theta = 0$ (к этому ведет развитие средств электросвязи).

В качестве критических величин задержки сигнала по рекомендации Международного союза электросвязи [10] приняты значения в 1 и 10 мс (1 миллисекунда = 0,001 с), которые можно назвать соответственно сверхмалой [6] и малой задержкой. Эти значения важны для функционирования «умных» городских агломераций и цифровых районов [1, с. 127–135], а также генерации новых услуг эпохи «тактильного интернета» [1, с. 205–214].

При выделении групп городов, между которыми достигалась сверхмалая задержка сигнала, использовался следующий алгоритм: сначала выделялся город, имеющий наибольшую людность (численность населения) в макрорегионе, а затем определялся другой город, имеющий наименьшую задержку сигнала до наиболее людного города; эти два города формируют группу (кластер, агломерацию), к которой последовательно (по мере увеличения значений задержки, но не более 1 мс) присоединялись соседние города при условии, что каждый новый город должен иметь сверхмалую задержку сигнала до всех городов группы; если хотя бы до одного города из группы задержка превышала 1 мс, то анализируемый город не входил в группу. Процесс формирования группы продолжался до тех пор, пока вокруг не оставались города, до которых сигнал по оптоволоконным линиям доходил более чем за 1 мс. После этого в макрорегионе выделялся новый наиболее людный город, не вошедший в уже сформированную группу, и повторялись все процедуры. Так выделялись группы взаимосвязанных городов и некоторое множество отдельных городов, не сформировавших группы. Вполне возможно, что в некоторых регионах Сибири не будет ни одной группы, а некоторые группы будут межрегиональными (объединение городов из соседних регионов). Предложенный алгоритм отличается от методики выделения цифровых агломераций [1, с. 127–135], где задержка сигнала определялась только относительно ядра агломерации и были ограничения на минимально допустимую людность ядра и всей агломерации.

Для оценки ситуации в макрорегионе и регионах использовались значения суммарной ($\sum T_{ij}$, где i и j – города на анализируемой территории) и средней ($T_{AVE}F = \sum T_{ij} : k$, где k – количество информационных потоков между всеми городами территории F) задержки сигнала. Вывод о соответствии системы городов требованиям новой цифровой экономики можно сделать путем сравнения значения $T_{AVE}F$ с 1 и 10 мс. Для оптимизации оптоволокон-

ной сети целесообразно предложить варианты прокладки новых линий, позволяющих достигнуть $\sum T_{ij} \rightarrow \min$ при $\sum L_{ij} \rightarrow \min$, где L_{ij} – длина (км) волоконно-оптической линии связи между городами i и j (подробнее о задачах оптимизации территориально распределенных информационно-коммуникационных сетей см. [1]).

Расчеты показали, что в Сибирском федеральном округе суммарная задержка сигнала между 114 городами составляет 83 849,8 мс, а средняя задержка равна 6,5 мс. Последнее значение можно интерпретировать следующим образом: во-первых, цифровая экономика Сибири не будет целостным образованием, поскольку нет единой территориальной цифровой платформы [2]; во-вторых, в макрорегионе как едином целом не могут быть применены в реальном времени будущие информационно-коммуникационные технологии типа «тактильного интернета», голографических звонков, виртуальной реальности и др., так как задержка сигнала превышает 1 мс; в-третьих, весь Сибирский федеральный округ могут охватить только технологии, работающие при задержке сигнала от 1 до 10 мс (подробнее см. [1, с. 205–214]). Следствием такой ситуации может быть будущая раздробленность новой цифровой экономики Сибири, проявляющаяся в замыкании наиболее интенсивного взаимодействия экономических агентов внутри небольшой группы городов со сверхмалыми задержками сигнала.

При переходе на региональный уровень получаются те же выводы: средняя задержка сигнала изменяется от 4,7 мс для городов Кемеровской области до 8,0 мс для городов Иркутской области. На городском уровне наиболее выгодное положение внутри Сибири занимали города Мариинск (4,4 мс), Юрга (4,4), Топки (4,4) и Тайга (4,4). Наихудшее положение имели города Дудинка (23,8 мс), Норильск (23,4), Игарка (22,1) и Стрежевой (14,9).

Таким образом, перспективы развития новой цифровой экономики Сибири таковы, что основные взаимодействия будут замыкаться в некоторых разрозненных группах городов, внутри которых $T_{AVE}F < 1$ мс. Выделено 25 групп, которые неравномерно распределены по регионам Сибири (табл. 1).

Таблица 1

Распределение городов по группам со сверхмалой задержкой сигнала в регионах Сибирского федерального округа (на 1 января 2019 г.)

Регион	Количество городов			Количество групп
	В группах	Вне групп	Всего	
Республика Алтай	1	0	1	0
Республика Тыва	5	0	5	2
Республика Хакасия	3	2	5	1
Алтайский край	10	2	12	4
Красноярский край	19	4	23	5
Иркутская область	16	6	22	5
Кемеровская область	19	1	20	4
Новосибирская область	11	3	14	2
Омская область	2	4	6	1
Томская область	3	3	6	1
Всего по федеральному округу	89	25	114	25

Примечание: в каждом регионе количество групп определялось по числу центров формирования групп (городов с наибольшей людностью), расположенных в этом регионе. *Источник:* составлено автором.

В эти группы вошло большинство сибирских городов. Однако вне групп оказались 25 городов? и в них перспективы развития цифровой экономики весьма неопределенны.

В группы вошли следующие сибирские города (перечислены в порядке вхождения в группу; группы упорядочены по очередности их выделения в регионах; регионы приведены в последовательности, принятой в табл. 1): (1) Кызыл, Туран, Шагонар; (2) Ак-Довурак, Чадан; (3) Абакан, Черногорск, Минусинск, Саяногорск; (4) Барнаул, Новоалтайск, Заринск; (5) Бийск, Белокуриха, Горно-Алтайск; (6) Рубцовск, Горняк, Змеиногорск; (7) Славгород, Яровое, Карасук; (8) Красноярск, Дивногорск, Сосновоборск, Железногорск, Уяр; (9) Норильск, Дудинка; (10) Ачинск, Назарово, Боготол, Ужур; (11) Канск, Иланский, Заозерный, Зеленогорск, Бородино; (12) Лесосибирск, Енисейск; (13) Иркутск, Шелехов, Ангарск, Усолье-Сибирское, Слюдянка; (14) Братск, Вихоревка; (15) Черемхово, Свирск, Зима, Саянск; (16) Тулун, Нижнеудинск; (17) Тайшет, Бирюсинск, Алзатай; (18) Кемерово, Топки, Березовский, Ленинск-Кузнецкий, Юрга; (19) Новокузнецк, Осинники, Прокопьевск, Калтан, Мыски, Киселевск, Междуреченск; (20) Белово, Полысаево, Гурьевск, Салаир; (21) Анжеро-Судженск, Мариинск; (22) Новосибирск, Обь, Бердск, Искитим, Черепаново; (23) Куйбышев, Барабинск, Каргат, Чулым; (24) Омск, Калачинск, Татарск; (25) Томск, Северск, Тайга, Асино. В пяти группах (номера 3, 5, 7, 24 и 25) зафиксировано по одному городу из соседнего региона.

Ситуация с задержкой сигнала, сложившаяся в Сибири, не способствует развитию новой цифровой экономики. Пока не разработаны принципиально новые виды связи, необходимо оптимизировать существующую оптоволоконную сеть. Для этого следует проложить новые волоконно-оптические линии, сводящие к минимуму ΣT_{ij} и, соответственно, T_{AVEF} . В качестве критериев отбора необходимых линий могут выступать задачи устранения цифрового неравенства (такой тактики придерживается Минкомсвязи России), формирования территориальных цифровых платформ [2] и некоторые другие. В нашем исследовании предложено в качестве критерия отбора перспективных линий использовать максимальное снижение суммарной задержки $\Sigma T_{ij}^{NOW} - \Sigma T_{ij}^{FUT}$, где T^{NOW} и T^{FUT} – задержки в исходной и оптимизированной сети, или $(T_{AVEF}^{NOW} - T_{AVEF}^{FUT}) \rightarrow \max$.

Российский опыт прокладки оптоволоконных линий указывает на то, что они укладываются вдоль железных и автомобильных дорог, трубопроводов и по опорам линий электропередачи. При отсутствии таковых – вдоль рек или примерно по прямой линии, соединяющей города. В нашем исследовании при трассировке новых линий использовалась приведенная приоритетность (от железных дорог до прямых линий). Анализ топологии (методика приведена в [1]) оптоволоконной сети Сибири позволил наметить 24 линии, которые в наибольшей мере повысят связность сети.

Для определения линий, приводящих к наибольшему улучшению оптоволоконной сети Сибири, был введен критерий $(T_{AVEF}^{NOW} - T_{AVEF}^{FUT}) \geq 0,1$ мс (минимальная расчетная величина в нашем исследовании). Ему соответ-

ствовали только линии Игарка – Енисейск (0,5 мс) и Каргасок – Александровское (соединит города Стрежевой и Колпашево в Томской области; 0,2 мс). По остальным линиям было значительно меньше 0,1 мс. Прокладка волоконно-оптических линий связи вдоль рек Енисей и Обь окажет разное влияние на сибирские регионы (табл. 2).

Таблица 2

Региональные различия в задержке сигнала (в миллисекундах) между всеми сибирскими городами до (по состоянию на 1 января 2019 г.) и после создания двух новых волоконно-оптических линий связи

Регион	Суммарная задержка		Средняя задержка	
	До	После	До	После
Республика Алтай	652,7	625,5	5,8	5,5
Республика Тыва	3810,4	3581,7	6,7	6,3
Республика Хакасия	2872,8	2641,5	5,1	4,7
Алтайский край	8038,0	7686,6	5,9	5,7
Красноярский край	19 635,1	15 047,4	7,6	5,8
Иркутская область	19 987,0	18 851,2	8,0	7,6
Кемеровская область	10 530,1	9775,0	4,7	4,3
Новосибирская область	8411,3	8084,5	5,3	5,1
Омская область	5030,6	5001,0	7,4	7,4
Томская область	4881,8	3974,8	7,2	5,9
Всего по федеральному округу	83 849,8	75 269,2	6,5	5,8

Источник: составлено автором.

Следует констатировать, что столь существенная трансформация оптоволоконной сети в Сибири (см. табл. 2) не позволит выйти на задержку сигнала до 1 мс. Основная причина – сложившаяся система расселения. В обозримом будущем она не изменится. Поэтому во всем макрорегионе новая цифровая экономика будет функционировать в усеченном виде (возможны лишь транзакции и другие взаимодействия экономических агентов в условиях задержки сигнала более 1 мс), и только внутри отдельных ареалов будут нормальные условия развития (задержка менее 1 мс в выделенных группах городов).

Полученные результаты открывают возможность использовать задержку сигнала в качестве критерия эффективности перехода к новой цифровой экономике, включить в стратегию 89 (см. табл. 1) вместо 60 городов (при оперировании «умными» городскими агломерациями Сибири; рассчитано по [1, с. 133–134]) и сосредоточиться на разработке 25 подстратегий (вместо 10 по числу регионов или 8 по количеству «умных» агломераций). Перспективы дальнейших исследований могут быть связаны с расчетом задержки сигнала до других типов населенных пунктов (поселков городского типа и сельских поселений), иными подходами к оценке региональных информационных потоков [1, с. 192–197] и разработкой новых критериев эффективности перехода к цифровой экономике на основе искусственного интеллекта.

Список литературы

1. *Блануца В. И.* Информационно-сетевая география : монография. М. : ИНФРА-М, 2019. 243 с.
2. *Блануца В. И.* Цифровая экономика Сибири: территориальные платформы для кластеров // Актуальные проблемы экономики и права. 2019. Т. 13, № 3. С. 1343–1355.
3. *Дьяченко О. В.* Дефиниция категории «цифровая экономика» в зарубежной и отечественной экономической науке // Экономическое возрождение России. 2019. № 1. С. 86–98.
4. Оптическая революция в системах связи и ее социально-экономические последствия / В. А. Конышев, А. В. Леонов, О. Е. Наний, В. Н. Трещиков, Р. Р. Убайдуллаев // Прикладная фотоника. 2016. Т. 3, № 1. С. 15–27.
5. Умные города как «столицы» цифровой экономики / В. П. Куприяновский, С. А. Буланча, В. В. Кононов, К. Ю. Черных, Д. Е. Намиот, А. П. Добрынин // International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4, № 2. С. 41–52.
6. *Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В.* Тактильный Интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
7. *Макогонова Н. В.* Риски реализации государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» // Управленческие науки в современном мире. 2018. Т. 1, № 1. С. 569–576.
8. *Филькевич И. А., Игумнов О. А.* Цифровая экономика в России: мировые тренды и российские возможности // Идеи и новации. 2018. Т. 6, № 2. С. 45–58.
9. *Якутин Ю. В.* Российская экономика: стратегия цифровой трансформации (к конструктивной критике правительственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации») // Менеджмент и бизнес-администрирование. 2017. № 4. С. 25–72.
10. Recommendation ITU-T Y.1541. Network Performance Objectives for IP-based Services. Geneva: ITU, 2011. 57 p.
11. *Schwab K.* The Fourth Industrial Revolution. N. Y. : Crown Business, 2017. 192 p.

Strategy of Siberia Transition to New Digital Economy: Optimization of a Fiber-Optic Network

V. I. Blanutsa

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The author suggested distinguishing the existing digital economy related to the digitalization of the activities of economic actors from future (new) digital economy based on artificial intelligence systems. In Russia there are no developmental strategies for new digital economy supported by the government. When developing such strategies, the author proposed to take into account signal delay in a fiber-optic network. To calculate signal delay the author's database of Russian telecommunication lines was used. Taking into account very small signal delays, Siberia will not be a holistic economic entity, instead, it will appear in the future as many areas (groups of cities with very small delays) and separating territories with more significant delays. The distribution of areas according to Siberian regions has been given, and the cities included in each area have been listed. The solution of optimization problem will improve the situation by running two new fiber-optic lines. The values of the total and average signal delay among all Siberian cities before and after the implementation of these projects have been given. The optimization of the Siberian fiber-optic network will result in 0.7 millisecond decrease in the average signal delay among all cities.

Keywords: digital economy, fiber-optic line, signal delay, optimization, Siberian Federal District.

For citation: Blanutsa V.I. Strategy of Siberia Transition to New Digital Economy: Optimization of a Fiber-Optic Network. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Political Science and Religion Studies*, 2019, vol. 30, pp. 32-39. <https://doi.org/10.26516/2073-3380.2019.30.32> (in Russian)

References

1. Blanutsa V.I. *Informacionno-setevaya geografiya* [Information-network geography]. Moscow, INFRA-M Publ., 2019. 243 p. (in Russian)
2. Blanutsa V.I. Cifrovaya ekonomika Sibiri: territorialnye platformy dlya klasterov [Digital economy of Siberia: territorial platforms for clusters]. *Actual Problems of Economics and Law*, 2019, vol. 13, no. 3, pp. 1343-1355. (in Russian)
3. Dyachenko O.V. Definiatsiya kategorii "cifrovaya ekonomika" v zaru-bezhnoy i otechestvennoy ekonomicheskoy nauke [Definition of the category of "digital economy" in foreign and domestic economic science]. *Economic Revival of Russia*, 2019, no. 1, pp. 86-98. (in Russian)
4. Konyshov V.A., Leonov A.V., Naniy O.E., Treshchikov V.N., Ubaydullaev R.R. Opticheskaya revolyutsiya v sistemah svyazi i ee socialno-ekonomicheskie posledstviya [Optical revolution in communication systems and its socio-economic consequences]. *Applied Photonics*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 15-27. (in Russian)
5. Kupriyanovskiy V.P., Bulancha S.A., Kononov V.V., Chernykh K.Yu., Namiot D.E., Dobrynin A.P. Umnye goroda kak "stolitsy" cifrovoj ekonomiki [Smart cities as the "capitals" of the digital economy]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2016, vol. 4, no. 2, pp. 41-52. (in Russian)
6. Kucheryavy A.E., Makolkina M.A., Kirichek R.V. Taktil'nyj Internet. Seti svyazi so sverhmalymi zaderzhkami [Tactile Internet. Communication networks with extremely small delays]. *Telecommunication*, 2016, no. 1, pp. 44-46. (in Russian)
7. Makogonova N.V. Riski realizatsii gosudarstvennoy programmy «Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federatsii» [Risks of the implementation of the state program "Digital Economy of the Russian Federation"]. *Management Sciences in the Modern World*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 569-576. (in Russian)
8. Filkevich I.A., Igumnov O.A. Cifrovaya ekonomika v Rossii: mirovye trendy i rossijskie vozmozhnosti [Digital economy in Russia: world trends and Russian opportunities]. *Ideas and innovations*, 2018, vol. 6, no. 2, pp. 45-58. (in Russian)
9. Yakutin Yu.V. Rossijskaya ekonomika: strategiya cifrovoj transformatsii (k konstruktivnoy kritike pravitel'stvennoy programmy «Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federatsii») [The Russian economy: the strategy of digital transformation (towards a constructive criticism of the government program "Digital Economy of the Russian Federation")]. *Management and Business Administration*, 2017, no. 4, pp. 25-72. (in Russian)
10. *Recommendation ITU-T Y.1541. Network Performance Objectives for IP-based Services*. Geneva, ITU, 2011, 57 p.
11. Schwab K. *The Fourth Industrial Revolution*. New York, Crown Business, 2017, 192 p.

Блануца Виктор Иванович

доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория георесурсоведения и политической географии
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Российская Федерация, 664033,
г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
тел.: 8(3952)426435
e-mail: blanutsa@list.ru

Blanutsa Victor Ivanovich

Doctor of Sciences (Geography), Leading Researcher, Laboratory of Georesource Studies and Political Geography
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: 8(3952)426435
e-mail: blanutsa@list.ru

Дата поступления: 24.10.2019

Received: October, 24, 2019