УДК: 332.1:004

1.3. Влияние информационно-коммуникационных технологий на техническую эффективность регионов России на основе концепции стохастической границы

Лысенкова М.А., Аний Л.Л., ЦЭМИ РАН, г. Москва, Россия

В статье рассматривается влияние информационно-коммуникационных технологий на техническую эффективность регионов России на основе многофакторной стохастической граничной производственной функции. В модель включены показатели, характеризующие как использование ИКТ в организациях, так и развитие ИКТ-инфраструктуры, что позволяет оценить вклад цифровых факторов в ВРП и построить рейтинг регионов по степени приближения к эффективной границе. Эмпирический анализ по данным субъектов РФ за 2022 год показывает, что традиционные факторы капитала и труда сохраняют ведущую роль, однако отдельные ИКТ-показатели, прежде всего внутренняя компьютеризация организаций, также связаны с повышением выпуска и технической эффективности. Полученные результаты подтверждают необходимость учитывать не только объем, но и качество цифровой среды при оценке регионального развития и разработке мер региональной политики.

Введение

Цифровая трансформация экономики усилила интерес к исследованию роли информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) как фактора производительности, структурных изменений и межрегиональной дифференциации (Ndubuisi et al., 2022; Pan et al., 2022). Для российской экономики этот вопрос особенно значим в условиях неоднородности цифровой инфраструктуры, различий в интенсивности затрат на ИКТ и неравномерного распространения современных технологий между регионами (Жданов, 2023). Существующие отечественные исследования показали, что включение нематериальных факторов, в том числе интеллектуального капитала и характеристик инновационной готовности, существенно влияет на оценки технической эффективности регионов (Макаров и др., 2014).

Вместе с тем влияние ИКТ на региональную эффективность пока недостаточно встроено в модели производственного потенциала, особенно в формате многофакторной стохастической граничной производственной функции. Часть исследований анализируют затраты на ИКТ, цифровое неравенство или цифровую зрелость изолированно, не связывая их напрямую с оценками технической эффективности и рейтингами регионов. Зарубежные исследования, напротив, показывают, что цифровая экономика и качество ИКТ-среды могут быть значимыми драйверами технической эффективности и совокупной факторной производительности.

В связи с этим цель данного исследования заключается в разработке и апробации модели, позволяющей оценить влияние ИКТ-факторов на техническую эффективность регионов России и построить рейтинг регионов на основе концепции стохастической границы.

Анализ цифрового регионального развития

В отечественной и зарубежной литературе (Земцов и др., 2022; Pieri et al., 2018; Untura, 2023) влияние информационно-коммуникационных технологий всё чаще рассматривается не как частный аспект «цифровизации», а как фактор, способный менять форму производственной функции, структуру транзакционных издержек и пространственную организацию хозяйственной деятельности. ИКТ выступают компонентом производственного потенциала, сопоставимым по значимости с физическим капиталом и человеческими ресурсами, а не просто вспомогательной инфраструктурой.

Сходный подход в российской литературе реализуется через исследования интеллектуального капитала, инновационной готовности, качества жизни, цифрового неравенства и структуры затрат на ИКТ. Работы (Аний, 2024; Макаров и др., 2014) показывают, что включение нематериальных и технологических факторов существенно меняет оценки технической эффективности регионов, позволяя выделить «локально эффективные» и «локально неэффективные» территории. Данный результат методологически важен для анализа ИКТ и подтверждает необходимость включения цифровых переменных в производственные функции не только как сопутствующей инфраструктуры, но и как факторов, влияющих на положение и форму эффективной границы, а также на распределение неэффективности.

Исследования (Аний, 2024), посвященные внутренним затратам на ИКТ и их связи с социально-экономическим развитием регионов, показывают, что связь ИКТ-затрат с развитием регионов носит неоднородный характер. Затраты на ИКТ тесно связаны с валовым региональным продуктом (ВРП), числом передовых производственных технологий и научно-образовательным потенциалом, однако структура детерминант различается по группам регионов. Для регионов-лидеров важнее масштаб экономики и уровень технологического развития, в то время как для отстающих регионов – человеческий капитал и образовательная база. Это означает, что цифровизация требует специфической институциональной и кадровой среды, чтобы стать источником повышения эффективности. Помимо этого, исследования (Аний,

2024; Земцов и др., 2022; Урасова, 2019) также фиксируют высокую пространственную концентрацию ИКТ-ресурсов: Москва, Санкт-Петербург и Московская область аккумулируют непропорционально большую долю затрат на ИКТ, причем разрыв в отдельные годы усиливается. С одной стороны, это свидетельствует о формировании «цифрового ядра» экономики, но одновременно порождает проблему эндогенности, так как высокие ИКТ-показатели могут быть следствием, а не причиной уже достигнутого уровня развития. Следовательно, при переходе от описательной статистики к моделям производственной функции и стохастической границы необходима более строгая идентификация причинно-следственных связей, иначе оценки влияния ИКТ на эффективность могут быть завышенными.

Также в литературе (Аний, 2024) цифровая зрелость рассматривается как многомерное явление, которое определяется не только объемом затрат, но и фактическим использованием цифровых технологий, поэтому простые финансовые показатели сами по себе плохо отражают качество цифровой среды. При этом межотраслевые различия остаются значительными, среди них лидируют финансы, связь и ИТ-сектор, тогда как промышленность и АПК отличаются меньшей цифровой зрелостью. Без учёта отраслевой структуры региона интеграция ИКТ-показателей в модели эффективности может приводить к систематическим смещениям.

Другой блок работ (Ганичев, Кошовец, 2022; Metlyakhin, 2020) касается цифрового неравенства и диффузии интернета. Авторы фиксируют опережающее развитие агломераций и северных ресурсных регионов при отставании периферии. Интенсивность использования интернета значимо связана с доходами, образованием и деловым климатом, а пандемия COVID-19 ускорила распространение онлайн-каналов даже в менее развитых территориях (Земцов и др., 2022). При этом сам доступ к интернету создаёт лишь базовое условие для роста производительности, но не гарантирует его без соответствующей институциональной среды.

Международная литература (Susiluoto, 2003; Rehman, Nunziante, 2023; Delorme et al., 1999) подтверждает нелинейный и контекст-зависимый характер влияния ИКТ на производительность и техническую эффективность. На основе данных китайских провинций (Li, Ma, 2024) эффект цифровой экономики на стохастическую граничную функцию становится значимым только после достижения определённого уровня развития цифровой инфраструктуры и инновационной активности. Аналогично (Untura, 2023; Жаркова, 2017; Pieri et al., 2018) цифровизация стимулирует технологический прогресс и структурные сдвиги, однако её влияние на собственную техническую эффективность может быть неоднозначным, так как в краткосрочной перспективе может сопровождаться временным ростом неэффективности несмотря на положительный долгосрочный эффект.

Помимо нелинейности самого эффекта цифровизации, также важна его пространственная природа. На данных Китая и европейских стран (Zou, Liao, Fan, 2024) показано, что развитие цифровой экономики в одном регионе создаёт положительные эффекты для соседних территорий — через диффузию знаний, цепочки поставок и сетевые эффекты цифровых платформ. Это означает, что техническая эффективность региона зависит не только от собственных ИКТ-характеристик, но и от положения в сети межрегиональных связей. При этом работы (Tan et al., 2023; Untura, 2023) показывают, что новые инфраструктурные объекты чаще строятся в перспективных регионах, усиливая проблему эндогенности, а её игнорирование в стохастических моделях приводит к завышению оценок инфраструктурных эффектов.

Таким образом, исследование продолжает линию работ (Untura, 2023; Аний, 2024; Макаров и др., 2014), демонстрирующих, что учёт нематериальных и цифровых факторов принципиально меняет представление о региональной эффективности, и одновременно переносит на российский материал идеи международной литературы о необходимости оценивать не только объём, но и качество ИКТ-среды, использовать интегральные цифровые индексы, тестировать нелинейные и пороговые эффекты, а также различать краткосрочные и долгосрочные последствия цифровизации для технической эффективности регионов.

Методология исследования

Исследование опирается на идею о том, что региональный выпуск определяется не только капиталом и трудом, но и качеством институционально-технологической среды, частью которой выступают информационно-коммуникационные технологии. В связи с этим ИКТ рассматриваются либо как самостоятельный фактор производства, либо как фактор, повышающий результативность использования традиционных ресурсов.

Одна из задач исследования состояла в спецификации многофакторной производственной функции с включением в нее факторов, характеризующих цифровое развитие регионов. Для решения поставленной задачи в работе была сформулирована следующая гипотеза:

Гипотеза 1. Цифровизация регионов (использование ИКТ в организациях и развитие ИКТ-инфраструктуры) статистически и экономически значимо повышает ВРП после учёта традиционных факторов капитала и труда.

В работе используется многофакторная стохастическая граничная производственная функция следующего вида:

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_K \ln K_i + \beta_L \ln L_i + \beta_B \ln ict_{1i} + \cdots + \beta_B \ln ict_{8i} + v_i - u_i \quad \textbf{(1),}$$

где переменная Y_i определяет ВРП региона i. K_i — стоимость основных фондов. L_i — численность

занятых. ict_i — факторы, характеризующие цифровизацию регионов. β_0, β_K, β_L, β_{ict1},… β_{ict8} — параметры. Случайная составляющая $v_i - u_i$ отражает результаты воздействия на процесс инновационной деятельности региона факторов неопределенности и факторов эффективности. Для моделирования результатов воздействия факторов неопределенности используется нормально распределенная случайная величина v_i с нулевым математическим ожиданием $v_i \in N(0, \sigma_v^2)$. Для моделирования результатов воздействия факторов эффективности используется не зависящая от v_i неотрицательная случайная величина u_i, имеющая усеченное в нуле нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием $u_i \in N^+(0, \sigma_u^2)$.

Эмпирическую базу исследования составляют данные по субъектам Российской Федерации за 2022 г. (табл. 1), включающие валовой региональный продукт, показатели капитала и занятости, а также восемь индикаторов цифрового развития. Четыре из них характеризуют использование ИКТ в организациях, а ещё четыре — инфраструктуру доступа. Рассматриваются спецификации модели (1): полная модель с организационный и инфраструктурный ИКТ-показателями (М1) и модели с укрупнёнными блоками цифровых переменных (М2 и М3).

Таблица 1. Исходные данные для моделирования влияния факторов цифрового развития на производственную функцию по данным регионов РФ за 2022 г.

Обозначение	Наименование показателя
Основные производственные факторы	
Y_i	ВРП региона
K_i	Стоимость основных фондов
L_i	Численность занятых
Организационные факторы цифрового развития	
ict_{1i}	Использование специальных программных средств в организациях: обучающие
ict_{2i}	Использование цифровых технологий в организациях: персональные компьютеры (в % от общего числа обследованных организаций)
ict_{3i}	Использование системы электронного документооборота в организациях: организации, использующие электронный обмен данными между своими и внешними информационными системами, по форматам обмена
ict_{4i}	Организации, имевшие веб-сайт (в % от общего числа обследованных организаций)
Инфраструктурные факторы цифрового развития	
ict_{5i}	Число активных абонентов фиксированного широкополосного доступа к сети Интернет, тыс.
ict_{6i}	Число активных абонентов мобильной связи, использующих услуги доступа к сети Интернет, тыс.
ict_{7i}	Число персональных компьютеров на 100 работников
ict_{8i}	Число подключенных абонентских устройств мобильной связи на 1 000 человек населения на конец года; единиц

Источник: Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Р32 Стат. сб. / Росстат. - М., 2022

Результаты исследования

Оценивание стохастической граничной производственной функции для ВРП регионов России за 2022 г. показало устойчивую роль традиционных факторов производства и более сложную картину влияния показателей цифрового развития.

Таблица 2. Оценки стохастической граничной функции с включением факторов ИКТ по данным 2022 г.

	M1-2022	M2-2022	M3-2022
ln L ***(p-значения)***	0.530*** (0.141)	0.259*** (0.051)	0.459*** (0.137)
ln K ***(p-значения)***	0.759*** (0.037)	0.759*** (0.041)	0.792*** (0.036)
ln ict_1 ***(p-значения)***	0.127 (0.141)	0.071 (0.148)	–
ln ict_2 ***(p-значения)***	0.834* (0.498)	0.792 (0.512)	–
ln ict_3 ***(p-значения)***	−0.565* (0.328)	−0.826** (0.337)	–
ln ict_4 ***(p-значения)***	0.157 (0.304)	0.385 (0.307)	–
ln ict_5 ***(p-значения)***	−0.206*** (0.071)	–	−0.211*** (0.062)

ln ict₆ ***(p-значения)***	−0.053 (0.093)	–	−0.022 (0.096)
ln ict₇ ***(p-значения)***	0.360** (0.153)	–	0.223* (0.146)
ln ict₈ ***(p-значения)***	0.132* (0.083)	–	0.127* (0.085)
Const ***(p-значения)***	−1.358 (2.223)	3.628** (1.506)	1.911 (1.565)
σᵥ ***(p-значения)***	0.130*** (0.026)	0.169*** (0.043)	0.137*** (0.025)
σᵤ ***(p-значения)***	0.178*** (0.056)	0.122 (0.161)	0.182*** (0.056)
Log likelihood	30.89	23.13	27.44

Примечание: **** — значимо на уровне 1%; ** — на уровне 5%; * — на уровне 10%.*

Источник: результаты расчетов с помощью пакета STATA

Во всех рассмотренных спецификациях коэффициенты при логарифмах капитала и труда оказались положительными и высоко статистически значимыми. Суммарная эластичность по этим двум факторам превышает единицу, что может указывать на наличие эффекта масштаба, связанного с агломерацией, либо на то, что часть эффекта цифровизации де-факто «подхватывается» традиционными факторами.

Включение в модель **M2** организационных индикаторов использования ИКТ (***ict₁–ict₄***) привело к получению неоднозначных оценок. Распространённость обучающих программ (***ict₁***) и наличие у организаций собственных веб-сайтов (***ict₄***) связаны с положительным, но статистически незначимым эффектом, тогда как доля организаций, использующих персональные компьютеры (***ict₂***), демонстрирует положительный коэффициент порядка 0,8 с граничной значимостью на уровне 10%. В то же время показатель электронного обмена данными между информационными системами (***ict₃***) устойчиво оказывается отрицательным: в спецификации без инфраструктурных ИКТ он статистически значим на 5%-ном уровне и интерпретируется как снижение ВРП при прочих равных условиях. Можно предположить, что этот результат отражает селекционные и структурные эффекты, когда более проблемные и бюрократизированные регионы активнее формализуют электронный документооборот, а также влияние мультиколлинеарности между различными индикаторами цифровизации организаций.

Более последовательные результаты дают показатели ИКТ-инфраструктуры (***ict₅–ict₈***). В полной спецификации (**M1**) и в модели, включающей только инфраструктурные индикаторы (**M3**), единственным стабильно положительным и экономически содержательным фактором выступает насыщенность предприятий персональными компьютерами (***ict₇***), что указывает на прямую связь между уровнем компьютеризации рабочих мест и экономическими результатами региона. Этот вывод подтверждается исследованиями, показывающими, что именно внутренняя цифровая оснащённость фирм (а не только доступ к сети) в наибольшей степени коррелирует с ростом производительности и инновационной активности (Жданов, 2023).

Устойчиво отрицательный коэффициент при количестве активных абонентов фиксированного широкополосного доступа (***ict₅***) может отражать не столько негативное влияние соответствующей инфраструктуры, сколько структурные особенности экономики регионов: данный сегмент связи активно развивается, в том числе в сравнительно менее богатых регионах с высокой долей домохозяйств и бюджетного сектора, где широкополосная инфраструктура развивается быстрее, чем реальный выпуск.

Показатели мобильной связи (***ict₆*** и ***ict₈***) статистически незначимы во всех рассмотренных спецификациях. Это может быть связано с близкой к насыщению диффузией мобильной связи, в результате чего межрегиональные различия по числу мобильных абонентов и устройств относительно малы и плохо объясняют вариацию ВРП после учёта традиционных факторов и других ИКТ-индикаторов. Массовость мобильного доступа не гарантирует использования продвинутых цифровых сервисов в производственной сфере, что снижает объясняющую силу этих показателей (Смирнов, 2023).

Оценки технической эффективности с учетом факторов, характеризующих цифровое развитие региона

В соответствии с концепцией глокализации неэффективность региона в группе регионов, имеющих близкие характеристики дифференциации, обусловлена тем, что он не использует в полной мере свои особенности и доступные возможности развития, то есть относительно неэффективно использует свои ресурсы (Robertson, 1992). Поэтому техническая эффективность использования инновационного пространства может рассматриваться в качестве характеристики качества управления региональной инновационной системой (Aivazyan et al., 2018). Техническая эффективность рассматривается как мера соответствия фактического результата производственного процесса $exp\{c + \delta \ln V_i + v_i - u_i\}$ потенциально возможному результату $exp\{c + \delta\, ln\, V_i + v_i\}$.

То есть $TE_i = E(e^{-u_i}|v_i - u_i)$. При оцененных параметрах σ_v^2, σ_u^2 модели (1) в соответствии с (Battese, Coelli, 1988) оценка технической эффективности равна:

$$TE_i = E(e^{-u_i}|v_i - u_i) = \frac{\Phi(\tilde{\mu}_i/\sigma_* - \sigma_*)}{\Phi(\tilde{\mu}_i/\sigma_*)} exp\left\{\frac{1}{2}\sigma_*^2 - \tilde{\mu}_i\right\} \quad \textbf{(2)},$$

где $\tilde{\mu}_{it} = -(v_i - u_i)\sigma_u^2/\sigma^2$, $\sigma_*^2 = \sigma_u^2\sigma_v^2/\sigma^2$, $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$.

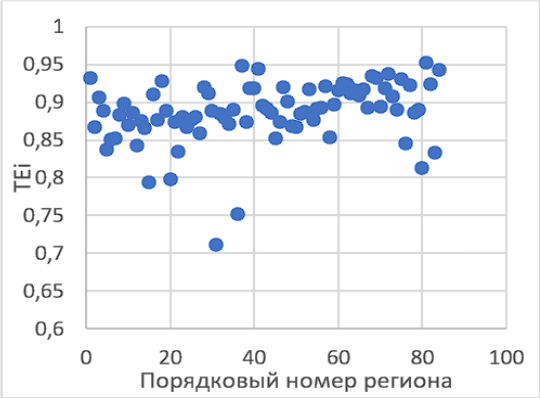


Рис. 1а. Оценки технической эффективности по М0

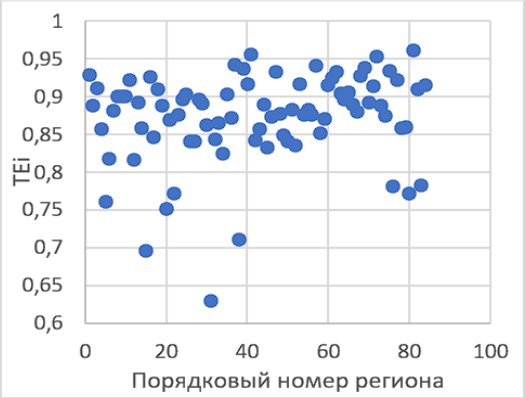


Рис. 1б. Оценки технической эффективности по М1

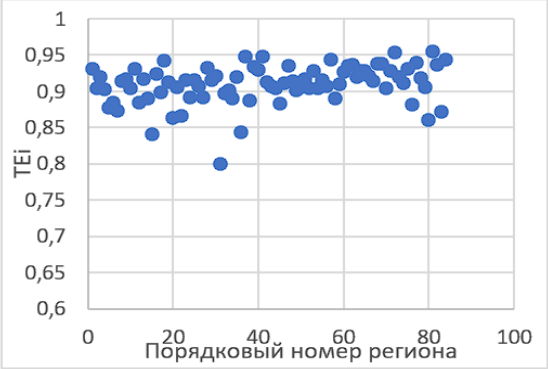


Рис. 1в. Оценки технической эффективности по М2

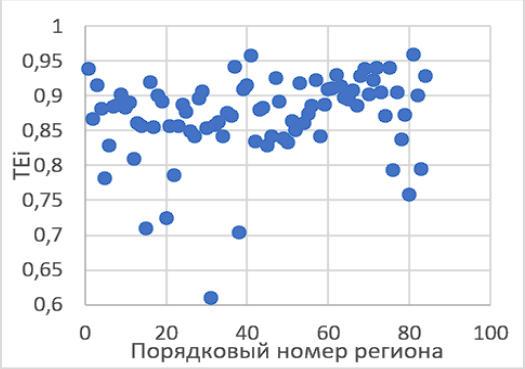


Рис. 1г. Оценки технической эффективности по М3

Источник: расчеты автора

Оценки технической эффективности $\boldsymbol{TE_i}$ находятся в интервале примерно от 0,61 (Республика Крым) до 0,96 (Магаданская область, Омская область, Северная Осетия и др). Такие значения говорят, что модель фиксирует относительно высокую среднюю эффективность и ограниченный резерв роста только за счёт повышения эффективности.

Регионы с высокими значениями $\boldsymbol{TE_i}$ (Белгородская, Московская, Ростовская области, Санкт-Петербург, Татарстан и др.) практически находятся на стохастической границе: при текущих ресурсах регион реализует большую часть производственного потенциала. Для данной группы регионов дальнейший рост ВРП требует сдвига самой границы вверх за счет дополнительного капитала, более квалифицированного труда и качественного ИКТ-капитала.

Регионы с $\boldsymbol{TE_i}$<0,8 (Республика Крым, Республика Коми, Тверская область, Забайкальский край, Амурская область, Еврейская АО и др.) используют свой производственный потенциал менее полно, что может быть связано с сочетанием институциональных, транспортно-логистических, периферийных и структурных ограничений, а также с более высокой зависимостью от бюджетного сектора и ресурсной специализации.

Региональные различия в эффективности устойчивы к изменению набора ИКТ-показателей в модели, однако для ряда территорий (Крым, Тверская область, Забайкальский край) учёт организационных аспектов цифровизации повышает оценку эффективности по сравнению с моделью, учитывающей лишь инфраструктуру доступа.

Низкоэффективные регионы требуют не только наращивания капитала, но и институциональных и организационных реформ, направленных на использование существующей ИКТ-инфраструктуры для повышения производительности.

Обсуждение результатов

Полученные оценки показывают, что включение ИКТ-показателей в стохастическую граничную производственную функцию действительно меняет интерпретацию региональной эффективности, однако характер этого влияния существенно зависит от типа используемых цифровых индикаторов.

В отличие от традиционных факторов капитала и труда, цифровые показатели действуют менее

однозначно: часть из них отражает не прямой производственный эффект, а структурные особенности экономики регионов, различия в отраслевой специализации и степень зрелости цифровой среды. Это особенно заметно для организационных показателей цифровизации. Их статистическая нестабильность указывает на то, что формальное распространение отдельных цифровых практик само по себе ещё не гарантирует роста выпуска, если не сопровождается изменениями в управлении, кадровом составе и производственных процессах.

Более содержательным выглядит влияние показателей, характеризующих внутреннюю цифровую оснащённость организаций. Положительная связь компьютеризации рабочих мест с выпуском позволяет предположить, что на региональном уровне наибольшее значение имеет не просто доступ к инфраструктуре, а глубина включения цифровых технологий в повседневную хозяйственную деятельность. Напротив, отрицательный знак при фиксированном широкополосном доступе, вероятно, отражает не негативное влияние самой инфраструктуры, а различия в траекториях регионального развития, при которых расширение доступа может опережать рост выпуска.

Оценки технической эффективности регионов лежат в диапазоне примерно от 0,61 до 0,96, что указывает на достаточно высокий средний уровень использования производственного потенциала при заметной межрегиональной дифференциации. Для большинства регионов потенциал «догоняющего» роста относительно собственной границы оценивается на уровне 5–15%, тогда как для группы отстающих регионов недоиспользование производственного потенциала достигает 20–40%. Это означает, что для части регионов резерв роста связан прежде всего с институциональными и организационными изменениями, тогда как для регионов, близких к эффективной границе, ключевым становится уже не сокращение неэффективности, а сдвиг самой производственной границы за счёт накопления капитала, повышения качества труда и развития более зрелой цифровой среды.

Заключение

Цифровая трансформация усиливает роль ИКТ как фактора региональной производительности и межтерриториальной дифференциации, что для России особенно существенно с учётом выраженной неоднородности инфраструктуры, различий в цифровой зрелости организаций и устойчивого разрыва между ядром и периферией. При этом отечественные работы, как правило, либо оценивают техническую эффективность регионов без явного включения ИКТ, либо рассматривают цифровизацию вне рамок стохастических граничных моделей производственного потенциала.

С методологической точки зрения результаты показывают, что компонент технической неэффективности с полунормальным распределением оказывается слабо идентифицируемым, а проведённые тесты не позволяют однозначно отвергнуть гипотезу о его нулевом значении, что фактически сближает оценённую спецификацию с обычной регрессией и сужает возможности надёжного ранжирования регионов по уровню неэффективности. Вместе с тем включение ИКТ-показателей даёт возможность уточнить эластичности по традиционным факторам производства и выявить специфические цифровые эффекты, прежде всего значимость внутренней компьютеризации организаций и неоднозначное влияние инфраструктуры фиксированного доступа.

Полученные выводы развивают подход стохастической производственной границы, интегрируя в него блок ИКТ-показателей и тем самым приближая анализ к современной повестке исследований цифрового неравенства и цифрового капитала. С практической позиции оценки технической эффективности и установленная связь между цифровыми характеристиками и выпуском могут служить опорой для региональной политики, ориентированной на повышение качества использования ресурсов и последовательное сокращение цифрового разрыва. Политика поддержки должна ориентироваться не только на расширение доступа, но и на внутреннюю цифровизацию организаций.

Литература

1. Айвазян, С. А. К вопросу о параметризации национальной инновационной системы / С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев, А. В. Кудров, М. А. Лысенкова // Прикладная эконометрика. – 2017. – № 1(45). – С. 29-49. – EDN YIUFRP.
2. Аний, Л. Л. Оценка взаимосвязи внутренних затрат на ИКТ и социально-экономических показателей развития регионов России / Л. Л. Аний // Цифровая экономика. – 2024. – № 3(29). – С. 88-98. – DOI 10.34706/DE-2024-03-10. – EDN SONWQM.
3. Аний, Л. Л. Оценка факторов, влияющих на формирование затрат на ИКТ в домашних хозяйствах в регионах РФ / Л. Л. Аний // Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 45-ой Юбилейной международной научной школы-семинара, д. Красновидово Московской области, 03–09 октября 2022 года. – Воронеж: Издательство «Истоки», 2022. – С. 87-92. – DOI 10.5281/zenodo.7390965. – EDN KXTPUN.
4. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. «Новый цифровой разворот» — от дискурса экономического роста к технологическому расколу мира и принудительной рационализации // Вопросы теоретической экономики. 2022. №4. С. 7–24. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2022_4_7_24.
5. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. Принуждение к цифровой экономике: как изменится структура цифровых рынков под влиянием пандемии COVID-19? // Проблемы прогнозирования. 2021. № 1. С. 19-35. DOI: 10.47711/0868-6351-184-19-35.

6. Ганичев Н.А., Кошовец О.Б. Цифровая экономика России: к стратегии развития в условиях санкций // Проблемы прогнозирования. 2022. № 6(195). С. 94-108. DOI: 10.47711/0868-6351-195-94-108.
7. Жаркова, К. С. Разработка системы статистических показателей влияния информационных технологий на экономическую эффективность // Приоритетные научные направления и критические технологии : сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 06–31 октября 2017 года. – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Центр развития научного сотрудничества", 2017. – С. 103-107. – EDN ZQPHDN.
8. Жданов Д.А. (2023). Цифровизация отечественных производственных компаний: состояние и перспективы // Экономическая наука современной России. № 2 (101). С. 127–141. DOI: 10.33293/1609 1442-2023-2(101)-127-141. EDN: ENNKQF.
9. Земцов С. П., Демидова К. В., Кичаев Д. Ю. Распространение Интернета и межрегиональное цифровое неравенство в России: тенденции, факторы и влияние пандемии // Балтийский регион. 2022. Т. 14, № 4. С. 57—78. doi: 10.5922/2079-8555-2022-4-4.
10. Клейнер Г.Б., Ганичев Н.А., Рыбачук М.А. Стратегические приоритеты системного управления российскими компаниями как средство преодоления технологических дисбалансов цифровизации // Проблемы прогнозирования. 2025. № 6 (213). С. 70-85. DOI: 10.47711/0868-6351-213-70-85.
11. Макаров В. Л. Оценка эффективности регионов РФ с учетом интеллектуального капитала, характеристик готовности к инновациям, уровня благосостояния и качества жизни населения / В. Л. Макаров, С. А. Айвазян, М. Ю. Афанасьев [и др.] // Экономика региона. – 2014. – № 4(40). – С. 9-30. – DOI 10.17059/2014-4-1. – EDN TFGKJZ.
12. Нанавян, А. М. Оценка затрат на развитие информационно-коммуникационных технологий в регионах Российской Федерации / А. М. Нанавян, Л. Л. Аний // Концепции. – 2022. – № 1(41). – С. 78-84. – DOI 10.34705/KO.2022.86.20.008. – EDN AMEITP.
13. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022: Р32 Стат. сб. / Росстат. - М., 2022.- 1122 с.
14. Смирнов, С. Н. Цифровизация в Российских домохозяйствах: региональные различия / С. Н. Смирнов // Социально-трудовые исследования. – 2023. – № 2(51). – С. 100-108. – DOI 10.34022/2658-3712-2023-51-2-100-108. – EDN ROCEPK.
15. Урасова, А. А. Региональный промышленный комплекс в цифровую эпоху: информационно-коммуникационное измерение / А. А. Урасова // Экономика региона. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 684-694. – DOI 10.17059/2019-3-5. – EDN YXPRZY.
16. Aivazyan S., Afanasyev M. Kudrov A. Indicators of Regional Development Using Differentiation Characteristics // Montenegrin Journal of Economics. – 2018. – Vol. 14, No.3. – Pp. 7–22.
17. Battese G. E., Coelli T. J. Prediction of Firm-level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel Data // Journal of Econometrics. – 1988. – Vol. 38. – Pp. 387–399.
18. Delorme C. D., Thompson H. G., Warren R. S. Public infrastructure and private productivity: a stochastic-frontier approach // Journal of Macroeconomics. – 1999. – Vol. 21, No. 3. – P. 563–576. DOI: 10.1016/S0164-0704(99)00116-0.
19. Li G., Ma D. Does the digital economy improve comprehensive total factor productivity in China? // Frontiers in Public Health. – 2024. – Vol. 12. – Art. 1352754. DOI: 10.3389/fpubh.2024.1352754.
20. Metlyakhin A. I., Nikitina N. A., Yarygina L. V., Orlova E. O. Analysis of the impact of economy digitalization on labor productivity in Russia // St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics. – 2020. – Vol. 13, No. 2. – Pp. 7–17. DOI: 10.18721/JE.13201. – EDN ZATUWZ.
21. Ndubuisi G., Otioma C., Owusu S., Tetteh G. K. ICTs quality and technical efficiency: an empirical analysis // Telecommunications Policy. – 2022. – Vol. 46, No. 10. – Art. 102439. DOI: 10.1016/j.telpol.2022.102439.
22. Pan W., Xie T., Wang Z., Ma L. Digital economy: an innovation driver for total factor productivity // Journal of Business Research. – 2022. – Vol. 139. – P. 303–311. DOI: 10.1016/j.jbusres.2021.09.061.
23. Pieri F., Vecchi M., Venturini F. Modelling the joint impact of R&D and ICT on productivity: A frontier analysis approach // Research Policy. – 2018. – Vol. 47, No. 9. – Pp. 1842–1852.
24. Rehman N. U., Nunziante G. The effect of the digital economy on total factor productivity in European regions // Telecommunications Policy. – 2023. – Vol. 47, No. 10. DOI: 10.1016/j.telpol.2023.102650.
25. Robertson Globalization: Social Theory and Global Culture. L., 1992.
26. Susiluoto I. Effects of ICT on Regional Economic Efficiency, 2003. URL: https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/03_12_30_susiluoto_vj16.pdf
27. Tan R., Cui L., Meng X., Xu M. Towards energy conservation by constructing more transportation infrastructure?: An endogenous stochastic frontier analysis framework // Journal of environmental management. – 2023. – Vol. 346. – Art. 118992. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118992.
28. Untura, G. A. The Knowledge Economy and Digitalization: Assessing the Impact on Economic Growth of Russian Regions // Regional Research of Russia. – 2023. – Vol. 13, No. 3. – P. 397-406. – DOI: 10.1134/s2079970523700909. – EDN VVSJSX.
29. Zou S., Liao Z., Fan X. The impact of the digital economy on urban total factor productivity: mechanisms and spatial spillover effects // Scientific Reports. – 2024. – Vol.14. – Art. 396. DOI: 10.1038/s41598-023-49915-3.

References in Cyrillics

1. Ajvazyan, S. A. K voprosu o parametrizacii nacional`noj innovacionnoj sistemy` / S. A. Ajvazyan, M. Yu. Afanas`ev, A. V. Kudrov, M. A. Ly`senkova // Prikladnaya e`konometrika. – 2017. – № 1(45). – S. 29-49. – EDN YIUFRP.
2. Anij, L. L. Ocenka vzaimosvyazi vnutrennix zatrat na IKT i social`no-e`konomicheskix pokazatelej razvitiya regionov Rossii / L. L. Anij // Cifrovaya e`konomika. – 2024. – № 3(29). – S. 88-98. – DOI 10.34706/DE-2024-03-10. – EDN SONWQM.
3. Anij, L. L. Ocenka faktorov, vliyayushhix na formirovanie zatrat na IKT v domashnix xozyajstvax v regionax RF / L. L. Anij // Sistemnoe modelirovanie social`no-e`konomicheskix processov: trudy` 45-oj Yubilejnoj mezhdunarodnoj nauchnoj shkoly`-seminara, d. Krasnovidovo Moskovskoj oblasti, 03–09 oktyabrya 2022 goda. – Voronezh: Izdatel`stvo «Istoki», 2022. – S. 87-92. – DOI 10.5281/zenodo.7390965. – EDN KXTPUN.
4. Ganichev N.A., Koshovecz O.B. «Novy`j cifrovoj razvorot» — ot diskursa e`konomicheskogo rosta k texnologicheskomu raskolu mira i prinuditel`noj racionalizacii // Voprosy` teoreticheskoj e`konomiki. 2022. №4. S. 7–24. DOI: 10.52342/2587-7666VTE_2022_4_7_24.
5. Ganichev N.A., Koshovecz O.B. Prinuzhdenie k cifrovoj e`konomike: kak izmenitsya struktura cifrovy`x ry`nkov pod vliyaniem pandemii COVID-19? // Problemy` prognozirovaniya. 2021. № 1. S. 19-35. DOI: 10.47711/0868-6351-184-19-35.
6. Ganichev N.A., Koshovecz O.B. Cifrovaya e`konomika Rossii: k strategii razvitiya v usloviyax sankcij // Problemy` prognozirovaniya. 2022. № 6(195). S. 94-108. DOI: 10.47711/0868-6351-195-94-108.
7. Zharkova, K. S. Razrabotka sistemy` statisticheskix pokazatelej vliyaniya informacionny`x texnologij na e`konomicheskuyu e`ffektivnost` // Prioritetny`e nauchny`e napravleniya i kriticheskie texnologii : sbornik materialov I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Novosibirsk, 06–31 oktyabrya 2017 goda. – Novosibirsk: Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost`yu Centr razvitiya nauchnogo sotrudnichestva, 2017. – S. 103-107. – EDN ZQPHDN.
8. Zhdanov D.A. (2023). Cifrovizaciya otechestvenny`x proizvodstvenny`x kompanij: sostoyanie i perspektivy` // E`konomicheskaya nauka sovremennoj Rossii. № 2 (101). S. 127–141. DOI: 10.33293/1609 1442-2023-2(101)-127-141. EDN: ENNKQF.
9. Zemczov S. P., Demidova K. V., Kichaev D. Yu. Rasprostranenie Interneta i mezhregional`noe cifrovoe neravenstvo v Rossii: tendencii, faktory` i vliyanie pandemii // Baltijskij region. 2022. T. 14, № 4. S. 57—78. doi: 10.5922/2079-8555-2022-4-4.
10. Klejner G.B., Ganichev N.A., Ry`bachuk M.A. Strategicheskie prioritety` sistemnogo upravleniya rossijskimi kompaniyami kak sredstvo preodoleniya texnologicheskix disbalansov cifrovizacii // Problemy` prognozirovaniya. 2025. № 6 (213). S. 70-85. DOI: 10.47711/0868-6351-213-70-85.
11. Makarov V. L. Ocenka e`ffektivnosti regionov RF s uchetom intellektual`nogo kapitala, xarakteristik gotovnosti k innovaciyam, urovnya blagosostoyaniya i kachestva zhizni naseleniya / V. L. Makarov, S. A. Ajvazyan, M. Yu. Afanas`ev [i dr.] // E`konomika regiona. – 2014. – № 4(40). – S. 9-30. – DOI 10.17059/2014-4-1. – EDN TFGKJZ.
12. Nanavyan, A. M. Ocenka zatrat na razvitie informacionno-kommunikacionny`x texnologij v regionax Rossijskoj Federacii / A. M. Nanavyan, L. L. Anij // Koncepcii. – 2022. – № 1(41). – S. 78-84. – DOI 10.34705/KO.2022.86.20.008. – EDN AMEITP.
13. Regiony` Rossii. Social`no-e`konomicheskie pokazateli. 2022: R32 Stat. sb. / Rosstat. - M., 2022.- 1122 s.
14. Smirnov, S. N. Cifrovizaciya v Rossijskix domoxozyajstvax: regional`ny`e razlichiya / S. N. Smirnov // Social`no-trudovy`e issledovaniya. – 2023. – № 2(51). – S. 100-108. – DOI 10.34022/2658-3712-2023-51-2-100-108. – EDN ROCEPK.
15. Urasova, A. A. Regional`ny`j promy`shlenny`j kompleks v cifrovuyu e`poxu: informacionno-kommunikacionnoe izmerenie / A. A. Urasova // E`konomika regiona. – 2019. – T. 15, № 3. – S. 684-694. – DOI 10.17059/2019-3-5. – EDN YXPRZY.

Лысенкова Мария Александровна, к.э.н., с.н.с. ЦЭМИ РАН
ORCID 0000-0002-2381-9807
lysenkovam@gmail.com

Аний Людмила Леонидовна, м.н.с. ЦЭМИ РАН
ORCID 0000-0001-6703-1504
aniyl@bk.ru

Ключевые слова:
Техническая эффективность; стохастическая граница; производственная функция; регионы России; ИКТ; цифровая экономика; рейтинг регионов.

Maria Lysenkova, Lyudmila Anii, The impact of information and communication technologies on the technical efficiency of Russian regions within the stochastic frontier framework

Keywords
Technical efficiency, stochastic frontier, production function, Russian regions, ICT, digital economy, regional ranking.
DOI: 10.34706/DE-2026-05-03
JEL classification: C13, C51, O33, R11

Abstrac*t*
This article examines the impact of information and communication technologies (ICT) on the technical efficiency of Russian regions using a multifactor stochastic frontier production function. The model incorporates indicators reflecting both the use of ICT in organizations and the development of ICT infrastructure, enabling an assessment of the contribution of digital factors to gross regional product (GRP) and the construction of a ranking of regions by their proximity to the efficiency frontier. An empirical analysis based on data from the constituent entities of the Russian Federation for 2022 shows that traditional factors of capital and labor retain a leading role; however, certain ICT indicators, particularly the internal computerization of organizations, are also associated with increased output and technical efficiency. The results highlight the importance of considering not only the volume but also the quality of the digital environment when assessing regional development and designing regional policy measures.