

В.В. Миронов

Институт «Центр развития» НИУ ВШЭ, Москва

А.О. Кузнецов

Институт «Центр развития» НИУ ВШЭ, Москва

Л.Д. Коновалова

Институт «Центр развития» НИУ ВШЭ, Москва

Об оценке эффектов цифровизации по видам экономической деятельности на основе новых отраслевых показателей^{1,2}

Аннотация. Статья посвящена проблеме количественной оценки отраслевых эффектов цифровизации экономики. Описан мировой опыт оценки влияния цифровой трансформации на экономический рост. Предложена и апробирована на панели промышленно развитых экономик методика оценки отраслевых эффектов цифровизации, основанная на модифицированном подходе ОЭСР, который ранее использовался международными экспертами и Минэкономразвития России на макроуровне. Этот подход предполагает эконометрические оценки влияния на основе панельных регрессий динамики индикаторов экономической политики (в том числе цифровизации) на компоненты особым образом дезагрегированной производственной функции. Ключевое преимущество этого подхода состоит в том, что он представляет рост ВВП (в нашем подходе – отраслевого выпуска) как сумму отдельных и независимых компонентов предложения (капиталоемкость выпуска, вовлеченность рабочей силы и совокупная факторная производительность (TFP)), что позволяет сначала оценить эффект влияния цифровизации на каждый компонент отдельно, а затем с помощью взвешивания оценок и их суммирования со вкладом TFP, определить общее влияние цифровизации на рост выпуска секторов. Переход при оценке эффектов на уровень секторов стал возможен благодаря недавнему включению в базу EU KLEMS отраслевых показателей цифровизации по 40 секторам 30 стран в период 1995–2019 гг. Полученные при апробации предварительные оценки влияния цифровизации на рост отраслевого выпуска (по десяти отобраным секторам) позволяют отметить серьезную дифференциацию эффектов по видам экономической деятельности, а также указать на некоторые возможности усиления результативности внедрения цифровых технологий при проведении экономической политики в России с учетом описанных в статье некоторых характеристик структуры ее экономики.

Ключевые слова: *цифровая трансформация, структура экономики, передовые технологии, производственная функция, EU KLEMS, экономическая политика.*

Классификация JEL: E20, E23, E26, E66, C54.

Для цитирования: **Миронов В.В., Кузнецов А.О., Коновалова Л.Д.** (2024). Об оценке эффектов цифровизации по видам экономической деятельности на основе новых отраслевых показателей // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 1 (62). С. 143–170.

DOI: 10.31737/22212264_2024_1_143-170

EDN: NQIKBD

¹ Авторы выражают благодарность аналитику Института «Центр развития» НИУ ВШЭ Наталье Владимировне Самсоновой за помощь в проведении расчетов и подготовке обзора литературы.

² Исследование осуществлено в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ.

1. Введение

В 2022 г. на фоне серьезного усложнения международных отношений условия проведения экономической политики в России резко изменились. Влияние комбинированных шоков (спроса и предложения) делает целесообразным поиск новых взаимоувязанных ориентиров в области стабилизирующей макроэкономической (денежно-кредитной и фискальной) и структурной политики. При этом резко возрастает актуальность выявления приоритетных секторов для направления ограниченных ресурсов бюджета на решение тактических и стратегических структурных проблем экономики. К последним можно отнести освоение освободившихся ниш на внутреннем рынке и выход (на фоне санкционных ограничений) на новые экспортные рынки на базе углубления цифровой трансформации экономики, и прежде всего цифровой индустриализации, являющейся одним из важнейших направлений развития мировой экономики³. Такую своего рода гибридную политику, на наш взгляд, можно назвать макроструктурной⁴, но в данной статье мы затронем некоторые характеристики именно структурной ее составляющей. Эти аспекты структурной политики связаны с оценкой экономических эффектов использования в экономике цифровых активов и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Последние могут рассматриваться и как технологии общего назначения (ТОН), и как элементы новой промышленной революции.

В экономической литературе отмечается, что мировая экономика пережила три промышленные революции. Первая была результатом использования энергии пара и механизации труда, вторая – электричества, энергии ископаемого топлива, развития металлургии (бессемеровский процесс) и внедрения конвейера, третья произошла благодаря развитию атомной энергетики, внедрению роботов и информационно-коммуникационных технологий (персональных компьютеров и Интернета). При этом дискуссионным остается вопрос о наступлении четвертой революции, которая развивает достижения своей предшественницы. Предположительно в ее основе лежит ускорение цифровизации и развитие на этой основе спектра новых технологий⁵. На наш взгляд, можно согласиться с авторами обзора литературы по теме связи цифровизации с производительностью в мировой экономике (Mollins, Taskin, 2023), которые пишут, что вопрос о том, является ли цифровизация новым элементом революции в области ИКТ или новыми ИКТ самими по себе, представляется второстепенным по сравнению с экономическим потенциалом цифровизации. На наш взгляд, все же этот потенциал, учитывая наличие так называемых «парадоксов производительности» (подробнее о парадоксах – см. ниже), еще нуждается в дальнейшем изучении и верификации.

³ Industrial Development Report 2020: Industrializing in the digital age.

⁴ В данном случае, описывая макроструктурный подход в проведении экономической политики, мы имеем в виду общее понятие, а не конкретно одно из его частных проявлений, например новый девелопментализм, основанный на так называемой структуралистской макроэкономике развития, которую можно понимать как синтез классической теории развития, латиноамериканского структурализма и посткейнсианских моделей роста. Одной из характеристик данного направления является ключевая роль обрабатывающей промышленности и реального обменного курса в процессе экономического развития (см., например, (Bresser-Pereira, 2019; Da Costa Oreiro, Kalinka, 2022)).

⁵ Более подробно см. об этом в обзорной работе (Faucher, Houle, 2023).

2. Структурная перестройка на базе цифровой трансформации как тренд развития российской и мировой экономики

В экономической литературе складывается мнение, что, несмотря на замедление роста производительности труда в последние десятилетия на фоне развития цифровых ИКТ⁶, расширения глобальных цепочек стоимости и накопления человеческого капитала в развивающихся странах⁷, такой вид капитала, как цифровые активы, могут (с определенным временным лагом) значительно повысить эффективность производства и рыночную стоимость компаний. Это связано с их многообразным воздействием на экономику (Spence, 2021; НИУ ВШЭ, 2019). Технологии анализа больших данных повышают эффективность инвестиций.

В государственном секторе положительный внешний эффект накопления данных помогает улучшать управление экономикой, в частности за счет развития системы непрерывной оценки правительством последствий политики в режиме реального времени и улучшения прогнозирования (подробнее см. в (Höchtl, Paruycek, Schöllhammeret, 2016; Coulton et al., 2015)). В секторах здравоохранения и образования цифровые технологии дают возможность повышать социальное благосостояние, например с помощью не массового, а более избирательного ограничения мобильности населения при пандемиях, дистанционной диагностики удаленных и малодоступных групп населения, развития дистанционного образования. Двусторонние цифровые мегаплатформы повышают согласованность спроса и предложения, создают условия для использования эффекта масштаба, снижают издержки и сдерживают инфляцию на потребительском рынке. В современных российских условиях цифровая трансформация экономики может позволить на платформенной основе преобразовать бизнес-процессы (как в сфере импортозамещения, так и экспорта), найти инновационные подходы к развитию финансового сектора, включая поиск и тестирование новых форм международных расчетов на основе цифровых валют и криптовалюты, а возможно – и современных механизмов межгосударственного бартера, что ускорит подстройку экономики к новой структуре относительных цен.

Информационно-коммуникационные технологии являются базой для развития ряда передовых технологий⁸, высокую степень внедрения которых обеспечивает, по определению экспертов профильных организаций, взаимодействие инвестиционного, технологического и производственного потенциала фирм⁹. Однако определяющее значение имеет производственный потенциал (технологии, сырье, логистика и т.д.), что в принципе дает некоторые конкурентные

⁶ В данном случае, говоря о цифровых ИКТ как синониме цифровизации и новой стадии развития этих технологий, мы используем определение, которое дается в недавней работе (Creutzig et al., 2022), где пишется, что «в широком смысле ИКТ – это любое средство хранения, обработки или передачи единиц информации. Это может быть что угодно – от шумерской таблички в далеком прошлом до суперкомпьютерного комплекса в настоящем. Оцифровка – относительно недавняя форма хранения информации, при которой информация сводится к последовательности нулей и единиц».

⁷ Так называемый «второй парадокс производительности». Первый был отмечен Робертом Солоу в 1980-е годы (Solow, 1987). Инвестиции в информационные технологии приводили тогда в течение какого-то периода времени не к росту выгод, а только к эскалации самого же инвестиционного процесса.

⁸ Передовые технологии (по определению ЮНКТАД) представляют собой группу новых технологий, опирающихся на преимущества цифровизации и совместного использования, что создает условия их взаимодействия для увеличения отдачи. При этом выделяется одиннадцать таких технологий: искусственный интеллект (ИИ), Интернет вещей (ИВ), большие данные, блокчейн, пятое поколение мобильной связи (5G), объемная печать, робототехника, дроны, генная инженерия, нанотехнологии и солнечные фотоэлектрические системы (ФЭС) (UNCTAD, 2021). В то же время, искусственный интеллект – это (по определению ЮНИДО) не отдельная технология, а семейство пяти технологий: компьютерного зрения, естественного языка, виртуальных помощников, автоматизации роботизированных процессов и продвинутого машинного обучения (UNIDO, 2020).

⁹ UNIDO, 2020.

преимущества российской экономике в силу наличия широкого спектра природных ресурсов¹⁰ и возможностей широтной диверсификации производства и транспортировки.

Важной отличительной чертой экономики России является наличие национальных интернет-платформ (Яндекс, экосистемы Сбер и Тинькофф, развитая интернет-торговля), а также ряда средне- и высокотехнологичных секторов обрабатывающей промышленности (атомная и химическая промышленность, космос и авиационное и др.). Однако в мировом рейтинге 2021 г. из 2500 компаний с наибольшими объемами вложений в исследования и разработки (ИиР, или R&D-компании) российских было только две (ОАК и КАМАЗ), при том что у стран с близким уровнем развития – заметно больше (например, у Турции – семь, у Тайваня – 85; однако у Польши – тоже две)¹¹.

Оценки влияния технологической (прежде всего цифровой) трансформации на экономику остаются неопределенными и разнятся от алармистских, указывающих на резкое замедление темпов роста, массовую безработицу и скопление основной массы работников в низкопроизводительных секторах сферы услуг (Aghion, Jones B., Jones C., 2017), до сверхоптимистических, постулирующих ускорение темпов роста мировой экономики в связи с ростом скорости вычислений современных компьютеров и заменой стандартных производственных ресурсов так называемыми цифровыми (Nordhaus, 2017). В условиях пандемийных и геополитических шоков 2020–2023 гг. прогнозы стали еще более неопределенными. В силу этого растет значимость стилизованных эмпирических оценок на уровне конкретных секторов.

В большинстве развитых стран приняты государственные программы развития и стимулирования цифровых технологий. Пионером в этой сфере является Германия, представившая еще в 2011 г. государственную стратегию «Индустрия 4.0». В России подобная стратегия – Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» – обновлена в августе 2022 г. и, видимо, на фоне активизации процессов структурной перестройки российской экономики на фоне санкций и далее будет уточняться, что делает еще более актуальной оценку отраслевых эффектов цифровизации, которая весьма сложна. Например, авторы известного исследования (Brunjolfsson, Rock, Syverson, 2017) ранее прогнозировали, что сокращение числа операторов автотранспортных средств в США с 3,5 до 1,5 млн человек за счет внедрения самоуправляемых автомобилей способно дать прирост на 0,17% к ежегодному росту производительности в течение десятилетия. Данная оценка была основана на предположении, что самоуправляемые автомобили могут существенно трансформировать многие смежные нетранспортные отрасли¹², что, однако, не гарантировано.

В сегодняшних условиях для антикризисной государственной поддержки в ходе структурной перестройки можно было бы учитывать характеристики секторной структуры российской экономики не только с точки зрения выбора отраслей экономики, которые более уязвимы к кризису в силу долговременных базовых

¹⁰ Помимо нефти и газа, Россия производит от 4 до 10% стали, кобальта, меди, алюминия, никеля, платины, золота, 30–40% алмазов и палладия, страна обеспечивает до 20% мирового экспорта пшеницы.

¹¹ EC IRI, 2022 (<https://iri.jrc.ec.europa.eu/data>).

¹² В частности, авторы этой работы предполагали, что на фоне совершенствования самоуправляемых автомобилей «розничная торговля может значительно продвинуться вперед в направлении доставки на дом по требованию, создавая выгоды для благосостояния потребителей и дополнительно освобождая ценные земли с потенциально высокой плотностью застройки, используемые в настоящее время для парковки. Трафик и безопасность могут быть оптимизированы, а страховые риски могут снизиться. С учетом более чем 30 000 смертей в результате автомобильных аварий в США каждый год, и почти миллиона во всем мире, есть возможность спасти много жизней».

характеристик (например, долгосрочные темпы роста совокупной факторной производительности, доля промежуточной продукции и импортных комплектующих в выпуске), но и с точки зрения ретроспективной эмпирической оценки получаемых эффектов от цифровизации на какой-либо панели объектов наблюдения, при этом не на макроуровне (чему посвящено много работ), а именно на отраслевом уровне (что мы и осветим далее).

Возможности оценки эффектов цифровизации на отраслевом уровне (уровне видов экономической деятельности (ВЭД)) резко улучшились в связи с появлением в 2021 г. новой редакции статистической базы EU KLEMS, впервые содержащей данные о накоплении ИКТ-капитала и инновациях на уровне ВЭД по 30 странам за 1995–2019 гг.¹³ Поскольку использование этих данных для оценки эффектов цифровизации на уровне секторов экономики пока широко не описано в литературе, это придает рабочей гипотезе и исследованию, описанным в данной статье, элементы новизны.

3. Мировой опыт оценки влияния цифровизации на экономику (модели и эмпирические оценки)

Первый анализ влияния предшественника цифровых технологий (фиксированной телефонной связи) на экономический рост был проведен в начале 1960-х годов исследователями Всемирного банка (Jipp, 1963). Далее исследования развивались медленно, из-за отсутствия объемных наборов данных и проблем учета каузальности (направленности связи) в эконометрических расчетах. Позже Р. Солоу пришел к выводу, что «компьютерный век можно увидеть везде, кроме статистики производства» (Solow, 1987), т.е. был зафиксирован первый в экономической истории так называемый «парадокс производительности». А еще позже Р. Гордон заявил, что компьютеры внесли лишь небольшой вклад в производительность, потому что «с компьютерами что-то неладно» (Gordon, 1998). В начале XXI в. все же удалось более точно определить экономическое воздействие информационных технологий и выявить их влияние в различных регионах мира (Jorgenson, Samuels, Stiroh, 2008; Ark, Inklaar, McGuckin, 2002). Анализ, в частности, показал, что более быстрый рост производительности труда в США по сравнению со странами ЕС можно объяснить большей долей занятости в сфере ИКТ и более быстрым ростом отраслей, интенсивно использующих ИКТ (Ark, Inklaar, McGuckin, 2003).

Формально установить причинно-следственную (а не просто корреляционную) связь между цифровизацией и ростом производительности в условиях выросшей взаимозависимости новых технологий и влиянием прочих факторов¹⁴ по-прежнему нелегко. Однако исследования проводятся. В целом идеи оценки количественного влияния цифровых технологий и их высшей формы — искусственного интеллекта на экономику можно сгруппировать, по крайней мере по двум направлениям — академические исследования и работы крупных консалтинговых организаций.

Академические экономисты сдержаны в оценке потенциального экономического воздействия массового внедрения цифровых технологий. Их исследования зачастую поддерживают опасения, что новые технологии уничтожат рабочие места и углубят неравенство, что обусловлено выводами из построенных экономико-математических моделей с использованием различных подходов (например, (Sachs, Benzell, LaGarda,

¹³ The EUKLEMS & INTANProd productivity database (2021 г.)

¹⁴ Связи между внедрением цифровых технологий и производительностью сложны, а их эмпирическая идентификация затруднительна. Основная причина заключается в том, что цифровые технологии обычно поддерживают производительность в сочетании с другими факторами. Выявляется сильная взаимодополняемость цифровых технологий, организационного капитала и управленческих навыков, а также цифровых технологий между собой (Bartelsman et al., 2017).

2015; Hémons, Olsen, 2016; Acemoglu, Restrepo, 2017; Aghion, Jones B., Jones C., 2017)). Для академических моделей, рассматривающих вопросы, связанные с цифровизацией в форме внедрения искусственного интеллекта (ИИ), обычно характерны следующие моменты: 1) является ли ИИ заменой или дополнением к труду; 2) на какие временные горизонты с точки зрения поколений распространится влияние ИИ; 3) на каком уровне (макро- или микро-) необходимо моделировать ИИ. Общее предположение в основе всех этих моделей состоит в том, что цифровые технологии и искусственный интеллект могут заменить труд, хотя и в разной степени и на разных уровнях. Ключевым элементом в этих моделях является относительная цена труда и капитала¹⁵.

Однако до сих пор многие проблемы остаются не затронутыми при включении новых технологий и искусственного интеллекта в экономические модели. Одна из них связана с вопросом о том, что такое человек. В экономике роль человека обычно сводится к «труду» и «оптимизирующему агенту» одновременно, но в эндогенных моделях роста «труд» отличается от «человеческого капитала». Развитие ИИ еще больше ставит под сомнение роль человека в экономической системе. Является ли ИИ заменой «труда», или «человеческого капитала», или даже агентом принятия решений? Возможно, что более детальное изучение этих вопросов в будущем поможет более четко проанализировать влияние цифровых технологий на общество.

Уже сейчас, с точки зрения многих консалтинговых организаций, цифровые технологии и ИИ имеют большой потенциал в повышении качества жизни человека и экономического роста. И естественное следствие их внедрения состоит в том, что отрасли, инвесторы и потребители должны принять их как своего рода благословение (например, (BCG, 2015; MGI, 2017; PwC, 2018)). В исследованиях консалтинговых структур приводится много фактов позитивного влияния цифровизации на бизнес-процессы и экономику в целом. Эмпирические исследования частного плана были обобщены в последние годы, по крайней мере в двух докладах известных консалтинговых структур, связанных с оценкой влияния цифровизации на мировую экономику и некоторые важнейшие отрасли¹⁶.

В частности, по оценкам в (PwC, 2018), на основе построенной модели показано, что в результате повышения производительности за счет внедрения цифровых технологий и ИИ, к 2030 г. ВВП стран мира может увеличиться на 16,6 трлн долл. (15,8%). При этом ожидается, что на долю потребительских факторов придется основная часть воздействия – 9,1 трлн долл. (8,0%). Другими словами, по оценкам PwC, развитие сферы потребления обеспечит более половины совокупного влияния новых технологий и ИИ на прирост мирового ВВП.

По оценкам компании Маккинзи (McKinsey Global Institute, 2017; Bughin et al., 2018), цифровые технологии и ИИ потенциально могут принести глобальной экономике дополнительно около 13 трлн долл. к 2030 г., или около 16% совокупного ВВП по сравнению с 2017 г. Это дает около 1,2% дополнительного прироста

¹⁵ См., например, обзорную работу (Lu, Zhou, 2019).

¹⁶ Их результаты отражены в онлайн-приложении к статье (п. 1, табл. III) (<https://cloud.mail.ru/public/n6L7/FDvueJobF>). Там показано, что хотя наиболее широко обсуждаемым и хорошо понятным каналом воздействия цифровых технологий и ИИ на экономику является активность фирм, использующих новые технологии для повышения эффективности (производительности и стимулирования мультипликатора в экономике), менее понятным, но не менее важным для фирм является потенциал их применения для повышения качества потребительских товаров и услуг. Возможность собирать, хранить и анализировать данные в масштабе, со скоростью и способами облегчаемыми новыми технологиями, позволяет компаниям улучшить качество продукции и адаптировать их к потребностям потребителей, повысив их ценность. Новые технологии могут также сократить время, которое потребители тратят на решение малочисленных задач или сократить повторяющиеся итерации в процессе потребления, что приводит к увеличению потребительского спроса. В среднем, по имеющимся оценкам, потребители готовы платить дополнительные 25% за персонализированный товар по сравнению с его неперсонализированным эквивалентом.

ВВП в год и, по мнению экспертов этой организации, будет сравнимо с влиянием других технологий общего назначения в истории. Например, по приводимым оценкам, введение паровых двигателей в период с 1850 по 1910 г. обеспечивало рост производительности труда на 0,3% в год. Некоторые исследования показали, что внедрение роботов в производство в 1990-е годы давало 0,4% прироста в год, в 2000-х годах влияние информационно-коммуникационных технологий и таких ранних цифровых технологий, как широкополосная связь, добавляло к росту производительности труда 0,6% в год.

При этом в большинстве эмпирических исследований последних пятнадцати лет с достаточно высокой достоверностью показано, что цифровые технологии действительно поддерживают производительность (Syverson, 2011; Gal et al., 2019). По имеющимся оценкам, 10%-ное увеличение доли фирм, использующих высокоскоростной широкополосный Интернет на уровне отрасли, связано с увеличением мультифакторной производительности на 1,4% для средней фирмы в отрасли через год и на 3,9% – через три года в странах ЕС (Gal et al., 2019). Также есть данные об ускорении роста производительности благодаря внедрению широкополосного Интернета на 7–10% в Новой Зеландии (Grimes, Ren, Stevens, 2011). Это же справедливо в отношении онлайн-платформ (Bailin et al., 2019).

В последнее время, начиная с 2019 г., появились новые значимые работы по оценке влияния цифровизации на экономический рост. В целом экономические эффекты от развития ИКТ по-прежнему исследуют по двум основным направлениям (исключив case-study).

Направление 1: *макроэкономические исследования*, близкие по методам к модели эндогенных технических изменений Р. Барро (Barro, 1991). В рамках данного подхода анализируется совокупное влияние технологий связи на экономическое развитие, на рост ВВП, производительность и занятость. Здесь прежде всего можно указать на модель Международного союза электросвязи (ITU, 2020). Методика эконометрического моделирования в данной работе предполагает применение панельных регрессий для группы стран и четырех уравнений: совокупной производственной функции, моделирующей экономику в целом, и трех функций, характеризующих сферу телекоммуникаций – спроса, предложения и выхода¹⁷.

Направление 2: *исследование влияния развития телекоммуникаций на экономику с микроэкономической точки зрения*. Анализ проводится на уровне фирмы

¹⁷ Как указано в (ITU, 2020) при описании принципиальной схемы применяемой модели на примере подвижной связи:

- «1. В производственной функции устанавливается связь ВВП с основным капиталом, рабочей силой и инфраструктурой подвижной связи, выраженной через проникновение подвижной связи.
 2. В функции спроса устанавливается связь проникновения подвижной связи со средней склонностью физических лиц к потреблению, выраженной через ВВП на душу населения, ценой на услуги подвижной связи, выраженной через средний доход в расчете на одного абонента (ARPU), процентной долей сельского населения и уровнем интенсивности конкуренции на рынке подвижной связи, измеренным с использованием индекса Херфиндала – Хиршмана (HHI).
 3. В функции предложения устанавливается связь доходов отрасли подвижной связи с уровнями цен на услуги подвижной связи, выраженными через ARPU, индексом HHI для концентрации рынка подвижной связи и ВВП на душу населения.
 4. В уравнении выхода устанавливается связь ежегодных изменений в проникновении подвижной связи с доходами отрасли подвижной связи, выраженными через капитал, инвестированный в той или иной стране в одном и том же году. Ниже представлено эконометрическое описание этой модели:
- 1) совокупная производственная функция: $GDP_t = a_1 K_t + a_2 L_t + a_3 Mob_Pen_t + e_t$;
 - 2) функция спроса: $Mob_Pen_t = b_1 Rural_t + b_2 Mob_Price_t + b_3 GDPC_t + b_4 HHI_t + e_t$;
 - 3) функция предложения: $Mob_Rev_t = c_1 MobPr_t + c_2 GDPC_t + c_3 HHI_t$;
 - 4) функция выхода: $\Delta Mob_Pen_t = d_1 Mob_rev_t + e_4$ ».
- Здесь GDP_t – ВВП; K_t – основной капитал; L_t – рабочая сила (число занятых); Mob_Pen_t – проникновение мобильной связи (число подключений на 100 жителей); $Rural_t$ – процентная доля сельского населения; Mob_Price_t – цена на услуги подвижной связи, выраженная через среднюю выручку на одного абонента; $GDPC_t$ – ВВП на душу населения; HHI_t – уровень интенсивности конкуренции на рынке подвижной связи, измеренный с использованием индекса Херфиндала – Хиршмана; Mob_Rev_t – доходы отрасли подвижной связи.

с целью вычленения вклада технологий связи и инвестиций в ИКТ в эффективность бизнес-процессов и рост продаж. Примером микроэкономического подхода к теме оценки влияния цифровизации на экономический рост является работа (Gal et al., 2019), в которой дается оценка того, как внедрение ряда цифровых технологий влияет на производительность фирмы. Авторы опираются на два основных источника данных: базу данных Евростата по цифровой экономике и обществу (Eurostat Digital Economy and Society database) для анализа процессов внедрения цифровых технологий и базу данных Орбис (Orbis database) по производительности и другим характеристикам на уровне фирм. В целом, как утверждается в (Gal et al., 2019), результаты расчетов показывают, что по крайней мере в среднем на уровне фирм нет явного парадокса производительности: цифровизация отрасли действительно связана с более высокими показателями производительности фирм. При этом рост производительности является самым сильным для предприятий с уже высоким уровнем производительности и он не зависит систематически от размера фирмы с точки зрения объема выпуска.

Хотя исследования распространения и воздействия новых цифровых технологий на уровне фирм остаются ограниченными, определенные выводы на эту тему можно сделать из литературы о детерминантах внедрения ИКТ. В частности, недавнее исследование, посвященное использованию немецкими фирмами аналитики больших данных, предполагает, что новые методы анализа данных расширяют возможности фирм в принятии решений, тем самым поддерживая инновационность (Niebel, Rasel, Viete, 2018). Установлено, что аналитика больших данных является важным фактором, определяющим вероятность коммерциализации фирмами новых продуктовых инноваций.

В 2022–2023 гг. попытки оценить влияние цифровизации на экономический рост и экономику в целом активизировались, что может быть связано как с ростом популярности цифровых технологий после пандемии, так и с появлением новых баз данных, в частности EU KLEMS-2021. В связи с этим важно выделить доклад (Vu, 2022) на Седьмой всемирной конференции KLEMS, состоявшейся в октябре 2022 г. Его автор на основе новой статистической базы EU KLEMS делает попытку *впервые одновременно оценить влияние структурных изменений, цифровой трансформации и инноваций на рост производительности* (в форме производительности труда и ТФР) в восьми промышленно развитых странах¹⁸.

Важно отметить, что в основном оценки эффектов цифровизации были получены на макро- или микроуровне и при этом они давались в формах, не пригодных для учета в прогнозировании эффектов бюджетных расходов на цифровизацию (т.е., например, на 1% их прироста в том или ином секторе). Отраслевые исследования есть, но их мало. В частности, имеющиеся примеры эмпирического анализа ряда отраслей сферы услуг (гостиницы, рестораны, розничная тор-

¹⁸ Для того чтобы отразить различные модели структурных изменений, в исследовании (Vu, 2022) вводятся два показателя: продуктивные структурные изменения (PSC) и непродуктивные структурные изменения (USC), т.е. структурные изменения, сопровождающиеся переливом труда преимущественно в сектора с более низкой производительностью или с более высокой производительностью. В результате панельных эконометрических регрессионных расчетов в докладе описываются оценки выявленного влияния структурных изменений, цифровой трансформации и инноваций на рост производительности экономики. При этом показано, что, хотя как цифровая трансформация, так и инновации имеют сильную положительную связь с ростом производительности, такого рода корреляции связаны с эндогенностью, а устранение эндогенности позволяет сделать вывод, что прямое стимулирование инвестиций в цифровые технологии и НИОКР менее эффективно, если игнорировать дополнительные усилия, направленные на создание более благоприятных условий для повышения эффективности, которые стимулируют рост производительности и не связаны только с инновационной активностью и цифровыми технологиями. Такими условиями в докладе называются более решительные структурные реформы, более глубокая глобальная интеграция и более активное предпринимательство.

говля и такси) в ряде стран показывают, что быстрое развитие онлайн-платформ в этом секторе обеспечило прирост производительности примерно на 0,4% в год (около 2,5% за 2011–2017 гг.)¹⁹.

В работе (Calvino et al., 2018) предлагается таксономия 36 секторов экономики в соответствии с тем, в какой степени они стали цифровыми. Таксономия учитывает некоторые ключевые аспекты цифровой трансформации и исходит из того, что секторы различаются по разработке и внедрению самых передовых цифровых технологий, а также по человеческому капиталу, необходимому для внедрения их в производство, и по степени использования цифровых инструментов для работы с клиентами и поставщиками²⁰. Однако анализа влияния динамики цифровизации на рост секторов в данной работе не проводится.

Как следует из изучения приведенных исследований, анализ эффектов цифровизации на уровне экономики в целом дает лишь общую картину, а анализ на уровне фирм, как было указано еще в (Gal et al., 2019), более подвержен проблемам эндогенности, чем анализ на уровне секторов (видов экономической деятельности). Исследования на уровне фирм могут упустить положительные побочные эффекты, важные для правильной оценки; секторный же (отраслевой) подход, который мы описываем в данной работе, может в большей степени учитывать как внутрифирменные, так и побочные эффекты, т.е. имеет преимущества.

4. Описание методики и эконометрических подходов к анализу влияния цифровизации на уровне секторов (отраслей)

В работе по оценке влияния цифровизации на рост секторов экономики мы опираемся на методологию оценки влияния мер экономической политики на составные части производственной функции на макроуровне, разработанную экспертами ОЭСР²¹, заменяя производственную функцию на уровне экономики в целом на функции секторов, а общеэкономические регрессоры – на отраслевые показатели цифровизации, которые в конце 2021 г. появились в новой базе EU KLEMS. При этом опорной для нас служит работа (Égert, Gal, 2017), которая в новых рамках (new framework – по выражению этих авторов) развивает данную тему, начатую (в так называемых старых рамках – old framework) в предыдущих работах сотрудников экономического департамента ОЭСР (Bouis, Duval, 2011; Varnes et al., 2013). Во всех этих работах данная методика используется для оценки влияния разных направлений экономической политики (из соответствующих баз данных, где эти направления оценены количественно) на рост ВВП стран, т.е. на уровне не отраслей, а экономики в целом.

В рамках этого подхода влияние экономической политики на рост ВВП оценивается через ее воздействие на такие компоненты предложения, как мультифакторная производительность (MFP, или TFP), капиталоемкость выпуска и уровень занятости (вовлеченности) рабочей силы. В этих рамках взаимосвязь между политикой и данными компонентами предложения определяется

¹⁹ OECD Economic Outlook, May 2019.

²⁰ Показатели, используемые для классификации, следующие: доля инвестиций в материальные и нематериальные ИКТ (т.е. программное обеспечение); доля закупок промежуточных товаров и услуг в области ИКТ; число роботов на 100 сотрудников; доля специалистов в области ИКТ в общей численности занятых и доля оборота от онлайн-продаж.

²¹ Эта методика начала формироваться примерно с 2010 г., когда, как отмечено в (Bouis, Duval, 2011, p. 5), стало понятно, что после мирового экономического кризиса 2007–2009 гг. «возможности для решения проблемы любого длительного ослабления частного спроса с помощью макроэкономической политики во многих странах ОЭСР будут весьма ограниченными, поскольку традиционные стимулы денежно-кредитной политики уже исчерпаны и государственные финансы нуждаются в постепенной консолидации». При этом «возросла актуальность структурных реформ, способствующих росту...».

на основе ряда межстрановых регрессий групповых показателей сокращенной формы. Общее воздействие на ВВП на душу населения достигается путем агрегирования политических эффектов, влияющих через отмеченные выше каналы²². Как показано в приведенном обзоре литературы, ключевое преимущество этого подхода состоит в том, что он представляет рост ВВП (в нашем подходе – отраслевого выпуска) как сумму отдельных и независимых компонентов предложения, что позволяет сначала проанализировать эффект развития и влияния цифровизации на каждую компоненту отдельно, а затем с помощью интегрирования полученных оценок, оценить общее влияние цифровизации на рост выпуска (Lusinyan, 2018, p. 4). Данный подход также использовался Минэкономразвития РФ для оценки влияния мер структурной политики на рост ВВП России в целом в 2019 г. (МЭР, 2019).

Соответствующая дезагрегация ВВП на компоненты, как отмечено в (Égert, Gal, 2017) и в ряде других работ по данной теме, следует из стандартной неоклассической модели с совокупным производством типа Кобба–Дугласа:

$$Y = K^\alpha (hL)^{1-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1, \quad (1)$$

где h обозначает так называемый Харрод-нейтральный (т.е. трудоинтенсивный) технический прогресс. В предположении постоянной отдачи от масштаба уравнение (1) можно переписать в виде

$$Y = MFP(K^\alpha L^{1-\alpha}), \quad (2)$$

где существует тесная связь между мультифакторной производительностью (МФП) и h : $MFP = h^{1-\alpha}$.

Введем в модель показатели на душу населения; подушевой доход в этом случае может быть выражен как функция MFP , отношения капитала к выпуску (K/Y) и уровня занятости (L/N_{wa}):

$$\ln\left(\frac{Y}{N_{pop}}\right) = \frac{1}{(1-\alpha)} \ln(MFP) + \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \ln\left(\frac{K}{Y}\right) + \ln\left(\frac{L}{N_{wa}}\right) + \ln\left(\frac{N_{wa}}{N_{pop}}\right), \quad (3)$$

где N_{pop} и N_{wa} – все население и население трудоспособного возраста соответственно. Преимущество этой формулировки заключается в том, что в стандартной форме все компоненты отделимы и не зависят друг от друга. В частности, соотношение между капиталом и выпуском не зависит ни от производительности, ни от занятости, равно как и уровень занятости не зависит от производительности или капитала.

Для моделирования последствий изменений в политике приведенное выше уравнение может использоваться в темпах роста:

$$\Delta \ln\left(\frac{Y}{N_{pop}}\right) = \frac{1}{(1-\alpha)} \Delta \ln(MFP) + \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \Delta \ln\left(\frac{K}{Y}\right) + \Delta \ln\left(\frac{L}{N_{wa}}\right) + \Delta \ln\left(\frac{N_{wa}}{N_p}\right), \quad (4)$$

где Δ фиксирует различия во времени, которые можно интерпретировать как процентные изменения. Как было показано выше, МФП в данном эмпирическом подходе использует Харрод-нейтральную спецификацию. Следовательно, (4) можно переписать следующим образом:

$$\Delta \ln\left(\frac{Y}{N_{pop}}\right) = \Delta \ln(h) + \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \Delta \ln\left(\frac{K}{Y}\right) + \Delta \ln\left(\frac{L}{N_{wa}}\right) + \Delta \ln\left(\frac{N_{wa}}{N_p}\right). \quad (5)$$

²² Немаловажно, что данная методика совместима с методикой долгосрочного сценарного прогнозирования для стран мира (до 2060 г.), разработанной, в частности, в (Johansson et al., 2013), где оценивается влияние разных направлений экономической политики – как структурной, так и макроэкономической – на темпы долгосрочного роста национальных экономик.

При моделировании стандартное значение эластичности капитала может быть принято как $\alpha = 0,33$. Последняя составляющая, отражающая долю населения трудоспособного возраста, будет считаться неизменной на протяжении всего горизонта моделирования.

Таким образом, для решения нашей основной исследовательской задачи мы в наших расчетах используем структуру анализа, основанную на построении не макроэкономических (на уровне страны в целом), а отраслевых производственных функций, и сопоставлении динамики составляющих их элементов с динамикой индикаторов цифровизации. В этом мы частично следуем работам экспертов ОЭСР, основанным на моделировании макроэкономической производственной функции в рамках анализа влияния более широкого спектра направлений экономической структурной политики на национальный ВВП.

Новизна в нашей работе заключается в том, что мы переходим от макро- к мезоуровню, т.е. уровню секторов, а также в том, что в число регрессоров, влияющих на составные части отраслевой производственной функции, помимо факторов предложения (индикаторов цифрового развития и прочих факторов, характеризующих сторону предложения), мы дополнительно вводим фактор спроса в соответствии с подходом Калдора–Вердорна, акцентирующим внимание на эффектах экономии на масштабе производства, эффектах обучения и экспорта – как на показателях, потенциально важных для динамики производительности труда и мультифакторной производительности (*MFP*)²³.

Базируясь на исходной спецификации модели оценки влияния мер экономической политики на экономический рост (как в методиках ОЭСР), мы производим некоторые преобразования общепринятой формы анализа исследуемой эмпирической закономерности в плане выявления специфики отдельных секторов, переноса акцента в экономической политике на меры, направленные на цифровизацию, а также в плане расширения круга используемых контрольных переменных.

При этом авторы из ОЭСР в свое время подчеркивали важность перехода при использовании данной методики от макро- к отраслевому уровню анализа. Так, в (Égert, Gal, 2017, p. 7) указано, что оценки, основанные на макроэкономических временных рядах, будут перепроверяться на основе сопоставления с оценками, полученными при использовании данных на уровне секторов и фирм, для улучшения контроля за потенциальной эндогенностью. В работе (Égert, 2017) была продолжена работа по согласованию результатов макроэкономических оценок с результатами, полученными на основе секторальных и корпоративных наборов данных. С одной стороны, автор подчеркивал, что секторальные исследования и микроданные привлекательны, по крайней мере по двум причинам. Во-первых, воздействие общестрановой политики может быть лучше идентифицировано эконометрически с помощью дезагрегированных данных. Во-вторых, использование данных на уровне сектора или фирмы позволяет лучше понять каналы, через которые политика влияет на совокупные результаты, и как они могут отличаться в зависимости от характеристик сектора и фирмы. С другой стороны, автор утверждал, что результаты оценки, полученные на основе совокупных макроэкономических данных, имеют то очевидное преимущество, что они могут быть использованы

²³ О подходе Н. Калдора подробнее см. в (Миронов, Коновалова, 2019).

непосредственно для оценки эффектов макроэкономической политики, а также позволяют оценивать последствия политики путем включения в анализ большего числа направлений экономической политики, так как на секторальном уровне часть данных может отсутствовать по объективным причинам.

Учитывая это, в данной работе мы задействуем недавно появившиеся впервые в составе базы EU KLEMS отраслевые (по видам экономической деятельности) показатели цифровизации за период 1995–2019 гг., что в значительной мере снимает существовавшие до недавнего времени ограничения на проведение расчетов, связанные с отсутствием отраслевых данных об использовании цифровых технологий. Учитывая описанное выше содержание модели, в нашей спецификации мы анализируем по сути следующую систему уравнений:

- 1) в качестве первой целевой переменной рассматривается фактор капитала (в форме капиталоемкости выпуска);
- 2) в качестве второй целевой переменной – фактор труда (в форме доли отраслевой занятости), т.е. показатель, обратный уровню отраслевой безработицы);
- 3) в качестве третьей целевой переменной – динамика *TFP* – общей факторной производительности;
- 4) на заключительном этапе анализа проводится агрегирование результатов, полученных в уравнениях для расчета общего результата воздействия исследуемых показателей цифровизации на рост секторов производства, включенных в анализ.

5. Данные и спецификация уравнений

Для расчетов элементов отраслевых производственных функций мы использовали базу данных EU KLEMS-2021 по 30 странам (странам ЕС, а также Великобритании, США и Японии) за период 1995–2019 гг.

При выборе наиболее важных секторов экономики для анализа в условиях сегодняшней российской экономики могут учитываться разного рода факторы – в частности мультипликативный эффект, устойчивость к санкциям (что делает важным учет долгосрочной динамики мультифакторной производительности и доли промежуточной продукции в выпуске (табл. 1) и др.). Но мы исходили прежде всего из того, что именно сектора обрабатывающей промышленности могут ускоренно развиваться в сегодняшней России, куда в рамках общемировых процессов возвращения в страну производства, ускоренного разного рода рисками (геополитика и санкционные ограничения, угроза новых пандемий, фрагментация мировой экономик), может (в ходе конкуренции с другими регионами мира) вернуться часть производств обрабатывающей промышленности из Азии.

Сектора образования и здравоохранения также очень важны, так как определяют качество человеческого капитала, а сектор АПК обеспечивает продовольственную безопасность страны. В результате рассмотрения данных характеристик секторов (а также учета пробелов данных) для последующего анализа мы выбрали из базы EU KLEMS 10 секторов: сельское хозяйство; обрабатывающая промышленность в целом; в том числе: пищевая промышленность; производство электрооборудования; фармацевтическая промышленность; добыча полезных

Таблица 1
Структура российской экономики в разрезе секторов и долгосрочные показатели роста выпуска и ТГР на основе актуального варианта базы Russia KLEMS (выпуск 2019 г.) и данных Росстата

| Сектор экономики / показатель | Занятость (данные 2021 г.) | | ВДС | | ВДС, объем по номиналу (данные 2021 г.) | | Мультифакторная производительность (МФР, или ТГР) | | Доля промежуточной продукции в выпуске, % |
|---|----------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------|---|---------|---|-----------------------------|---|
| | Тыс. человек | Доля занятых, % | Индекс физ. объема, 1995 = 100% | Прирост в среднем за год, % | Млрд руб. | Доля, % | Рост, 1995 = 100% | Прирост в среднем за год, % | |
| | | | | | | | | | |
| Всего | 70818 | 100,9 | 190,6 | 3,1 | 117737 | 100 | 114,4 | 0,6 | 50,8 |
| Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство | 4491 | 6,3 | 141,5 | 1,7 | 4974 | 4,2 | 182,5 | 2,9 | 46,7 |
| Добыча полезных ископаемых | 1159 | 1,6 | 163,7 | 2,4 | 15031 | 12,8 | 62,9 | -2,2 | 34,6 |
| Обрабатывающие производства в целом | 9974 | 14,1 | 155,5 | 2,1 | 18926 | 16,1 | 107,5 | 0,3 | 72,3 |
| Производство и распределение электроэнергии, газа и воды | 2292 | 3,2 | 111,3 | 0,5 | 3522 | 3,0 | 61,0 | -2,3 | 69,5 |
| Строительство | 6496 | 9,2 | 179,1 | 2,8 | 5964 | 5,1 | 138,7 | 1,6 | 52,7 |
| Торговля в целом | 13236 | 18,7 | 225,0 | 3,9 | 15270 | 13,0 | 104,7 | 0,2 | 40,1 |
| Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания | 1822 | 2,6 | 184,8 | 3,0 | 955 | 0,8 | 92,6 | -0,4 | 54,7 |
| Транспортировка и хранение | 5637 | 8,0 | 154,9 | 2,1 | 7070 | 6,0 | 94,8 | -0,3 | 52,9 |
| Деятельность в области информации и связи | 1556 | 2,2 | 285,6 | 5,1 | 3235 | 2,7 | 126,1 | 1,1 | 49,6 |
| Деятельность финансовая и страховая | 1299 | 1,8 | 705,0 | 9,7 | 5384 | 4,6 | 297,5 | 5,3 | 28,1 |
| Деятельность по операциям с недвижимым имуществом | 1900 | 2,7 | 634,7 | 9,2 | 11711 | 9,9 | 283,7 | 5,1 | 41,6 |
| Государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение | 3638 | 5,1 | 132,7 | 1,4 | 8404 | 7,1 | 69,9 | -1,7 | 32,1 |
| Образование | 5321 | 7,5 | 91,6 | -0,4 | 3724 | 3,2 | 93,1 | -0,3 | 21,2 |
| Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг | 4449 | 6,3 | 113,5 | 0,6 | 3958 | 3,4 | 92,3 | -0,4 | 39,2 |
| Прочие услуги | 7548 | 10,7 | 128,2 | 1,2 | 9163 | 7,8 | 90,4 | -0,5 | 42,9 |

Примечание. ВДС – валовая добавленная стоимость.

Источник: расчеты авторов по данным Росстата и Russia KLEMS.

ископаемых; электро- и теплоэнергетика; транспортировка и хранение; образование; здравоохранение.

Для решения вопроса о необходимости разделения стран мира на разные группы по уровню развития была использована методика Всемирного банка, ориентированного на разные уровни среднедушевого дохода. Был сделан вывод, что почти все страны, входящие в базу EU KLEMS по уровню развития, относятся к высокоразвитым (за исключением Болгарии и Румынии, которые близки к этому уровню). Поэтому при эконометрическом анализе разделения всей совокупности анализируемых стран на разные группы по уровню развития не производилось.

Для выявления и отбора факторов (индикаторов) цифровизации, потенциально влияющих на составные части отраслевых производственных функций, были взяты индикаторы цифрового развития и инноваций из универсальных баз данных EU KLEMS, ITU (МСЭ) и OECD (ОЭСР).

В частности, были использованы **специфические для каждой отрасли показатели инвестиций в информационно-коммуникационные технологии** — их в базе три для каждой отрасли в двух измерениях — как поток и как запас капитала. При моделировании выяснено, что более подходящими являются показатели запаса, а не потока. В итоге было привлечено три показателя накопленных инвестиций в сфере информационных технологий (ИТ) в ценах 2015 г.:

- 1) Kq_{CT} — общая стоимость коммуникационного оборудования;
- 2) Kq_{IT} — общая стоимость компьютеров;
- 3) Kq_{Soft_DB} — общая стоимость программного обеспечения и баз данных.

Кроме того, в расчетах в качестве регрессоров были использованы общеэкономические (на уровне страны в целом) показатели цифровизации, науки и инноваций. Помимо прочего, здесь мы исходили также из того, что существует как взаимодополняемость между различными цифровыми технологиями, так и между цифровизацией как таковой и сферой науки и инноваций²⁴. При этом в силу большого числа общеэкономических показателей цифровизации, науки и инноваций (в отличие от отраслевых, которых всего три) необходимо было выявить наиболее важные общеэкономические показатели из всей их совокупности. С учетом панельного характера данных для выделения индикаторов цифровизации как регрессоров, нами был разработан и использован следующий алгоритм. В качестве основы мы применили факторный анализ вместе с методом главных компонент, который позволяет сгруппировать общеэкономические индикаторы, сформировав новые факторы из родственных составляющих. Обычно полученные факторы в дальнейшем в анализе являются самостоятельными переменными, однако мы не могли пойти этим путем из-за использования панельных данных. Поэтому был принят метод выявления родственных групп индикаторов и определения самых весомых из них (в роли составляющих частей каждого выделенного фактора). Мы ожидали, таким образом, не столько сократить размерность явным путем, который предполагает метод группировки, сколько далее вручную выбрать показатели на эмпирико-интуитивных предположениях. В наш первичный анализ входило 14 показателей (табл. 2).

В результате дальнейшего отсеивания было выбрано четыре показателя цифровизации на уровне страны в целом, разносторонне и комплексно харак-

²⁴ Например, зависимость между высокоскоростным широкополосным доступом и облачными вычислениями или программным обеспечением для управления цепочками поставок и взаимодействия с клиентами (Bartelsman, Leeuwen, Polder, 2017).

Таблица 2

Перечень первоначально отобранных показателей цифровизации

| Индикатор | Источники | Содержание показателей |
|---------------------|---------------|---|
| <i>Dig_fb</i> | ITU | Число абонентов фиксированной широкополосной связи, тыс. человек |
| <i>Dig_fb100</i> | ITU и расчет | Число абонентств фиксированной широкополосной связи на 100 жителей страны |
| <i>Dig_ft</i> | ITU | Число абонентов фиксированной телефонной связи, тыс. человек |
| <i>Dig_ft100</i> | ITU и расчет | Число абонентов фиксированной телефонной связи на 100 жителей страны |
| <i>Dig_ii</i> | ITU | Процент населения страны, пользующегося Интернетом |
| <i>Dig_mc</i> | ITU | Число абонентов мобильной сотовой телефонной связи, тыс. человек |
| <i>Dig_mc100</i> | ITU и расчет | Число абонентов мобильной сотовой телефонной связи на 100 жителей страны |
| <i>Dig_berd</i> | OECD | Доля расходов коммерческих предприятий на НИОКР, осуществляемых в компьютерной, электронной и оптической промышленности, % |
| <i>Dig_exps</i> | OECD | Доля страны в мировом экспортном рынке в сферах компьютерной, электронной и оптической промышленности, % |
| <i>Dig_gerd</i> | OECD | Валовые внутренние расходы на НИОКР, % от ВВП |
| <i>Dig_gf_gerd</i> | OECD | Финансируемые государством внутренние расходы на НИОКР, % от ВВП |
| <i>Dig_pat</i> | OECD | Число патентов в секторе ИКТ – заявок, поданных в рамках РСТ (международная патентная система) (приоритетный год) |
| <i>Dig_pat100th</i> | OECD и расчет | Число патентов в секторе ИКТ – заявок, поданных в рамках РСТ (международная патентная система) (приоритетный год) на 100 тыс. жителей |
| <i>Dig_res</i> | OECD | Общее число исследователей на тысячу занятых |
| <i>Dig_va</i> | OECD | Добавленная стоимость промышленности в долл. США по ППС |

Источники: OECD (ОЭСР), The International Telecommunication Union (ITU) (МСЭ), расчеты авторов.

теризующих процесс цифровизации. Они были далее использованы (наряду со специфическими отраслевыми и прочими контрольными регрессорами) в построении и оценке трех панельных регрессий для каждого сектора: *Dig_fb100*, *Dig_berd*, *Dig_exps*, *Dig_pat100th*.

Мы построили три основных уравнения с различными целевыми переменными, формирующими в совокупности отраслевую производственную функцию: 1) показателем занятости, рассчитанным с помощью вычитания из 100% уровня безработицы ($_{100_UNEMP}$)²⁵; 2) показателем капиталовооруженности выпуска, рассчитанным как соотношение капитала и добавленной стоимости (K_Y)²⁶; 3) показателем мультифакторной производительности (MFP), учитывающим влияние на выпуск факторов, отличных от капитала и труда. Наборы переменных для уравнений приводятся в табл. 3.

В качестве объясняющих переменных мы вводим прирост выпуска по отраслям (VA_GROWTH в табл. 3) в уравнения для TFP и показателя уровня занятости (что соответствует второму закону Калдора), а также рассчитанные нами показатели внешнеторговой открытости на отраслевом уровне для торгуемых секторов и семи отобранных показателей цифровизации и инноваций на отраслевом и общеэкономическом уровне. При этом показатель открытости внешней

²⁵ Мы берем показатель безработицы из базы IMF WEO для страны в целом, далее с учетом размера отраслевого рынка труда рассчитываем условный показатель для безработицы в отрасли и вычитаем его из 100 – таким образом получаем показатель занятости. По смыслу он соответствует аналогичному показателю на макроэкономическом уровне в работе (Egert, Gal, 2017).

²⁶ Показатель K/Y рассчитан нами как соотношение запаса капитала (K) и отраслевой добавленной стоимости (Value Added (VA)) или совокупного выпуска (Gross Output (GO)) в текущих ценах по данным базы EU KLEMS-2021.

Таблица 3

Регрессоры для построения модели

| Условное обозначение | Расшифровка | Зависимая переменная уравнения, в котором используется регрессор |
|--|--|--|
| Общеэкономические показатели | | |
| <i>VA_GROWTH</i> | Прирост выпуска в секторе, год к году, % | <i>_100_UNEMP, TFP</i> |
| <i>DOMCRED</i> | Внутренний кредит частному сектору относительно выпуска, % | <i>K_Y</i> |
| <i>EXIM</i> | Степень внешнеторговой открытости сектора, % ²⁷ | Все |
| <i>OPS</i> | Волатильность выпуска ²⁸ | <i>K_Y</i> |
| Общеэкономические показатели цифровизации | | |
| <i>PAT_100</i> | Число патентов в секторе ИКТ на 100 тысяч жителей | Все |
| <i>FB100</i> | Абоненты фиксированной широкополосной связи на 100 жителей | |
| <i>EXPS</i> | Доля мирового экспортного рынка страны в сфере компьютерной, электронной и оптической промышленности, % | |
| <i>BERD</i> | Доля расходов коммерческих предприятий на НИОКР, осуществляемых в компьютерной, электронной и оптической промышленности, % | |
| Специфические отраслевые показатели цифровизации из базы EU KLEMS-2021 | | |
| <i>Kq_CT</i> | Общая стоимость средств связи (Communications equipment, volume 2015 ref. prices, NAC mn) | Все |
| <i>Kq_IT</i> | Общая стоимость компьютерного оборудования (Computing equipment, volume 2015 ref. prices, NAC mn) | |
| <i>Kq_Soft_DB</i> | Общая стоимость программного обеспечения и баз данных (Computer software and databases, volume 2015 ref. prices, NAC mn) | |

Примечание. *_100_UNEMP* – уравнение занятости; *K_Y* – уравнение капиталовооруженности выпуска; *TFP* – уравнение мультифакторной производительности.

Источники: составлено авторами на основе данных EU KLEMS, ITU и OECD.

торговли (*EXIM*) мы вводим, потому что, как было показано в ряде работ, внешнеторговая открытость страны способствует инновациям среди фирм (Bloom, Draca, Reenen, 2009) и распространению передовых мировых технологий. На уровне торгуемого сектора (т.е. за исключением секторов сферы услуг, по секторам которой нет данных об экспорте) внешнеторговая открытость измеряется как отношение суммы отраслевого экспорта и импорта (по данным ВТО и ИТС) к объему отраслевого выпуска. В уравнение с целевой переменной капиталоемкости выпуска, помимо индикаторов цифровизации, в качестве регрессоров мы задействуем показатели «Внутренний кредит частному сектору, в % от ВВП» (Domestic credit to private sector (% of GDP)²⁹ и «Волатильность выпуска» (Output volatility-OPS), опираясь при этом на выводы из эмпирических расчетов в исследовании (Lusinyan, 2018)³⁰.

²⁷ Соответственно, в данной работе мы этот показатель определяем по товарным группам в составе классификаторов внешней торговли, сгруппированным в отраслевые совокупности, совместимые с производственными классификаторами по видам экономической деятельности, по данным ИТС (WTO) как (Экспорт + Импорт) / Выпуск × 100 (все в номинальном выражении, в единой валюте). Выпуск взят как показатель добавленной стоимости (Value Added (VA)) или совокупный выпуск (Gross output (GO)) в базе данных KLEMS; валютный курс – из данных МВФ в среднегодовом выражении.

²⁸ Волатильность выпуска по секторам экономики рассчитана нами по данным KLEMS как соотношение 3-летнего скользящего стандартного отклонения к среднему значению темпов отраслевого выпуска год к году.

²⁹ Из базы данных МВФ

³⁰ В (Lusinyan, 2018, p. 7) указано: «мы обнаруживаем, что на капиталоемкость влияет (отрицательно) волатильность выпуска и положительно влияет доступность частного кредита и новейших технологий». Также указывается, что последняя переменная (доступность новейших технологий) положительно связана со степенью открытости внешней торговли, характеристики которой (открытости) используются вместо торговых тарифов в некоторых спецификациях.

Для создания базы для эконометрических расчетов мы используем новый вариант The EU KLEMS & INTANProd productivity database (2021 г.). В базе EU KLEMS & INTANProd обновлена широко используемая ранее база данных EU KLEMS о производительности, которая расширена за счет оценок нематериальных инвестиций, согласованных с INTAN-Invest³¹. EU KLEMS & INTANProd предоставляет подробные данные по 27 государствам–членам ЕС, США, Японии и Великобритании по 40 отраслям (хотя охват может варьировать), 23 отраслевым агрегатам – за период 1995–2019 гг. Именно на основе этой базы построены зависимые и влияющие переменные всех наших уравнений (TFP, выпуск, занятость, капиталоемкость и др.), описанных далее. В дополнение используются данные МВФ, Всемирного банка и других организаций³².

7. Имитационные расчеты по результатам моделирования

На основе проведенных в данном проекте эконометрических расчетов нами проведен сводный расчет эластичности отраслевого выпуска и его трех составных частей к одномоментному увеличению на 1% семи анализируемых нами показателей цифровизации (были использованы двойные логарифмические модели, поэтому коэффициенты уравнений можно трактовать как показатели эластичности). Оценивание уравнений произведено в статистическом пакете Eviews 13. Для оценки применен полностью модифицированный метод наименьших квадратов (FMOLS) с учетом первоначального исследования стационарности панельных рядов в уровнях при помощи Hadri Unit root test. При этом была использована модель с общими эффектами (Pooled FMOLS), так как панель несбалансирована (все еще имеет место значительное число пробелов в отраслевых данных EU KLEMS). Модели же с фиксированными или случайными эффектами мы пока не посчитали возможным рассматривать для оценки регрессий. Полностью модифицированный метод наименьших квадратов подразумевает наличие коинтеграции между рядами, т.е. существование их стационарной линейной комбинации. Для тестирования рядов данных на коинтеграцию использован тест Као. Следует отметить, что не для всех наборов рядов, необходимых для построения того или иного регрессионного уравнения, тесты Као в целом показывали наличие коинтеграции – отклонения были небольшими³³. Тем не менее, было принято решение задействовать в модели уравнения, данные для которых некоинтегрированы, поскольку наборы регрессоров для трех уравнений в рамках каждой отдельной отрасли отличаются несущественно. Отсутствие же коинтеграции рядов, необходимых для построения одного из уравнений (чаще всего эта ситуация наблюдается в уравнениях капиталовооруженности), при ее наличии в двух оставшихся наборах рядов, на наш взгляд, является скорее всего следствием несбалансированности панели и отсутствием данных за ту или иную страну или год. Это же справедливо в отношении незначимых коэффициентов³⁴.

Для получения суммарного влияния 1%-ного прироста показателей цифровизации на выпуск нами произведено их взвешивание с приданием показателю капиталовооруженности (K/Y) доли 0,33; показателю отраслевой занятости

³¹ www.intaninvest.net

³² Спецификация уравнений приведена в п. 2 (<https://cloud.mail.ru/public/n6L7/FDvueJobF>).

³³ См. п. 3 (<https://cloud.mail.ru/public/n6L7/FDvueJobF>).

³⁴ Коэффициенты уравнений, а также коэффициенты детерминации приведены в п. 4 (<https://cloud.mail.ru/public/n6L7/FDvueJobF>).

($_{100_UNEMP}$) – доли ($1-0,33 = 0,67$) и суммированием размера рассчитанного вклада TFP (по аналогии с классическим остатком Солоу) с суммой доли капитала и труда в отраслевом выпуске. Эти показатели показаны в последнем столбце табл. 4.

Наибольший прирост выпуска в долгосрочном периоде при увеличении факторов цифровизации на 1% наблюдается в энергетике и водоснабжении (0,27%), а также в обрабатывающей промышленности (0,25%) в целом, при этом в составе последней он выше в производстве электрического оборудования (0,45%), чем в пищевой промышленности (0,12%). В сельском хозяйстве, на транспорте и в сфере образования эффект положительный, но более слабый. В добыче полезных ископаемых, в фармацевтической промышленности и в здравоохранении положительной связи между эффектами цифровизации и ростом выпуска не наблюдается, более того, эта связь отрицательная, что, в частности, может быть связано как с несовершенством используемой методики оценки, так и несовершенством учета выпуска в СНС для здравоохранения и сильной корреляцией динамики выпуска в добыче полезных ископаемых с ценовыми флуктуациями на высоковолатильном сырьевом рынке.

Полученные нами оценки на уровне секторов в целом сопоставимы с альтернативными оценками по другим странам на макроуровне. Так, в работе (ITU, 2020), посвященной экономике стран бывшего СНГ, на основе расчетов делается вывод о том, что если бы проникновение мобильной широкополосной связи возросло на 10% в странах бывшего СНГ, это привело бы к увеличению ВВП на душу населения на 1,25%. Кроме того, увеличение проникновения фиксированной

Таблица 4

Расчет влияния показателей цифровизации при 1%-ном приросте на показатели капиталовооруженности, вовлечения трудовых ресурсов и TFP, а также на суммарный прирост выпуска (выделен жирным шрифтом) в десяти секторах экономики 30 анализируемых стран

| Сектор | Зависимая переменная / Регрессор | РАГ100 | В100 | EXPS | BERD | КQ_СТ | КQ_ПТ | КQ_SOFT_DB | Влияние общих факторов | Влияние специфических факторов | Общее влияние факторов цифровизации |
|----------------------------|----------------------------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Сельское хозяйство | Всего | -0,09 | 0,09 | 0,02 | 0,06 | 0,22 | -0,12 | -0,10 | 0,08 | 0,00 | 0,08 |
| | <i>K/Y</i> | -0,01 | -0,01 | 0,02 | -0,02 | -0,03 | 0,02 | -0,05 | -0,02 | -0,06 | -0,07 |
| | <i>EMP</i> | -0,01 | 0,00 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,07 |
| | <i>TFP</i> | -0,07 | 0,09 | -0,04 | 0,06 | 0,24 | -0,15 | -0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,08 |
| Добыча полезных ископаемых | Всего | -0,09 | 0,14 | -0,24 | 0,05 | -0,05 | -0,04 | -0,03 | -0,14 | -0,11 | -0,26 |
| | <i>K/Y</i> | <u>-0,11</u> | <u>0,08</u> | <u>-0,19</u> | <u>0,02</u> | <u>0,01</u> | <u>-0,04</u> | <u>-0,05</u> | <u>-0,20</u> | <u>-0,09</u> | -0,29 |
| | <i>EMP</i> | -0,03 | 0,01 | 0,04 | 0,02 | 0,00 | 0,02 | <u>0,00</u> | 0,05 | 0,02 | 0,06 |
| | <i>TFP</i> | 0,05 | 0,05 | -0,09 | 0,01 | -0,05 | <u>-0,01</u> | <u>0,02</u> | 0,01 | -0,05 | -0,03 |

Окончание таблицы 4

| Сектор | Зависимая переменная/ Регрессор | PAT100 | B100 | EXPS | BERD | KQ_CT | KQ_IT | KQ_SOFT_DB | Влияние общих факторов | Влияние специфических факторов | Общее влияние факторов цифровизации |
|--|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Обработывающие производства в целом | Всего | 0,01 | 0,03 | 0,16 | 0,00 | 0,01 | 0,07 | -0,04 | 0,20 | 0,04 | 0,25 |
| | <i>K/Y</i> | -0,02 | -0,01 | -0,05 | 0,01 | 0,00 | -0,01 | 0,03 | -0,06 | 0,02 | -0,05 |
| | <i>EMP</i> | 0,00 | 0,00 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,05 |
| | <i>TFP</i> | 0,03 | 0,03 | 0,18 | -0,01 | 0,02 | 0,07 | -0,08 | 0,24 | 0,01 | 0,25 |
| Пищевая промышленность | Всего | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 0,09 | -0,01 | -0,03 | -0,10 | 0,26 | -0,14 | 0,12 |
| | <i>K/Y</i> | -0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | -0,02 | 0,00 | -0,02 | 0,04 | -0,04 | -0,01 |
| | <i>EMP</i> | <u>-0,01</u> | <u>0,00</u> | <u>0,01</u> | <u>0,02</u> | <u>0,01</u> | <u>-0,01</u> | <u>0,00</u> | <u>0,02</u> | <u>0,00</u> | <u>0,02</u> |
| | <i>TFP</i> | 0,05 | 0,00 | 0,10 | 0,06 | 0,01 | -0,03 | -0,08 | 0,20 | -0,10 | 0,10 |
| Фармацевтическая промышленность | Всего | 0,04 | 0,02 | -0,04 | -0,03 | -0,01 | -0,04 | -0,08 | -0,01 | -0,12 | -0,14 |
| | <i>K/Y</i> | -0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,04 | 0,11 |
| | <i>EMP</i> | 0,02 | 0,00 | <u>0,01</u> | -0,02 | 0,00 | 0,00 | <u>0,00</u> | 0,01 | 0,01 | 0,02 |
| | <i>TFP</i> | 0,03 | 0,01 | -0,10 | <u>-0,02</u> | -0,02 | -0,07 | -0,09 | -0,08 | -0,18 | -0,26 |
| Производство электрического оборудования | Всего | 0,03 | 0,09 | 0,19 | -0,08 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,22 | 0,23 | 0,45 |
| | <i>K/Y</i> | -0,02 | <u>0,00</u> | -0,17 | <u>0,01</u> | <u>0,00</u> | 0,02 | 0,03 | -0,17 | 0,05 | -0,12 |
| | <i>EMP</i> | 0,02 | 0,01 | 0,01 | -0,02 | 0,01 | 0,00 | -0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,02 |
| | <i>TFP</i> | <u>0,03</u> | <u>0,08</u> | <u>0,35</u> | <u>-0,08</u> | <u>0,05</u> | <u>0,03</u> | <u>0,10</u> | <u>0,38</u> | <u>0,19</u> | <u>0,56</u> |
| Производство и распределение электроэнергии, газа и пара | Всего | 0,07 | 0,01 | 0,08 | 0,03 | -0,14 | 0,08 | 0,15 | 0,18 | 0,09 | 0,27 |
| | <i>K/Y</i> | <u>-0,02</u> | <u>-0,04</u> | <u>-0,06</u> | <u>-0,03</u> | <u>-0,04</u> | <u>0,03</u> | <u>0,03</u> | <u>-0,15</u> | <u>0,02</u> | <u>-0,13</u> |
| | <i>EMP</i> | -0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | -0,01 | 0,03 | 0,00 | 0,03 |
| | <i>TFP</i> | 0,11 | 0,04 | 0,11 | 0,03 | -0,11 | 0,05 | 0,13 | 0,30 | 0,07 | 0,37 |
| Транспортировка и хранение | Всего | -0,03 | -0,01 | -0,05 | 0,04 | 0,11 | 0,02 | -0,03 | -0,05 | 0,11 | 0,06 |
| | <i>K/Y</i> | <u>0,00</u> | <u>0,00</u> | <u>0,00</u> | <u>0,00</u> | <u>0,01</u> | <u>0,00</u> | <u>0,04</u> | <u>0,00</u> | <u>0,05</u> | <u>0,05</u> |
| | <i>EMP</i> | -0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | <u>0,00</u> | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| | <i>TFP</i> | <u>-0,02</u> | <u>-0,01</u> | <u>-0,06</u> | <u>0,03</u> | <u>0,08</u> | <u>0,00</u> | <u>-0,06</u> | <u>-0,07</u> | <u>0,02</u> | <u>-0,04</u> |
| Образование | Всего | -0,04 | -0,02 | 0,07 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | -0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,06 |
| | <i>K/Y</i> | 0,00 | -0,02 | 0,00 | -0,01 | -0,01 | 0,05 | -0,01 | -0,03 | 0,03 | 0,00 |
| | <i>EMP</i> | <u>-0,01</u> | <u>0,02</u> | <u>0,03</u> | <u>0,01</u> | <u>-0,01</u> | <u>0,02</u> | <u>0,01</u> | <u>0,05</u> | <u>0,03</u> | <u>0,08</u> |
| | <i>TFP</i> | -0,03 | -0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,05 | -0,03 | -0,06 | 0,02 | -0,04 | -0,02 |
| Здравоохранение | Всего | -0,04 | 0,02 | 0,02 | -0,01 | 0,02 | -0,01 | -0,07 | 0,00 | -0,06 | -0,06 |
| | <i>K/Y</i> | <u>-0,02</u> | <u>0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,00</u> | <u>0,00</u> | <u>-0,01</u> | <u>0,01</u> | <u>0,00</u> | <u>0,00</u> | <u>0,00</u> |
| | <i>EMP</i> | -0,01 | 0,00 | 0,02 | 0,00 | -0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,02 | -0,02 | 0,00 |
| | <i>TFP</i> | -0,01 | 0,02 | <u>-0,01</u> | -0,01 | 0,04 | -0,01 | -0,08 | -0,02 | -0,04 | -0,06 |

Примечание. Подчеркиванием выделены незначимые коэффициенты и коэффициенты уравнений, ряды для построения которых не прошли тест на коинтеграцию.

Источник: расчеты авторов.

широкополосной связи на 10% вызвало бы рост ВВП на душу населения на 0,63%. В работе МВФ (Zhang, Chen, 2019), посвященной исследованию цифровой трансформации экономики Китая, показано, что увеличение на 1 п.п. в общей цифровизации экономики связано с ростом ВВП (с двухлетним лагом) на 0,3%. При этом оценок по отраслям не дается, как пока и в абсолютном большинстве других работ, посвященных оценкам эффектов от вложений в цифровые активы (как было отмечено выше).

Наши расчеты позволяют сделать важный вывод о значительной дифференциации эффектов на уровне отдельных секторов в рамках исследованной нами выборки. Другие авторы (например, (Gal et al., 2019)) также ранее находили, что цифровизация в среднем более выгодна в обрабатывающей промышленности, чем в сервисных фирмах, и в более широком смысле в отраслях, связанных с высокой долей рутинных задач, что согласуется с предыдущими выводами, сделанными в (Dhyne et al., 2018).

Выявленное в наших расчетах максимальное влияние роста цифровизации на ряд секторов обрабатывающей промышленности свидетельствует о важности цифровой трансформации для структурной перестройки российской экономики. В ней, по наиболее актуальным данным Russia KLEMS, в период с 1995 г. среднегодовые темпы прироста выпуска в целом по экономике на 3,1% наблюдались на фоне роста обрабатывающей промышленности лишь на 2,1% (см. табл. 1). При этом рост экономики в целом опережал увеличение выпуска в торговле, операциях с недвижимым имуществом и в финансовом секторе. Такого рода структурные изменения (за исключением роста финансового сектора) характерны для экономик, переживающих в силу разных причин раннюю деиндустриализацию и нуждающихся поэтому в целенаправленной поддержке со стороны государства процессов их цифровой трансформации и цифровой индустриализации. Среднегодовой прирост МРР (TFP) с 1995 г. в российской экономике составлял достаточно скромные 0,6%, что, хотя и не уступает анализируемой нами совокупности из 30 стран ЕС+ (которые к тому же могли развиваться за счет привлечения дополнительного труда в форме активной миграции), но вряд ли соответствует требованиям сегодняшнего дня для российской экономики. Напомним, что в долгосрочном (до 2060 г.) прогнозе мировой экономики, разработанном под эгидой ОЭСР в 2013 г., долгосрочные прогнозные темпы роста TFP в России составляли 2,3%³⁵.

Это актуализирует необходимость развития технологий и повышает требования к выбору мер экономической политики на основе критерия инновационности и эффективности. Важную роль должно играть развитие обрабатывающей промышленности, которая (наряду с электроэнергетикой), как показали наши расчеты, может быть в максимально возможной степени поддержана развитием цифровизации. В обрабатывающей промышленности это, в частности, — усовершенствованный мониторинг и автоматическая коррекция производственных процессов, оптимизация цепочки поставок и про-

³⁵ В проекте ОЭСР, согласно работе (Johansson et al., 2013), прогнозы в области TFP определялись глобальными темпами технического прогресса, которые, как предполагалось, составляют 1,3% в год (что соответствует средним темпам роста TFP, наблюдавшимся в странах с развитой экономикой в период 1996–2006 гг.), и скоростью «догоняющего развития» в конкретных странах, которая моделируется различными путями. Прогнозировалось, что в период до 2060 г. среднегодовой прирост TFP в мире составит 1,5%, варьируя от менее чем 1% в Люксембурге, Ирландии и Израиле — до 3,7% в Китае и примерно 2,3% в России.

изводства, производство по требованию, применение систем на базе искусственного интеллекта для проведения тестов образцов машиностроительной продукции без создания физического прототипа на предварительных стадиях производственного процесса, использование генеративных и рекомендательных моделей для подбора молекулярных соединений и анализа их взаимодействия, что, по имеющимся оценкам, на 3–6 лет сокращает сроки разработки новых фармацевтических препаратов.

Важные направления развития цифровизации есть во многих секторах. В частности, в медицине – это развитие диагностики (в том числе удаленной и визуализированной), раннее выявление потенциальных пандемий и отслеживание заболеваемости для предотвращения или сдерживания их распространения, персонализированное лечение и обработка большого объема данных для протоколов лечения и лекарств в системе государственной медицины. В образовании на основе цифровых технологий может развиваться дистанционное обучение, межстрановой обмен преподавательскими кадрами, ускоренное обучения языкам, поиск учебной информации и др. В сельском хозяйстве – это широкий круг новых технологий, связанных с удаленным контролем полного цикла в растениеводстве и животноводстве, использованием беспилотных тракторов и комбайнов.

8. Выводы и перспектива исследований

Помимо предварительного расчета конкретных количественных эффектов цифровизации на уровне секторов экономики развитых стран и стран со средним уровнем развития (к которым можно отнести и Россию), показавшего максимальный положительный эффект в обрабатывающей промышленности в целом, в производстве электрооборудования и в электро- и теплоэнергетике, наше исследование обнаружило значительную дифференциацию эффектов цифровизации по разным секторам экономики. Это может указывать как на недопустимость унифицированного (с точки зрения отраслей) подхода при приоритизации вложений государства в поддержку процессов цифровизации, так и на необходимость обсуждения и совершенствования расчетов в данной области, в том числе наших подходов, описанных в данной статье.

Интересным косвенным результатом нашей работы по базе данных для эконометрических расчетов в данной статье стала возможность сопоставления России и стран мира по капитальным вложениям и накопленным инвестициям в ИКТ, но с учетом имеющихся статистических ограничений в российской статистике³⁶. Анализ этих данных показывает, что инвестиционные вложения в ИКТ-оборудование, программное обеспечение и базы данных выросли в России с 2017 по 2020 г. с 531 млрд руб. до 1003 млрд руб., что составляло от 3,3% до 4,9% всех инвестиций в основной капитал в России, или от 0,58 до 0,93% ВВП. При этом данный показатель в среднем для западных экономик (ЕС, США и Великобритания) составлял в этот же период,

³⁶ В базе EU KLEMS есть данные с 1997–1998 гг., по России – только начиная с 2013 г. в состав инвестиций в основной капитал включены инвестиции в объекты интеллектуальной собственности. В составе инвестиций в объекты интеллектуальной собственности с этого же времени отдельной строкой выделяются программное обеспечение и базы данных для ЭВМ (информация по этой строке в открытом доступе дается, в частности, в сборниках «Инвестиции в России», выходящих раз в два года, самое новое издание датируется 2021 г.). Начиная с 2017 г., в составе машин, оборудования и транспортных средств (входящих в инвестиции в основной капитал с начала наблюдений) в открытой отчетности стало выделяться информационное, компьютерное и телекоммуникационное (ИКТ) оборудование.

по нашим расчетам на основе данных EU KLEMS, от 1,5 до 2,7%, т.е. значительно больше. Что касается накопленного ИКТ-капитала, то прямые данные по России в открытом доступе (в том числе в виде строки в Russia KLEMS) отсутствуют, а по развитым странам объем накопленного капитала в 2018 г. (данные за 2019 г. неполные) составлял, по данным EU KLEMS, в среднем 7,3% ВВП, достигая у лидеров – Австрии и Великобритании – 12,4 и 10,4% ВВП соответственно.

В целом, проведенный нами анализ литературы показал, что все новые явления, связанные с цифровизацией, проявляются в изменении требований к законодательному обеспечению развития экономики и ее регулированию. Обобщение ранее проведенных исследований оценки макроэкономических эффектов цифровизации позволяет отметить следующее.

Во-первых, работает теория экономии на масштабах производства, в соответствии с которой обусловленный сетевыми эффектами экономический эффект технологий связи возрастает с проникновением технологии до некоего предела.

Во-вторых, часто существует длительный временной лаг между внедрением цифровых технологий (например, широкополосной связи) и ростом эффективности, так как необходимо время на реструктуризацию производственных процессов по всей производственной цепочке.

В-третьих, экономический эффект ИКТ-технологий выше, их продвижение сочетается со стимулированием нового инновационного бизнеса в зависимых отраслях.

В-четвертых, существует взаимодополняемость цифровых технологий с организационным капиталом и управленческими навыками, а также между различными цифровыми технологиями.

В-пятых, для максимизации влияния ИКТ и ИИ на ВВП посредством расширения потребления необходимо развивать человеческий капитал. Важно создать условия для обновления имеющихся навыков работников, не только для того чтобы обеспечить наличие достаточного числа специалистов по ИКТ и ИИ, но и для того чтобы позволить большому числу людей работать вместе с цифровыми устройствами.

В дальнейшем, при совершенствовании нашей модели, можно провести расчеты с введением дополнительных контрольных и фиктивных переменных, опираясь на анализ факторов, влияющих на MFP, инвестиции и рынок труда в экономической литературе. Кроме того, на технологическую диффузию может влиять ряд других факторов, таких как легкость перераспределения ресурсов (Andrews, Serres, 2012) и взаимодополняемость образования и инноваций (Nelson, Phelps, 1996). Соответственно, для расчета влияния показателей цифровизации на динамику MFP в будущем можно рассмотреть возможность конструкции подобного рода показателей на уровне секторов. При анализе динамики капиталоемкости выпуска в будущем важно было бы учесть факт, что хотя, как показано в (Johansson et al., 2013), структурная политика не оказывает значимого влияния на инвестиции (за исключением косвенного, в той мере, в какой она стимулирует производство), есть свидетельства того, что реформы в области регулирования товарных рынков и законодательства о защите занятости могут повысить уровень инвестиций (Égert, 2009; Kerdrain, Koske, Wanner, 2010).

Возможно, что при проведении дальнейших исследований будет необходимо протестировать наличие негативных факторов, которые, возможно, замаскировали рост производительности, связанный с цифровизацией. Это может быть, например, ослабление динамизма бизнеса (Calvino, Criscuolo, Verlhac, 2020) и наследие мирового финансового кризиса (Adler et al., 2017). Эти факторы можно попытаться учесть в последующих расчетах, найдя для их измерения адекватные индикаторы.

Также в большей мере можно было бы учесть факт того, что домашние хозяйства и правительства, как и бизнес, извлекают выгоду из применения цифровых технологий и от более глубоко цифровизированной среды в целом. Можно предположить, что существует взаимное дополнение внедрения цифровых технологий в фирмах, домашних хозяйствах и на уровне правительств, поскольку совместное использование новых технологий в расширенных масштабах может способствовать взаимодействию между ними, а также повышению квалификации работников. Данный аспект анализа может быть развит за счет вовлечения в анализ базы данных Евростата по цифровой экономике и обществу (Eurostat Digital Economy and Society database) и базы данных Орбис (Orbis database), аккумулирующей многообразную информацию о деятельности частных фирм в мире. Также при анализе цифровизации может быть учтен опыт китайских авторов, которые, как выяснилось в ходе подготовки обзора литературы к данной статье, используют новые статистические базы данных о показателях цифровизации по многочисленным китайским городам, что позволяет проводить эконометрические расчеты в рамках панельных регрессий в условиях большей однородности анализируемых объектов в силу единой макроэкономической политики в стране³⁷. Возможно, что эти базы данных по городам также имеет смысл привлекать для выявления закономерностей развития цифровизации как важной технологии общего назначения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Мионов В.В., Коновалова Л.Д.** (2019). О взаимосвязи структурных изменений и экономического роста в мировой экономике и России // *Вопросы экономики*. № 1. С. 54–78. DOI: 10.32609/0042-8736-2019-1-54-78 [**Mironov V.V., Konovalova I.D.** (2019). On the relationship of structural changes and economic growth in the world economy and Russia. *Voprosy Ekonomiki*, 1, 54–78 (in Russian).]
- МЭР (2019). Российская экономика: под влиянием кредитного цикла. Министерство экономического развития Российской Федерации, 26 августа 2019 г. Режим доступа: <https://www.economy.gov.ru/material/file/b90a44748de90be36f35d0e007b7fc15/190826.pdf> [*Ministry of Economic Development of the Russian Federation* (2019). Russian economy: Under the influence of the credit cycle. August 26, 2019. Available at: <https://www.economy.gov.ru/material/file/b90a44748de90be36f35d0e007b7fc15/190826.pdf> (in Russian).]

³⁷ Такого рода исследования публикуются зачастую в журналах, не имеющих международных рейтингов и посвященных проблемам не только экономики как таковой, но и менеджмента, экологии и здравоохранения (например, Liu, 2022) или географии и нуждаются в дополнительной верификации. Так, в недавней работе (Chen, 2021), автор, основываясь на расчете индекса развития цифровой экономики более чем 100 городов в 2018 г. и 2019 г., а также на использовании модели панельных регрессий, выявляет факторы, влияющие на уровень развития цифровой экономики в Китае.

- НИУ ВШЭ (2019). Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение. Докл. к XX Апр. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. Москва, 9–12 апреля 2019 г. Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишнеvский, Л.М. Гохберг и др.; Л.М. Гохберг (науч. ред.). [What is the digital economy? Trends, competencies, measurement (2019). *Paper to the XX Apr. international scientific conference on problems of economic and social development*. Moscow, 9–12 April 2019. G.I. Abdrakhmanova, K.O. Vishnevskii, L.M. Gokhberg et al.; L.M. Gokhberg (sci. ed.) (in Russian).]
- Acemoglu D., Restrepo P.** (2017). Robots and jobs: Evidence from U.S. labor markets. *NBER Working Paper*, 23285, March.
- Adler G., Duval R., Furceri D., Kiliç Çelik S., Koloskova K., Poplawski-Ribeiro M.** (2017). Gone with the headwinds: Global productivity. *IMF Staff Discussion Note*, SDN/17/04. International Monetary Fund.
- Aghion P., Jones B.F., Jones C.I.** (2017). Artificial intelligence and economic growth. *NBER Working Paper*, 23928.
- Andrews D., Serres A. de** (2012). Intangible assets, resource allocation and growth: A framework for analysis. *OECD Economics Department Working Papers*, 989.
- Ark B. van der., Inklaar R., McGuckin R.** (2002). 'Changing Gear' – productivity, ICT and Services: Europe and the United States. Research Memorandum GD-60. Groningen Growth and Development Centre.
- Ark B. van der., Inklaar R., McGuckin R.** (2003). ICT and productivity in Europe and the United States, where do the differences come from? *CESifo Economic Studies*, 49 (3), 295–318.
- Bailin A.R., Gal P., Millot V., Sorbe S.** (2019). Like it or not? The impact of online platforms on the productivity of service providers. *OECD Economics Department Working Papers*, 1548, OECD Publishing, Paris. DOI: 10.1787/080a17ce-en
- Barnes S., Bouis R., Briard P., Dougherty S., Eris M.** (2013). The GDP impact of reform: A simple simulation framework. *OECD Economics Department Working Papers*, 834.
- Barro R.** (1991). Economic growth in a cross section of countries. *The Quarterly Journal of Economics*, 106 (425), 407–443.
- Bartelsman E., Leeuwen G. van, Polder M.** (2017). CDM using a cross-country micro moments database. *Economics of Innovation and New Technology*, 26 (1–2), 168–182.
- BCG (2015). *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Technical report*. Boston Consulting Group. Available at: https://www.bcg.com/en-au/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx
- Bloom N., Draca M., Reenen J. van** (2009). Trade induced technical change? The impact of Chinese imports on innovation, IT and productivity. *NBER Working Paper*, 16717.
- Bouis R., Duval R.** (2011). Raising potential growth after the crisis: A quantitative assessment of the potential gains from various structural reforms in the OECD area and beyond. *OECD Economics Department Working Papers*, no. 835. OECD Publishing, Paris. DOI: 10.1787/5kgk9qj18s8n-en
- Bresser-Pereira L.C.** (2019). From classical developmentalism and post-Keynesian macroeconomics to new developmentalism. *Brazilian Review of Political Economy*, 39, 2, 187–210.

- Brynjolfsson E., Rock D., Syverson C.** (2017). Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics. *NBER Working Paper*, 24001.
- Bughin J., Seong J., Manyika J., Chui M., Joshi R.** (2018). Notes from the AI frontier modelling the impact of AI on the world economy. *McKinsey Global Institute, Discussion paper*, September.
- Calvino F., Criscuolo C., Marcolin L., Squicciarini M.** (2018). A taxonomy of digital intensive sectors. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, 2018/14.
- Chen B.** (2021). Analysis on the influencing factors of digital economy development in Chinese cities. *IPEC2021: 2021 2nd Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers*, 916–920. DOI: 10.1145/3452446.3452666.
- Coulton C., Goerge R., Hornstein E., Haan B.** (2015). Harnessing big data for social good: A grand challenge for social work. *Am. Acad. Soc. Work Soc. Welf. Work. Paper*, 11.
- Creutzig F., Acemoglu D., Bai X., Edwards Paul P.N., Hintz M.J., Kaack L.H.** et al. (2022). Digitalization and the anthropocene. *The Annual Review of Environment and Resources*, 47, 479–509.
- Da Costa Oreiro J.L., Kalinka M.** (2022). Structuralist development macroeconomics and new developmentalism: Theoretical foundations and recent developments. *Práticas de Administração Pública*, 5, 3 (Special Issue: Structural development macroeconomics). DOI: 10.13140/RG.2.2.21619.45602
- Dhyne E., Konings J., Bosch J. van den, Vanormelingen S.** (2018). IT and productivity: A firm level analysis. *NBB Working Paper*, 346. Brussels: National Bank of Belgium.
- Égert B.** (2009). Infrastructure investment in network industries: The role of incentive regulation and regulatory independence. *OECD Economics Department Working Papers*, 688.
- Égert B.** (2017). The quantification of structural reforms: Extending the framework to emerging market economies. *OECD Economics Department Working Papers*, no. 1442. OECD Publishing, Paris. DOI: 10.1787/f0a6fdcb-en
- Égert B., Gal P.N.** (2017). The quantification of structural reforms in OECD countries: A new framework. *CESifo Working Paper Series*, no. 6420, April 04. Available at: <https://ssrn.com/abstract=2965358> or DOI: 10.2139/ssrn.2965358
- Faucher G., Houle S.** (2023). Digitalization: Definition and measurement. *Bank of Canada, Staff Discussion Paper/2023*, September 29.
- Gal P.G., Nicoletti T., Sorbe R.S., Timiliotis C.** (2019). Digitalisation and productivity: In search of the holy grail – firm-level empirical evidence from EU countries. *OECD Economics Department Working Papers*, 1533. Paris: OECD Publishing. DOI: 10.1787/5080f4b6-en
- Gordon R.** (1998). *Monetary policy in the age of information technology: Computers and the Solow paradox*. Paper prepared for the conference Monetary Policy in a World of Knowledge-Based Growth, Quality Change, and Uncertain Measurement. Bank of Japan, Corrected version, June 3.
- Grimes A., Ren C., Stevens P.** (2011). The need for speed: Impacts of internet connectivity on firm productivity. *Journal of Productivity Analysis*, 37, 187–201. DOI: 10.1007/s11123-011-0237-z

- Hémous D., Olsen M.** (2016). The rise of the machines: Automation, horizontal innovation and income inequality. *IESE Business School Working Paper*, WP1110-E. DOI: 10.2139/ssrn.2328774
- Höchtl J., Parycek P., Schöllhammer R.** (2016). Big data in the policy cycle: Policy decision making in the digital era. *J. Org. Comput. Electron. Comm.*, 26 (1–2), 147–169.
- ITU (2020). Экономический вклад широкополосной связи, цифровизации и регулирования в сфере ИКТ: эконометрическое моделирование для региона Содружества Независимых Государств (СНГ). МСЭ, ноябрь 2020. Режим доступа: <https://www.itu.int/ru/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/Economic-Contribution.aspx> [ITU (2020). Economic contribution of broadband, digitization and ICT regulation: Econometric modelling for the ITU Commonwealth of Independent States region. Available at: <https://www.itu.int/ru/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/Economic-Contribution.aspx> (in Russian).]
- Jipp A.** (1963). Wealth of nations and telephone density. *Telecommunications Journal*, July, 199–201.
- Johansson A., Guillemette Y., Murin F., Turner D., Nicoletti G., Maisonneuve C. de la et al.** (2013). Long-term growth scenarios. *OECD Economics Department Working Papers*, 1000.
- Jorgenson D., Ho M., Samuels J., Stiroh K.** (2008). A retrospective look at the U.S. productivity growth resurgence. *Journal of Economic Perspectives*, 22, 1, Winter, 3–24.
- Kerdrain C., Koske I., Wanner I.** (2010). The impact of structural policies on saving investment and current accounts. *OECD Economics Department Working Papers*, 815.
- Lu Y., Zhou Y.** (2019). *A short review on the economics of artificial intelligence*. Curtin University, Crawford School of Public Policy, CAMA Centre for Applied Macroeconomic Analysis.
- Lusinyan M.L.** (2018). Assessing the impact of structural reforms through a supply-side framework: The case of Argentina. *International Monetary Fund*.
- McKinsey Global Institute (2017). *A future that works: Automation, employment, and productivity*. January 2017.
- Mollins J., Taskin T.** (2023). Digitalization and productivity. *Bank of Canada, Staff Discussion Paper*, 2023–17, August 15.
- Nelson R., Phelps E.** (1996). Investment in humans, technological diffusion and economic growth. *American Economic Review*, 56, 1, 69–75.
- Niebel T., Rasel F., Viète S.** (2018). BIG data – BIG gains? Understanding the link between big data analytics and innovation. *Economics of Innovation and New Technology*, 28, 296–316.
- Nordhaus W.D.** (2015). Are we approaching an economic singularity? Information technology and the future of economic growth. *NBER Working Paper*, w21547. 47 p. DOI:10.2139/ssrn.2658259
- PWC (2018). *The macroeconomic impact of artificial intelligence*. February 2018. Available at: <https://www.pwc.co.uk/economic-services/assets/macro-economic-impact-of-ai-technical-report-feb-18.pdf>
- Sachs J.D., Benzell S.G., LaGarda G.** (2015). Robots: Curse or blessing? A basic framework. *NBER Working Papers*, 21091.
- Solow R.** (1987). We'd better watch out. *New York Times Book Review*, July 12, 36.

- Spence M.** (2021). Government and economics in the digital economy. *Journal of Government and Economics*, 3, Autumn, 10002.
- Syverson C.** (2011). What Determines Productivity? *Journal of Economic Literature*, 49, 326–65, DOI: 10.1257/jel.49.2.326
- UNCTAD (2021). *Technology and innovation report. Catching technological waves (innovation with equity)*. Available at: https://unctad.org/system/files/official-document/tir2020_en.pdf
- UNIDO (2020). *Industrial development report 2020: Industrializing in the digital age*. Available at: https://www.developmentaid.org/api/frontend/cms/file/2019/11/UNIDO_IDR2020-MainReport_overview.pdf
- Vu K.** (2022). Effects of innovation and ict on structural change and productivity growth: Insights from the latest KLEMS dataset. *The Seventh World KLEMS Conference*, 11–13 October 2022.
- Zhang L., Chen S.** (2019), China's digital economy: Opportunities and risks. *IMF Working Paper*, January. Available at: https://www.researchgate.net/publication/353701911_China's_Digital_Economy_Opportunities_and_Risks

Поступила в редакцию 15.12.2022

Received 15.12.2022

V.V. Mironov

“Development Center” Institute of the HSE University, Moscow, Russia

A.O. Kuznetsov

“Development Center” Institute of the HSE University, Moscow, Russia

L.D. Konovalova

“Development Center” Institute of the HSE University, Moscow, Russia

On the sectoral effects of digitalization based on new indicators by type of economic activity^{38,39}

Abstract. The article is devoted to the problem of quantifying the sectoral effects of digitalization of the economy. The experience in assessing the impact of digital transformation on economic growth is described. A methodology for assessing the sectoral effects of digitalization was proposed and tested on a panel of industrialized economies. It is based on the modified OECD approach, which was previously used by international experts and the Ministry of Economic Development of Russia at the macro level. This approach assumes econometric estimates based on panel regressions of the impact of the dynamics of economic policy indicators (including digitalization) on the components of a specially disaggregated production function. The key advantage of this approach is that it represents GDP growth (in our approach, sectoral output) as the sum of separate and independent components of the supply (capital intensity of output, labor force involvement and total factor productivity (“TFP”). This approach allows you to first assess the effect of digitalization on each component separately, and then, integrating the estimates obtained with certain weights and summing up with the contribution of “TFP”, determine the overall impact of digitalization on the output growth. The transition to the sectoral level in assessing effects was made possible by the recent inclusion of sectoral digitalization indicators in the EU KLEMS database for 40 types of economic activity of 30 countries in the period 1995–2019. The preliminary estimates of the impact of digitalization on the growth of branches of economy output obtained during testing (for 10 selected sectors) allow us to note a serious differentiation of effects by branches of economy, as well as to point out some opportunities to enhance the effectiveness of economic policy in Russia taking into account some characteristics of the structure of its economy.

Keywords: *digital transformation, economic structure, advanced technologies, production function, economic policy.*

JEL Classification: E20, E23, E26, E66, C54.

For reference: **Mironov V.V., Kuznetsov A.O., Konovalova L.D.** (2024). On the sectoral effects of digitalization based on new indicators by type of economic activity. *Journal of the New Economic Association*, 1 (62), 143–170 (in Russian).

DOI: 10.31737/22212264_2024_1_143-170

EDN: NQIKBD

³⁸ The authors express their gratitude to Natalia Vladimirovna Samsonova, an analyst at the HSE Development Center Institute, for her help in carrying out calculations and preparing a literature review.

³⁹ The research was carried out within the framework of the HSE University Fundamental Research Program.