

# Влияние цифровой инфраструктуры на развитие российских регионов

Крамин Тимур Владимирович

Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова, Россия, e-mail: kramint@mail.ru

Имашева Ильмуханум Юнусовна

Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова, Россия, e-mail: ilya.imasheva@mail.ru

**Цитирование:** Крамин Т.В., Имашева И.Ю. (2024). Влияние цифровой инфраструктуры на развитие российских регионов. *Terra Economicus* 22(3), 115–127. DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-3-115-127

*Настоящая работа продолжает исследования, посвященные оценке взаимосвязи между развитием цифровой инфраструктуры и экономическим ростом. Цель данной статьи – обоснование влияния цифровой инфраструктуры на экономическое развитие регионов России. Для достижения поставленной цели выявлены и обоснованы ключевые факторы, определяющие это влияние на основе расширенной модели экономического роста Р. Солоу. При использовании эконометрического моделирования было доказано наличие влияния широкополосного доступа в интернет на региональное экономическое развитие за период с 2010 по 2020 год. В частности, доказано существование постоянной эластичности валового регионального продукта по показателю проникновения широкополосного доступа в интернет в корпоративном секторе экономики. Данная эластичность оценивается на уровне 0,38. Выявленный результат положительный и статистически значимый. В работе обсуждается и решается проблема эндогенности переменных, включенных в модель. Решение проблемы эндогенности на этапе спецификации моделей при помощи теста Грейнджера позволило применить в исследовании классический метод наименьших квадратов с использованием панельных данных и с включением временных фиксированных эффектов. Полученные нами результаты подтверждают важную роль проникновения широкополосного интернета для экономического роста и развития российских регионов. Целесообразно рассматривать обеспечение проникновения широкополосного интернета как одно из приоритетных направлений региональной политики.*

**Ключевые слова:** цифровая инфраструктура; экономический рост; региональная экономика; модель Солоу; широкополосный доступ; интернет

**Финансирование и благодарность:** Статья подготовлена при финансовой поддержке ЧОУ ВО «Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова».

# The impact of digital infrastructure on regional development in Russia

Timur V. Kramin

Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Russia, e-mail: kramint@mail.ru

Илмукханум Ю. Имасева

Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Russia, e-mail: ilya.imasheva@mail.ru

**Citation:** Kramin T.V., Imasheva I.Yu. (2024). The impact of digital infrastructure on regional development in Russia. *Terra Economicus* 22(3), 115–127 (in Russian). DOI: 10.18522/2073-6606-2024-22-3-115-127

*This study contributes to the empirical literature assessing the relationship between the development of digital infrastructure and economic growth. We estimate the impact of digital infrastructure on economic growth in the regions of Russia based on Robert Solow's extended model of economic growth. We rely on official statistics on 81 Russian regions provided by Rosstat from 2010 to 2020. Our model supports the hypothesis that broadband Internet access has a positive impact on the regional economy. In particular, estimated gross regional product elasticity by broadband penetration in the corporate sector is 0.38. Estimations are positive and statistically significant. To tackle the endogeneity problem, we use Granger-causality tests which enables us applying panel least squares regression with time fixed effects excluded. Our findings confirm the importance of broadband Internet penetration for regional economic growth, and thereby provide substantiation for related regional policies in the Russian Federation.*

**Keywords:** digital infrastructure; economic growth; regional economy; extended Solow model; broadband access; Internet

**JEL codes:** O18, R11

## Введение

Дискуссия о влиянии инфраструктуры экономики на экономический рост активно развивается в среде экономистов последние 35 лет. Общепринято считать, что публикациями, положившими начало этой дискуссии, стали статьи Дэвида Ашауэра 1989 г. (Aschauer, 1989a; 1989b; 1989c; Timilsina et al., 2020). За этот относительно короткий период по данной тематике опубликовано более ста тысяч работ, затрагивающих более 200 стран мира. Кроме того, вполне закономерно, что в последние годы в области данной тематики сформировался новый фокус – исследование воздействия цифровой инфраструктуры на экономический рост.

В большинстве проведенных ранее эмпирических исследований и научных обзоров сформировалось общепринятое представление о значимом и положительном воздействии развития цифровой инфраструктуры на экономический рост (Timilsina et al., 2020). В основе такого общего вывода лежит интуитивное понимание. Внедрение информационно-коммуникационных технологий повышает оперативность и эффективность управления информационными потоками, что снижает транзакционные издержки (имеющие информационную природу). Кроме того, повышается эффективность использования традиционных производственных ресурсов: труда и капитала. Во-первых, идет последовательная замена труда капиталом в высокотехнологичных отраслях (перечень которых постоянно увеличивается). Во-вторых, сам производственный ка-

питал становится производительнее благодаря информационным технологиям, например, использованию и эффективной обработке больших данных (Zhou, 2022).

Одновременно продолжают исследования, посвященные количественной оценке влияния цифровой инфраструктуры на экономический рост, выявлению множества факторов, от которых зависит интенсивность и характер этого влияния. В процессе моделирования взаимосвязей по данной тематике наиболее часто обсуждаются проблемы эндогенности (Пономарева, 2021), определения направлений причинно-следственных связей (Toader et al., 2018), а также обоснование выбора прокси-переменных для рассматриваемых факторов развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и вопросы их корректного измерения (Toader et al., 2018; Amirov and Avazov, 2022; Makkar and Rajpal, 2023).

Оценка влияния цифровой инфраструктуры на экономический рост проводится как на межстрановом, так и на региональном уровнях. Региональные исследования (Cieslik, Kaniewska, 2004; Pradhan et al., 2018; Пономарева, 2021; Zhou, 2022; Tang and Zhao, 2023; Guo et al., 2024 и др.) относительно немногочисленны. Проведение региональных исследований имеет ряд преимуществ как в методическом, так и в практическом аспектах. Во-первых, в рамках выборки регионов одной страны институциональные факторы относительно однородны. Институциональная неоднородность регионов имеет минимальное искажающее воздействие в процессе моделирования. Кроме того, для всех регионов используются единые статистические измерения значений показателей, что снижает риски искажений вследствие несопоставимости методик измерения значения показателей (что бывает характерно для межстрановых исследований). Во-вторых, результаты региональных исследований могут быть использованы для оценки эффективности региональной политики в изучаемых регионах. Как следствие, возможно формирование рейтинга эффективности регионов в области распространения цифровой инфраструктуры, определение регионов-лидеров в этой сфере, организация выявления и использования лучших практик.

Настоящее исследование посвящено определению степени и характера влияния цифровой инфраструктуры на экономический рост российских регионов.

## Обзор литературы

Изучение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и цифровой инфраструктуры, как потенциально значимых инструментов содействия экономическому росту и социальному развитию, привлекло внимание многих ученых. Использовались разные методы, подходы, источники данных, изучались разные периоды.

Научные исследования, посвященные изучению ИКТ, в частности широкополосного доступа в интернет, можно классифицировать по следующим направлениям:

- изучение влияния ИКТ на экономический рост;
- анализ развития сектора ИКТ как одного из ключевых факторов экономического роста;
- анализ степени и характера причинно-следственной связи между ИКТ и экономическим ростом;
- изучение негативного воздействия ИКТ на развитие экономики и т.д.

Для анализа результатов проведенных ранее исследований нами выделены несколько групп научных работ: в первой группе исследований рассматривается большая выборка стран без какого-либо объединяющего признака; вторая группа охватывает межстрановые исследования государств, включенных в то или иное объединение по территориальному (например, страны Европейского союза) или социально-экономическому признаку (например, страны Организации экономического сотрудничества и развития – ОЭСР); в третью группу вошли исследования, проведенные на региональном уровне одной страны.

Анализ предыдущих исследований на межстрановом уровне показывает, что при использовании различных моделей (эндогенные модели экономического роста, расширенная производственная функция Кобба – Дугласа), методов (метод наименьших квадратов – МНК, обобщенный метод моментов – GMM), тестов (тест Хаусмана, тест причинности Грейнджера) получены результаты, свидетельствующие о положительном влиянии ИКТ и цифровой инфраструктуры на валовой внутренний продукт (ВВП).

В частности, М. Маджид и Т. Аюб (Majeed and Ayub, 2018), Э. Кабакларли и Б. Атасой (Kabaklarli and Atasoy, 2019), Х. Томпсон и К. Гарбач (Thompson and Garbacz, 2011) анализируют, как различные показатели использования ИКТ (такие как количество абонентов мобильной широкополосной связи, количество абонентов фиксированной широкополосной связи, пользователей интернета, количество абонентов фиксированной телефонной связи, индекс телекоммуникационной инфраструктуры, индекс онлайн-услуг, индекс электронного правительства) воздействуют на экономический рост. Результаты показали позитивное существенное воздействие мобильной широкополосной связи на ВВП на душу населения. Отмечено, что влияние намного выше в более бедных странах.

Г. Мейджерс, используя данные 162 стран за 1990–2008 гг., предполагает, что широкополосный доступ в интернет имеет косвенное воздействие на экономический рост (Meijers, 2014). Таким образом, в работе опровергается прямое влияние использования интернета на экономический рост, а косвенное воздействие осуществляется через торговлю.

К. Чой и М. Йи (Choi and Yi, 2009), анализируя данные по 207 странам за период с 1991 по 2000 г., нашли доказательства того, что интернет способствует распространению знаний на международном уровне, а Р. Наджарзаде с коллегами отмечают положительное влияние интернета на рост производительности труда (Najarzadeh et al., 2014).

Другие исследователи проводили сравнительный анализ влияния ИКТ на экономический рост в развитых и развивающихся странах. Результаты анализа С. Димелиса и С. Папайоанну показывают, что положительный эффект влияния ИКТ значительнее в развивающихся странах (Dimelis and Papaioannou, 2010). Однако оценка Т. Нибелем (Niebel, 2018), А. Юсефи (Yousefi, 2011) и М. Фархади с коллегами (Farhadi et al., 2012) влияния инвестиций в ИКТ на темпы роста ВВП в развивающихся странах, странах с переходной экономикой и развитых странах показала обратный результат или небольшие различия между исследуемыми группами стран. Отмечено, что развивающиеся и страны с переходной экономикой не получают больше экономических выгод от инвестиций в ИКТ, чем развитые экономики.

Исследования по целевым группам стран показали следующие результаты. Во-первых, обнаружена двусторонняя причинно-следственная взаимосвязь экономического роста и цифровых технологий по данным 10 стран Латинской Америки (Veeramacheneni et al., 2011). Во-вторых, выявлено благоприятное воздействие инвестиций в ИКТ на экономический рост в странах – членах ОПЕК (Nasab and Aghaei, 2009), в странах Центральной и Восточной Европы (Zagorchev et al., 2011), а также в странах БРИКС (Latif et al., 2018). Отмечено, что цифровые технологии положительно воздействуют на экономический рост, но степень воздействия в разных странах различна и зависит, в свою очередь, от интенсивности применения цифровых технологий в стране. В-третьих, по данным 25 европейских развитых и развивающихся стран доказано, что ИКТ являются одним из главных факторов роста производительности труда (Lovric, 2012).

Исследования Э. Тоадера с коллегами (Toader et al., 2018), а также А. Мачюлите-Снюкене и М. Буткуса (Maciulyte-Sniukiene and Butkus, 2022) указывают на положительное и сильное влияние использования цифровой инфраструктуры на экономический рост в странах – членах ЕС. При этом величина эффекта различается в зависимости от типа рассматриваемой технологии. При анализе влияния проникновения широкополосной связи в сети интернет на экономический рост в странах ОЭСР Н. Черних с коллегами (Czernich et al., 2011) и С. Атиф с соавторами (Atif et al., 2012) сделали вывод, что увеличение степени проникновения широкополосной связи на 10% способствует росту ВВП на душу населения на 0,9–1,5% в год. По данным стран «Большой двадцатки» выявлено, что цифровая инфраструктура стимулирует экономический рост (Pradhan et al., 2018).

Дж. Майовелла с соавторами, основываясь на данных 41 страны Африки к югу от Сахары (АЮС) по сравнению с 33 странами ОЭСР, пришли к выводу, что воздействие широкополосного доступа в интернет в странах АЮС меньше в сравнении со странами ОЭСР, в то время как воздействие мобильной связи в странах АЮС выше, чем в странах ОЭСР (Myovella et al., 2020). М. Нчаке и М. Шуайбу, используя данные по 46 странам Африки, выявили, что распространение ИКТ положительно воздействует на инклюзивный рост в Африке как на макро-, так и на мезоуровне (Nchake and Shuaibu, 2022).

Таким образом, подавляющее большинство исследований, посвященных оценке воздействия развития цифровой инфраструктуры, выявили положительную, статистически значимую взаи-

мосвязь между переменными инфраструктуры ИКТ и экономическим ростом. Однако в нескольких исследованиях, охватывающих отдельно взятые развивающиеся страны, обнаружена положительная, но не значимая связь между рассматриваемыми явлениями.

Важность сектора ИКТ, включая развитие цифровой инфраструктуры, подчеркивается в исследовании С. Маккара и А. Раджпала (Makkar and Rajpal, 2023). Авторы предприняли попытку проанализировать роль цифровой инфраструктуры в содействии экономическому росту Индии в период с 2001 по 2019 г. Замечено, что количество пользователей фиксированной телефонной связи отрицательно воздействует на экономический рост, в то время как количество пользователей мобильной сотовой связи – положительно. Также выявлено, что количество пользователей фиксированного широкополосного доступа в интернет оказывает значительное влияние в краткосрочной перспективе, но незначительное – в долгосрочной.

В исследовании Л. Амирова и Н. Авазова оценивается влияние цифровой инфраструктуры и макроэкономической среды на развитие экономики Узбекистана (Amirov and Avazov, 2022). Обнаружено, что количество пользователей телефонной связи и численность интернет-абонентов благоприятно воздействуют на экономический рост, а количество пользователей мобильной сотовой связи, количество пользователей широкополосного доступа и развитие безопасных интернет-серверов – негативно.

Имеется относительно небольшое количество исследований на региональном уровне, которые посвящены вопросам оценки воздействия ИКТ на экономический рост.

В. Гуо с коллегами (Guo et al., 2024), основываясь на панельных данных 283 городов Китая с 2010 по 2018 г., рассматривают проект «Широкополосная связь в Китае»<sup>1</sup> как квази-эксперимент<sup>2</sup>, чтобы изучить влияние цифровой инфраструктуры на региональную экономическую эффективность. Результаты многопериодного анализа региональных различий показывают, что города, получившие поддержку в рамках программы, имеют более высокую общую факторную производительность. Среди китайских регионов наблюдается неоднородность развития. Некоторые провинции достигли в экономическом плане уровня развитых стран (они в основном расположены в прибрежных районах), в то время как другие провинции (расположенные в центральных и западных районах) все еще нуждаются в поддержке от центрального правительства Китая. Анализ неоднородности также показывает, что эффект проекта «Широкополосная связь в Китае» варьируется в разных городах в зависимости от местоположения, масштаба и уровня урбанизации.

Используя панельные данные 30 регионов Китая с 2006 по 2017 г., Дж. Тан и Х. Чжао (Tang and Zhao, 2023) анализируют влияние новой цифровой инфраструктуры на совокупную факторную производительность (*total factor productivity, TFP*). Результаты показали, что новая цифровая инфраструктура может значительно улучшить производительность на региональном уровне, но это влияние неоднородно. В регионах с высоким уровнем экономического развития, высоким уровнем исследований и разработок (НИОКР), а также высоким уровнем развития традиционной инфраструктуры положительное влияние новой цифровой инфраструктуры на производительность значительно выше.

А. Чжоу (Zhou, 2022) проводит исследование взаимосвязи между экономическим ростом Китая и строительством цифровой инфраструктуры. Эмпирические результаты доказали, что развитие китайского мобильного интернета способствовало быстрому росту цифровой экономики в Китае и обеспечило гарантию экономического роста Китая. При этом авторы также отмечают региональную неоднородность Китая. Поэтому в процессе исследования провинции Китая были разделены на восточные, центральные и западные регионы в зависимости от их географического положения.

Анализ взаимосвязи между цифровой инфраструктурой и доходами на уровне регионов с использованием данных по 49 регионам Польши подтверждает наличие положительной и статистически значимой причинно-следственной взаимосвязи между анализируемыми показателями (Cieslik and Kaniewska, 2004). Поскольку, по мнению авторов, цифровая инфраструктура оказывает влияние на доходы, телекоммуникационную политику следует рассматривать как важную часть региональной политики, направленную на сокращение пространственного неравенства доходов населения в польских регионах.

<sup>1</sup> Проект Broadband China («Широкополосная связь в Китае»), реализованный правительством Китая, предоставил ряду городов дополнительное финансирование для создания цифровой инфраструктуры.

<sup>2</sup> Квази-эксперимент сравнивает естественные группы без рандомизированного (случайного) распределения субъектов исследования.

В одной из наших предшествующих работ проанализирована взаимосвязь между неравенством доходов населения и цифровым развитием в регионах России с использованием эконометрического моделирования. Обоснована и построена модель, характеризующая влияние степени проникновения широкополосного интернета на неравенство доходов населения в России (Имашева, Крамин, 2022).

Вопросы необходимости обеспечения доступности цифровой инфраструктуры были актуализированы в условиях борьбы с пандемией COVID-19. Как следствие, повысился интерес исследователей к данной теме как в России, так и за рубежом (Макаркин и др., 2020; Мамедьяров, 2021; Kroll, 2023; Frieden, 2023). Пандемия стремительно изменила образ жизни населения большинства стран. Надежное и быстрое подключение к интернету приобрело решающее значение для россиян (Имашева, 2022). В этот период организации Российской Федерации стали почти в 1,5 раза чаще применять цифровые технологии. Более чем в 1,5 раза выросла доля предпринимателей в сфере онлайн-торговли (Макаркин и др., 2020).

Наиболее близкой к настоящему исследованию является работа Е.А. Пономаревой (Пономарева, 2021). Автор проводит анализ воздействия распространения цифровых технологий на макроэкономические параметры, а именно на рост валового регионального продукта – ВРП. Применяется регрессионное моделирование на основе системы одновременных уравнений для исключения возможных проблем эндогенности. Основной вывод заключается в том, что имеет значение не только возможность использования широкополосного доступа в интернет, но и качество его использования.

В отличие от исследования Е.А. Пономаревой мы в первую очередь проверяем наличие эндогенности переменных, которые планируем включить в модель. Затем, на основе проведения взаимных тестов причинности Грейнджера, исключаем переменные, включение которых в модель приводит к проблемам эндогенности. Для оставшихся переменных применяется классический метод наименьших квадратов с использованием панельных данных, дающий значительные преимущества, в частности, возможность использования пространственных и временных эффектов.

Кроме того, Е.А. Пономарева для определения влияния степени распространения широкополосного интернета на ВРП в качестве одной из ключевых объясняющих переменных использует показатель «Число абонентов с широкополосным доступом к интернету на 100 человек населения». Мы же для этой же цели используем другой, более подходящий, с нашей точки зрения, показатель «Доля организаций, которые использовали широкополосный интернет, в процентах от общего числа обследованных организаций».

Отдельный интерес представляет оценка влияния цифровой инфраструктуры на производительность труда в регионах Российской Федерации. Комплексное исследование этого вопроса по российским региональным данным провели Н.Н. Волкова и Э.И. Романюк (2020). В целом авторы, используя корреляционный анализ, показывают, что общее влияние степени распространения широкополосного доступа в интернет на региональную производительность труда со временем растет. Между тем, по представленным данным, региональная производительность труда в России сильнее коррелирует с показателями, характеризующими степень использования цифровой инфраструктуры населением, чем с показателями использования цифровой инфраструктуры организациями (бизнесом). Более того, авторы показывают, что взаимосвязь степени использования интернета бизнесом и региональной производительности труда снижается в течение рассматриваемого периода. Авторы делают вывод о том, что «стратегия цифровизации в стране направлена на непромышленную сферу и госуправление, а не на промышленность» (Волкова, Романюк, 2020: 110).

Таким образом, в результате проведенных ранее межстрановых и региональных исследований, посвященных взаимосвязи между цифровой инфраструктурой и экономическим ростом, в целом достигнут определенный консенсус о положительном характере такого влияния. Однако в настоящее время остаются отдельные вопросы, требующие дальнейшего изучения, а многие ранее полученные результаты требуют уточнения, интерпретации и обоснования. Наше исследование является продолжением этих работ.

### Методика исследования и данные

Мы провели анализ и оценку факторов экономического роста, используя расширенную модель Солоу с производственной функцией Кобба – Дугласа. Показатель степени проникновения широкополосного интернета был включен в модель как дополнительный фактор создания валового регионального продукта. В качестве информативных объясняющих переменных выступают показатели, определяющие вектор развития российских регионов в период с 2010 по 2020 г.

Первоначально в целях моделирования используется расширенная производственная функция Кобба – Дугласа:

$$Q = A K^\alpha L^\beta E1^\gamma E2^\varphi, \quad (1)$$

где  $Q$  – валовой региональный продукт (млрд руб.);  $K$  – физический капитал, величина которого определяется на основе стоимостной оценки основных фондов (млн руб.);  $L$  – труд, величина которого определяется на основе данных численности экономически активного населения; для оценки уровня развития широкополосного интернета в рамках данного исследования использованы показатели затрат на информационно-коммуникационные технологии (млрд руб.; в модели показатель обозначен как  $E1$ ) и доли организаций, которые применяли широкополосный интернет, в процентах от общего числа обследованных организаций ( $E2$ );  $A$  – характеризует уровень производительности факторов производства в регионе, где  $\alpha, \beta, \gamma, \varphi$  – параметры модели.

Кроме того, в целях продолжения дискуссии и обсуждения результатов, представленных в (Волкова, Романюк, 2020), в настоящей работе изучено влияние степени распространения широкополосного интернета в организациях (в качестве индикатора использован показатель  $E2$ , см. выше) на региональную производительность труда. Региональная производительность труда в нашем исследовании рассчитывается как отношение значения валового регионального продукта к численности экономически активного населения в регионе ( $Q / L$ ). Идентичный показатель использовали Н.Н. Волкова и Э.И. Романюк.

В конечном варианте моделирования мы проверяем гипотезу о наличии постоянной эластичности влияния  $E2$  на региональную производительность труда в России:

$$Q/L = CE2^\alpha, \quad (2)$$

где  $C$  и  $\alpha$  – параметры модели, подлежащие количественной оценке в процессе эконометрического моделирования. При использовании представленной спецификации модели потенциально могут иметь место проблемы, связанные с эндогенностью объясняемой и объясняющих переменных (Пономарева, 2021). Следует отметить, что в настоящем исследовании такие проблемы были выявлены с помощью теста причинности Грейнджера. Результаты тестирования причинности по Грейнджеру представлены ниже. Переменные, создающие указанные проблемы, были устранены из конечного варианта регрессионной модели.

В качестве авторизованного источника данных для модели, представленной уравнением (1), были выбраны ежегодные статистические сборники Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации<sup>3</sup>.

Показатель ВРП был скорректирован на индекс цен. Таким образом, для использования достоверных индексов экономического роста данные о темпах роста реального ВРП были получены на основе номинального ВРП. Аналогичная корректировка была проведена для значений показателя стоимости основных фондов. Чтобы оценить влияние цифровой инфраструктуры на экономический рост российских регионов, в качестве объясняющих переменных выбраны затраты на информационно-коммуникационные технологии в год ( $E1$ ) и доля организаций, которые использовали широкополосный интернет, в процентах от общего числа обследованных организаций ( $E2$ ). Значения указанных показателей также были взяты из ежегодных статистических сборников ФСГС России.

<sup>3</sup> Отчеты публикуются Федеральной службой государственной статистики (Росстат). Официальный сайт: [www.gks.ru](http://www.gks.ru). Ежегодные статистические сборники «Регионы России. Социально-экономические показатели» за период с 2010 по 2020 г.

Таким образом, мы рассмотрели данные в разрезе 81 субъекта Российской Федерации в период с 2010 по 2020 г. Ингушетия, Калмыкия, Крым, Севастополь, Чеченская Республика и новые субъекты Российской Федерации<sup>4</sup> были исключены ввиду неполноты данных. Отметим, что использование региональных данных в эконометрической модели значительно улучшает общие характеристики модели, что дает возможность проанализировать разные направления развития в российских регионах. Следовательно, соблюдается условие однородности и сопоставимости данных с целью получения достоверных результатов.

## Результаты

На основе регрессионного анализа выявлена причинно-следственная связь между переменными  $Q$  и  $E2$  на основе теста причинности Грейнджера (табл. 1). Данные, приведенные в табл. 1, позволяют сделать вывод о том, что именно широкополосный доступ в интернет ( $E2$ ) служит причиной различий в валовом региональном продукте ( $Q$ ), а не наоборот.

Таблица 1

**Модель оценки взаимного влияния степени проникновения широкополосного интернета и объема валового регионального продукта: парный тест причинной связи по Грейнджеру**

Нулевые гипотезы (временной лаг: 1)	F-статистика	Вероятность
$Q$ не объясняет переменную $E2$ по Грейнджеру	0,13059	0,7179
$E2$ не объясняет переменную $Q$ по Грейнджеру	41,7949	0,0000

*Примечание:* выборка – 81 регион Российской Федерации, 2010–2020 гг.

*Источник:* рассчитано авторами.

Результат оценки взаимного влияния уровня затрат на информационно-коммуникационные технологии  $E1$  и объема валового регионального продукта на основе парного теста причинной связи по Грейнджеру не дает однозначного ответа о направлении влияния между рассмотренными переменными: переменные одновременно влияют друг на друга (табл. 2). Согласно результатам тестирования, влияние  $Q$  статистически несколько сильнее. Этот факт приводит к тому, что в целях устранения проблемы эндогенности переменная  $E1$  исключена из финальной модели оценки влияния.

Таблица 2

**Модель оценки взаимного влияния уровня затрат на информационно-коммуникационные технологии и объема валового регионального продукта: парный тест причинной связи по Грейнджеру**

Нулевые гипотезы (временной лаг: 1)	F-статистика	Вероятность
$Q$ не объясняет переменную $E1$ по Грейнджеру	46,0305	2,E-11
$E1$ не объясняет переменную $Q$ по Грейнджеру	3,46830	0,0629

*Примечание:* выборка – 81 регион России, 2010–2020 гг.

*Источник:* рассчитано авторами.

Для функционального преобразования уравнения (1) к линейной спецификации регрессионной модели использовано логарифмирование. Спецификация модели представлена формулой (3):

$$\ln(Q) = \ln(A) + \alpha \times \ln(K) + \beta \times \ln(L) + \gamma \times \ln(E2) + \varepsilon, \quad (3)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – параметры модели.

Конечный результат моделирования оценки влияния широкополосного интернета на объем валового регионального продукта представлен в табл. 3.

4 Донецкая Народная Республика (ДНР), Луганская Народная Республика (ЛНР), Запорожская и Херсонская области.



Таблица 3

**Модель оценки влияния широкополосного интернета на объем валового регионального продукта, включены временные фиксированные эффекты**

Метод оценивания: МНК

Тип данных: панельные

Зависимая переменная:  $\ln Q$

Периоды: 2010–2020 гг.

Количество периодов: 11

Количество наблюдений: 891

Переменная	Коэффициент	(Р-значение)
Ln A	-2,832302	(0,0000)
Ln K	0,897174	(0,0000)
Ln L	0,116559	(0,0000)
Ln E2	0,477273	(0,0000)
R <sup>2</sup>	0,944475	
R <sup>2</sup> уточненный	0,943652	
Вероятность по F-статистике	0,000000	

Примечание: в скобках указаны вероятности нуль-гипотезы по  $t$ -статистике для коэффициентов перед независимыми переменными.

Источник: рассчитано авторами.

В процессе эконометрического моделирования были построены модели с временными фиксированными эффектами. Выбор в пользу включения в модель фиксированных эффектов сделан на основе теста Хаусмана. Нулевая гипотеза, проверяемая в этом тесте (табл. 4), состоит в том, что индивидуальные эффекты отсутствуют, а значит, модель со случайными эффектами дает состоятельные оценки.

Таблица 4

**Проверка состоятельности использования случайных временных эффектов для модели, представленной в табл. 3, на основе теста Хаусмана**

Описание тестируемых эффектов	Chi-Sq. ( $\chi^2$ ) статистика	Число степеней свободы	Вероятность $H_0$ – гипотезы
Временные случайные	128,315584	3	0,0000

Источник: рассчитано авторами.

По результатам теста в табл. 4 нулевая гипотеза  $H_0$  отвергается (ее вероятность равна нулю), следовательно, модель с включенными случайными эффектами дает несостоятельные оценки. Таким образом, сделан выбор в пользу гипотезы, учитывающей индивидуальные эффекты, то есть в пользу модели с фиксированными эффектами. Уравнение в модели с фиксированными эффектами дает состоятельные результаты, учитывающие индивидуальные эффекты.

Результаты эмпирического анализа, основанного на эконометрическом моделировании (табл. 3), показали, что построенная модель хорошо специфицирована. Модель объясняет более 94% различий зависимой переменной, коэффициент детерминации  $R^2$  составил 94,45%. Коэффициенты при всех объясняющих переменных обладают высокой значимостью. В целом следует отметить, что параметры модели полностью отражают индивидуальные особенности используемой расширенной модели экономического роста на основе производственной функции Кобба – Дугласа с возрастающей отдачей от масштаба, а именно: все эластичности при независимых переменных положительны, каждая по величине меньше единицы, но их сумма больше единицы.

Построенная выше модель позволяет оценить среднюю мультифакторную производительность в российских регионах. В модели, представленной в табл. 3, этот показатель обозначен как A. Экспонируя значение  $\ln A$  (-2,832302), получаем, что A оценивается на уровне 0,058877.

В табл. 5 представлено доказательство подтверждения гипотезы о наличии постоянной эластичности влияния степени распространения использования широкополосного интернета в организациях ( $E2$ ) на региональную производительность труда в России (см. спецификацию модели в уравнении (3) выше).

Таблица 5

**Модель оценки влияния распространения широкополосного интернета в организациях на региональную производительность труда в России, включены пространственные и временные фиксированные эффекты**

*Метод оценивания: МНК*

*Тип данных: панельные*

*Зависимая переменная:  $\ln(Q/L)$*

*Периоды: 2010–2020 гг.*

*Количество периодов: 11*

*Количество наблюдений: 891*

Переменная	Коэффициент	(Р-значение)
Ln C	5,429479	(0,0000)
Ln E2	0,116822	(0,0020)
R <sup>2</sup>	0,990491	
R <sup>2</sup> уточненный	0,989408	
Вероятность по F-статистике	0,000000	

*Примечание:* в скобках указаны вероятности нуль-гипотезы по  $t$ -статистике для коэффициентов перед независимыми переменными.

*Источник:* рассчитано авторами.

Аналогично предыдущим моделям модель, представленная в табл. 5, хорошо специфицирована, обладает высокой объясняющей способностью. В модель включены пространственные и временные фиксированные эффекты на основании результатов теста Хаусмана.

Полученные результаты позволяют утверждать, что гипотеза взаимосвязи цифровой инфраструктуры бизнеса и региональной производительности труда в России, не нашедшая подтверждение в (Волкова, Романюк, 2020), получила свое однозначное подтверждение в настоящем исследовании. Такой результат был получен в результате использования регрессионного моделирования по панельным данным российских регионов. Устойчивость результата обеспечена, кроме того, длительным периодом наблюдения и использованием эффективных и широко распространенных инструментов эконометрического моделирования.

## Выводы

Приведенные теоретические положения и результаты эмпирического анализа позволяют сделать вывод о том, что развитие широкополосной связи в сети интернет способствовало экономическому росту в регионах России за период с 2010 по 2020 г. В частности, доказано существование постоянной эластичности валового регионального продукта по показателю  $E2$  (степень распространения широкополосного интернета в организациях региона). Она оценивается на уровне 0,47. Выявленный результат положительный и статистически значим. Представленный результат количественно отличается от аналогичного результата, полученного Е.А. Пономаревой (2021,) в силу различий в спецификации моделей, из-за использования разных наборов панельных данных, методик регрессионного моделирования и объясняющих переменных.

Кроме того, доказано существование постоянной эластичности региональной производительности труда в России по показателю  $E2$ . В результате подтверждена гипотеза, выдвинутая, но не подтвержденная в (Волкова, Романюк, 2020).

Обзор региональных исследований и результаты настоящего исследования позволяют утверждать, что степень распространения широкополосной связи в сети интернет является одним

из важных показателей экономического роста регионов России. Более того, применение расширенной модели экономического роста Р. Солоу для регионов России доказывает инвестиционный характер проектов повышения проникновения широкополосного интернета в регионах. В частности, доказано, что вложенные в указанные проекты инвестиции окупаются в виде прироста как ВРП, так и региональной производительности труда. Таким образом, предложена и апробирована методика количественной оценки экономического эффекта функционирования элементов цифровой инфраструктуры на примере распространения широкополосного интернета в регионах России. Построенные модели могут использоваться для оценки эффективности проектов развития сети широкополосного интернета в регионах России. Следовательно, на основе таких моделей будет возможно рассчитать показатели инвестиционной привлекательности для каждого региона. Кроме того, модель, представленная в табл. 3, может быть использована для построения рейтинга регионов России по эффективности использования сетей широкополосного интернета в целях стимулирования экономического роста. Наши будущие исследования будут продолжены в указанных направлениях.

## Литература / References

- Волкова Н.Н., Романюк Э.И. (2020). Взаимосвязь уровня развития цифровой среды и производительности труда. *Проблемы развития территории* (4), 109–123. [Volkova, N., Romanyuk, E. (2020). The relationship between the level of development of the digital environment and labor productivity. *Problems of Territory Development* (4), 109–123 (in Russian)]. DOI: 10.15838/ptd.2020.4.108.7
- Имашева И.Ю. (2022). Специфика развития широкополосного интернета в России. *Экономика, предпринимательство и право* **12**(10), 2835–2850. [Imasheva, I. (2022). Specifics of broadband Internet development in Russia. *Economics, Entrepreneurship and Law* **12**(10), 2835–2850 (in Russian)]. DOI: 10.18334/epp.12.10.116373
- Имашева И.Ю., Крамин Т.В. (2022). Цифровое неравенство: модернизация кривой Кузнецца в цифровую эпоху. *Russian Journal of Economics and Law* **16**(4), 716–727. [Imasheva, I., Kramin, T. (2022). The digital divide: Modernizing the Kuznets curve for the digital age. *Russian Journal of Economics and Law* **16**(4), 716–727 (in Russian)]. DOI: 10.21202/2782-2923.2022.4.716-727
- Макаркин Н.П., Грина А.П., Алферина О.Н., Корнеева Н.В. (2020). Цифровизация бизнеса в условиях пандемии. *Вестник Алтайской академии экономики и права* (11) (часть 1), 80–85. [Makarkin, N., Gorina, A., Alferina, O., Korneeva, N. (2020). Digitalization of business in a pandemic. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law* (11), part 1, 80–85 (in Russian)]. DOI: 10.17513/vael.1397
- Мамедьяров З.А. (2021). Ускорение цифровизации на фоне пандемии: мировой опыт и Россия. *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право* **14**(4), 92–108. [Mamedyarov, Z. (2021). Accelerating digitalization against the backdrop of a pandemic: Global experience and Russia. *Contours of global transformations: Politics, Economics, Law* **14**(4), 92–108 (in Russian)]. DOI: 10.23932/2542-0240-2021-14-4-6
- Пономарева Е.А. (2021). Цифровизация экономики как движущая сила экономического роста: только ли инфраструктура имеет значение? *Журнал Новой экономической ассоциации* (3), 51–68. [Ponomareva, E. (2021). Digitalization of the economy as a driving force of economic growth: Is it only infrastructure that matters? *Journal of the New Economic Association* (3), 51–68 (in Russian)]. DOI: 10.31737/2221-2264-2021-51-3-3
- Amirov, L., Avazov, N. (2022). The impact of digital infrastructure, foreign direct investment and trade openness on economic growth: The case of Uzbekistan. In: *International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking*. Cham: Springer Nature Switzerland, pp. 322–332.
- Aschauer, D. (1989a). Is public expenditure productive? *Journal of Monetary Economics* **23**(2), 177–200.
- Aschauer, D. (1989b). Public investment and productivity growth in the Group of Seven. *Economic Perspectives* **13**(5), 17–25.
- Aschauer, D. (1989c). Does public capital crowd out private capital? *Journal of Monetary Economics* **24**(2), 171–188.

- Atif, S., Endres, J., Macdonald, J. (2012). *Broadband infrastructure and economic growth: A panel data analysis of OECD countries*. SSRN Working paper № 2166167. DOI: 10.2139/ssrn.2166167
- Choi, C., Yi, M. (2009). The effect of the Internet on economic growth: Evidence from cross-country. *Economics Letters* **105**, 39–41.
- Cieslik, A., Kaniewska, M. (2004). Telecommunications infrastructure and regional economic development: The case of Poland. *Regional Studies* **38**, 713–725.
- Czernich, N., Falck, O., Kretschmer, T., Woessmann, L. (2011). Broadband infrastructure and economic growth. *The Economic Journal* **121**(552), 505–532.
- Dimelis, S., Papaioannou, S. (2010). FDI and ICT effects on productivity growth: A comparative analysis of developing and developed countries. *European Journal of Development Research* **22**(1), 79–96.
- Farhadi, M., Ismail, R., Fooladi, M. (2012). Information and communication technology use and economic growth. *PLoS ONE* **7**, e48903.
- Frieden, R. (2023). *Best practices in promoting widespread and affordable broadband service after the Covid-19 pandemic*. SSRN Working Paper № 4628562. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4628562>
- Guo, Q., Geng, C., Yao, N., Zhao, L. (2024). Can digital infrastructure enhance economic efficiency? Evidence from China. *Quality & Quantity* **58**(2), 1729–1752.
- Kabaklarli, E., Atasoy, B. (2019). Broadband infrastructure and economic growth: a panel data approach for selected countries. In: *DIEM: Dubrovnik International Economic Meeting* **4**(1), 105–114.
- Kroll, K. (2023). COVID-19 and broadband internet: Historic government funding in the wake of a global pandemic poised to bridge the digital divide. *Duquesne Law Review* **61**, 283.
- Latif, Z., Latif, S., Ximei, L., Pathan, Z., Salam, S., Jianqiu, Z. (2018). The dynamics of ICT, foreign direct investment, globalization and economic growth: Panel estimation robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Telematics and Informatics* **35**, 318–328.
- Lovic, L. (2012). Information-communication technology impact on labor productivity growth of EU developing countries. *Zbornik radova Ekonomskog fakulteta u Rijeci, časopis za ekonomsku teoriju i praksu – Proceedings of Rijeka Faculty of Economics, Journal of Economics and Business* **30**(2), 223–245.
- Maciulyte-Sniukiene, A., Butkus, M. (2022). Does infrastructure development contribute to EU countries' economic growth? *Sustainability* **14**(9), 5610.
- Majeed, M., Ayub, T. (2018). Information and communication technology (ICT) and economic growth nexus: A comparative global analysis. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences* **12**, 443–476.
- Makkar, S., Rajpal, A. (2023). Impact of digital infrastructure on Indian economic growth. *Indian Journal of Industrial Relations* **59**(1), 47.
- Meijers, H. (2014). Does the Internet generate economic growth, international trade, or both? *International Economics and Economic Policy* **11**, 137–163.
- Myovella, G., Karacuka, M., Haucap, J. (2020). Digitalization and economic growth: A comparative analysis of Sub-Saharan Africa and OECD economies. *Telecommunications Policy* **44**(2), 101856.
- Najarzadeh, R., Rahimzadeh, F., Reed, M. (2014). Does the Internet increase labor productivity? Evidence from a cross-country dynamic panel. *Journal of Policy Modeling* **36**, 986–993.
- Nasab, E., Aghaei, M. (2009). The effect of ICT on economic growth: Further evidence. *International Bulletin of Business Administration* **5**, 46–56.
- Nchake, M., Shuaibu, M. (2022). Investment in ICT infrastructure and inclusive growth in Africa. *Scientific African* **17**, e01293.
- Niebel, T. (2018). ICT and economic growth-Comparing developing, emerging and developed countries. *World Development* **104**, 197–211.
- Pradhan, R., Mallik, G., Bagchi, T. (2018). Information communication technology (ICT) infrastructure and economic growth: A causality evinced by cross-country panel data. *IIMB Management Review* **30**(1), 91–103.

- Tang, J., Zhao, X. (2023). Does the new digital infrastructure improve total factor productivity? *Bulletin of Economic Research* **75**(4), 895–916.
- Thompson, H., Garbacz, C. (2011). Economic impacts of mobile versus fixed broadband. *Telecommunications Policy* **35**, 999–1009.
- Timilsina, G., Hochman, G., Song, Z. (2020). *Infrastructure, economic growth, and poverty: A review*. World Bank Policy Research Working Paper № 9258. World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/33821>
- Toader, E., Firtescu, B., Roman, A., Anton, S. (2018). Impact of information and communication technology infrastructure on economic growth: An empirical assessment for the EU countries. *Sustainability* **10**(10), 3750.
- Veeramacheneni, B., Ekanayake, E., Vogel, R. (2011). Information technology and economic growth: A causal analysis. *Southwestern Economic Review* **34**, 75–88.
- Yousefi, A. (2011). The impact of information and communication technology on economic growth: Evidence from developed and developing countries. *Economics of Innovation and New Technology* **20**(6), 581–596.
- Zagorchev, A., Vasconcellos, G., Bae, Y. (2011). Financial development, technology, growth and performance: Evidence from the accession to the EU. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money* **21**, 743–759.
- Zhou, A. (2022). Digital infrastructure and economic growth – Evidence for China. *Journal of Infrastructure, Policy and Development* **6**(1), 1397.