

DOI 10.46320/2077-7639-2025-9-142-12-19

# Моделирование экономического роста в условиях цифровизации на основе производственных функций с учетом временных лагов

Исмагилов И.И., Алсаиед Г.

Цифровая экономика на современном этапе развития общества является одним из основных драйверов экономического роста страны. Однако инвестиции в цифровую трансформацию экономики характеризуется тем, что их результаты часто проявляются постепенно из-за необходимости институциональной и технологической адаптации. Целью данного исследования является анализ взаимосвязи между валовым региональным продуктом Республики Татарстан и факторами производства с акцентом на цифровые капитал и труд с использованием модифицированной модели Кобба-Дугласа. В качестве замещающих переменных для цифровых капитала и труда использованы затраты на информационно-коммуникационные технологии и численность занятых в этом секторе экономики. В исследовании установлено, что при моделировании экономического роста необходимо учитывать временной лаг во влиянии цифрового капитала. Результаты показывают, что простого увеличения количества занятых в секторе информационно-коммуникационных технологий недостаточно для достижения экономического роста. Необходимо также повышение эффективности цифрового труда за счет обучения сотрудников цифровым навыкам, развития институциональных структур для эффективного их использования при решении функциональных задач и увеличения прямых инвестиций в информационно-коммуникационные технологии.

для цитирования

Исмагилов И.И., Алсаиед Г. Моделирование экономического роста в условиях цифровизации на основе производственных функций с учетом временных лагов // Дискуссия. – 2025. – № 9(142). – С. 12–19.

ГОСТ 7.1-2003

ключевые слова

Экономический рост, цифровая трансформация, цифровая экономика, цифровой капитал, цифровой труд, производственная функция, нечеткий регрессионный анализ.

DOI 10.46320/2077-7639-2025-9-142-12-19

# Modeling economic growth in the context of digitalization based on production functions taking into account time lags

Ismagilov I.I., Alsaeid G.

At the current stage of societal development, the digital economy is one of the main drivers of national economic growth. However, investments in digital economic transformation are characterized by the fact that their results often emerge gradually due to the need for institutional and technological adaptation. The purpose of this study is to analyze the relationship between the GRP of the Republic of Tatarstan and the factors of production, with an emphasis on digital capital and digital labor using a modified Cobb-Douglas model. Information and communication technologies expenditure and the number of people employed in this sector of the economy were used as replacement variables for digital capital and labor. The study found that the time lag in the impact of digital capital must be taken into account when modeling economic growth. The results indicate that simply increasing employment in the information and communication technologies sector is not sufficient to achieve economic growth. It is also necessary to improve the efficiency of digital labor by training employees in digital skills, developing institutional structures for their effective use in solving functional problems, and increasing direct investment in information and communication technologies.

#### FOR CITATION

Ismagilov I.I., Alsaeid G. Modeling economic growth in the context of digitalization based on production functions taking into account time lags. *Diskussiya [Discussion]*, 9(142), 12–19.

#### APA

#### KEYWORDS

*Economic growth, digital transformation, digital economy, digital capital, digital labor, production function, fuzzy regression analysis.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время общество находится на переходном этапе своего развития. Активно идет процесс перехода к информационному обществу. В работе [1] отмечается, что информационное общество, согласно Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы определено как общество, в котором информация оказывает существенное влияние на экономическую и социокультурную сферы.

В рамках процесса становления информационного общества проводится интенсивная цифровизация экономической деятельности. Это привело к развитию и становлению цифровой экономики на базе информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). По мнению ряда ученых, термин цифровая экономика впервые использовал канадский учёный, один из ведущих мировых авторитетов в области бизнеса и экономики, Дон Тапскотт [2]. В настоящее время

наблюдается широкий спектр определений понятия цифровая экономика, нет однозначной трактовки. На основе покомпонентного анализа значительного количества определений зарубежных и российских ученых понятия цифровая экономика в работе [3] представлена следующая его трактовка: «*Цифровая экономика – это знание-ориентированная экономика на базе цифровых технологий и высокого уровня услуг сетевых инфраструктур, ориентированная на повышение уровня ее устойчивого инклюзивного роста с целью повышения благосостояния общества*».

На современном этапе развития общества цифровая экономика (ЦЭ) является важнейшим фактором достижения экономического роста (ЭР). В работах [4,5] эмпирически показано значимое влияние факторов цифровой трансформации на ЭР регионов РФ. Сегодня ЦЭ является неотъемлемой частью общего экономического пространства, учитывая ее существенное значение в формировании стоимости цифровых продуктов и обычных потребительских товаров. Например, в настоящее время сложно представить систему продажи товаров и услуг без глобального интернета, который позволяет расширять продукцию в отдаленные районы и т. д. Цифровые инновации и достижения в области науки и техники существенно повлияли на общество не только на экономическом уровне, но и на социальном, внося значительный вклад в решение поставленных задач. Цифровая трансформация государственных учреждений, служб и других услуг обеспечивает более удобное и динамичное решение вопросов [6].

Стоит отметить, что изменения в ЦЭ происходят настолько быстро, что сложно успевать за всеми их преимуществами. Положительное влияние цифровых ИКТ на экономику и жизнь людей сопровождается также возникновением технологических и социальных рисков, связанных с использованием цифровизации [7]. В связи с интенсивным расширением использования современных ИКТ ожидается, что определенная часть работающих в некоторых сферах потеряют работу. Хотя эксперты считают, что в ближайшем будущем машины не смогут полностью заменить человека, в долгосрочной перспективе возможно значительное сокращение числа задач, которые человек способен выполнять без технологической поддержки [8].

Особенностью сегодняшних реалий является также то, что технологический прогресс не всегда происходит одновременно или равномерно во всех регионах. В результате определенные области

и социальные группы исключаются из основных преимуществ ЦЭ, что усугубляет неравенство и препятствует инклюзивному ЭР. Это, в свою очередь, приводит к различиям в уровне цифрового развития между различными регионами и странами [9].

С ростом зависимости от цифровых ИКТ растут и проблемы, связанные с защитой конфиденциальных данных и информации. Отсутствие надежной инфраструктуры безопасности в сочетании с расширением цифрового пространства представляет серьезную угрозу кибербезопасности и защите данных, что может негативно повлиять на экономическую стабильность, а также на доверие делового сектора и широкой общественности [9].

Для количественного анализа влияния цифровизации на ЭР, необходимы аналитические инструменты для измерения степени, в которой современные ИКТ способствуют стимулированию ЭР как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Следовательно, возникла важность использования математических и экономических моделей для изучения взаимосвязи между технологиями и ЭР. Теоретические модели, такие, как модель Солоу и модели эндогенного роста, позволяют описать взаимосвязь между производственными затратами (капитал, труд и технологии) и результатами, что позволяет включить технологические переменные в качестве ключевого фактора повышения экономической эффективности [10]. Однако в связи с быстрым развитием цифровизации и глубокими структурными изменениями, происходящими в современной экономике, эти модели все чаще требуют расширения или модификации для включения более современных концепций, таких как цифровой капитал и цифровой труд [4], [5], [11]. В [5] «цифровой труд» и «цифровой капитал» введены в модель производственной функции (ПФ) Кобба-Дугласа как независимые факторы. Авторы [4] используют эту ПФ для анализа влияния основных фондов, среднегодовой численности занятых в экономике и факторов цифровой трансформации на ЭР Республики Татарстан (РТ) с использованием четких и нечетких моделей ПФ. Полученные результаты показали, что факторы цифровой трансформации существенно влияют на региональный ЭР.

Здесь следует отметить следующее. В исследовании Федеральной резервной системы США 2004 года «The Delayed Response To A Technology Shock» предполагается, что влияние цифровых технологий на экономику может быть не немедленным

из-за необходимости адаптации и инвестирования в сопутствующие процессы [12]. Например, в электронном бизнесе может наблюдаться известное предположение П. Дэвида – «гипотеза отсрочки Дэвида» (David delay hypothesis), гласящее о том, что происходит откладывание во времени выгод от применения информационных технологий [13].

Целью данной работы является анализ влияния факторов капитала, труда и цифровой трансформации на валовый региональный продукт (ВРП) РТ с учетом их временных лагов и выработка соответствующих рекомендаций на основе результатов анализа.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для оценки влияния показателей цифровой трансформации на ЭР РТ за 2010–2023 гг. использована эконометрическая модель в виде модифицированной ПФ Кобба-Дугласа [5]. Авторы ввели в эту ПФ два дополнительных фактора – цифровые факторы ЭР: цифровой капитал и цифровой труд. При этом, учитывая, что эти цифровые факторы непосредственно измерить нельзя, вместо в них в модель предложено включить замещающие переменные: затраты на информационно-коммуникационные технологии и численность занятых в секторе ИКТ.

Теоретическая модель, предложенная в [5], имеет следующий вид:

$$Y = A * K^{\beta_1} * L^{\beta_2} * KICT^{\beta_3} * LICT^{\beta_4} * \varepsilon,$$

где  $Y$  – ВРП, млн руб.;  $K$  – величина основных фондов, млн руб.;  $L$  – среднегодовая численность занятых в экономике, тыс. чел.;  $KICT$  – затраты на ИКТ, млн руб.;  $LICT$  – численность занятых в секторе ИКТ, тыс. чел.;  $\varepsilon$  – случайные возмущения.

Для построения ПФ были использованы следующие методы:

- четкая линейная регрессия, оцениваемая МНК, – реализация в среде эконометрического пакета Gretl;
- нечеткая линейная регрессия с использованием треугольных нечетких чисел, оцениваемая методом Танака [14], – реализация в среде табличного процессора MS Excel;
- нечеткая линейная регрессия с использованием треугольных нечетких чисел, оцениваемая методом построения агрегированной нечеткой регрессии [15], – реализация в среде табличного процессора MS Excel;
- нечеткая линейная регрессия с использованием трапециевидных чисел на основе МНК [16] –

реализация в среде программы FuzzyLRM для оценивания нечеткой линейной регрессионной модели с трапециевидными коэффициентами [17].

Статистические данные получены из официальной информации, размещенной на сайте Федеральной службы государственной статистики (Росстат) (<https://rosstat.gov.ru>).

## ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные в среде эконометрического пакета Gretl ряд моделирований на основе выбранной спецификации ПФ с учетом временных лагов факторов показало, что статистически значимое влияние на ВРП оказывают лаги цифрового капитала, при этом максимальный лаг равен 2. По этой причине в работе рассматриваются модели ПФ с лагами фактора цифрового капитала.

Четкая производственная ВРП РТ за 2010–2023 гг. мультипликативно-степенной форме с учетом двух первых лагов фактора цифрового капитала оценена приведением ее к лог-линейному виду в среде Gretl. После потенцирования ПФ имеет вид:

$$\hat{Y}_n = e^{-10,844} * K_n^{0,247} * L_n^{2,051} * \\ * KICT_{n-1}^{0,208} * KICT_{n-2}^{0,428} LICT_n^{-0,087}.$$

Модель характеризуется следующими показателями: коэффициент множественной детерминации  $R^2=0,977$ , средняя абсолютная процентная ошибка  $MAPE=4,491$ . Модель статистически значима по  $F$ -критерию Фишера на уровне значимости  $\alpha=0,01$ . Статистически значимыми являются коэффициенты регрессии при  $K_n$  и  $KICT_{n-2}$  на уровне  $\alpha=0,1$ . Коэффициенты регрессии при  $L_n$ ,  $KICT_{n-1}$  и  $LICT_n$  статистически незначимы даже на уровне  $\alpha=0,1$ . Подчеркнем, это не значит, что эти факторы не влияют на ВРП, это свидетельствует об их статистически незначимом влиянии на всех уровнях значимости  $\alpha$ , используемых при выработке статистических решений в эконометрике.

Проведем совершенствование модели за счет исключения несущественных переменных с использованием совместного  $F$ -теста на уровне 0,05 в среде Gretl. Получаем следующую оценку модели:

$$\hat{Y}_n = e^{-14,612} * K_n^{0,292} * L_n^{2,617} * KICT_{n-2}^{0,492}.$$

Модель характеризуется следующими показателями:  $R^2=0,969$ ,  $MAPE=5,319$ . Модель статистически значима по  $F$ -критерию Фишера на уровне значимости  $\alpha=0,01$ . Статистически значимыми являются коэффициент регрессии при  $K_n$ ,  $L_n$  и  $KICT_{n-2}$  на уровне  $\alpha=0,05$ . Проведенный анализ

свойств остатков модели показал следующее: все встроенные тесты Gretl на гетероскедастичность показали их отсутствие при  $\alpha=0,05$ , отсутствие мультиколлинеарности. Также подтверждается отсутствие автокорреляции при  $\alpha=0,05$ .

Модель отражает реалистичное понимание того, что цифровые инвестиции не дают немедленных результатов, а влияние цифрового капитала проявляется статистически значимо через два года. Это эмпирически доказывает предположение П. Дэвида об откладывании во времени выгод от применения информационных технологий [13]. Отметим также, что влияние цифрового капитала больше, чем влияние физического капитала, что отражает важность цифровизации для ЭР РТ.

Построим нечеткую модель Кобба -Дугласа РТ за 2010-2023 гг. с использованием метода Танаки ( $h=0$ ) с учетом временного лага в два года для фактора цифрового капитала:

$$\hat{Y}_n = e^{(-11,287; -11,209; -11,131)} * K_n^{0,2818} * \\ * L_n^{2,208} * KICT_{n-2}^{0,5177} LICT_n^{-0,1195}$$

Модель характеризуется следующими показателями, вычисленными по дефазированном по методу центра площади предсказанным нечетким значениям ВРП:  $R^2=0,971$ ,  $MAPE=6,019$ . В дальнейшем эти показатели нечетких ПФ будут вычислены таким же образом. Следует отметить, что по методу Танака построена частично-нечеткая модель, она имеет четкие коэффициенты регрессии по всем факторам  $K$ ,  $L$ ,  $KICT$  и  $LICT$ , нечеткой является лишь свободный член.

Для оптимизации нечеткости модели, в которой все коэффициенты нечеткие, модель построим на основе метода построения агрегированной нечеткой ПФ [15]. После перехода от оцененной лог-линейной модели к исходной модели получаем нечеткую ПФ вида:

$$\hat{Y}_n = e^{(-11,281; -11,212; -11,143)} * K_n^{(0,2820; 0,2823; 0,2825)} * \\ L_n^{(2,2090; 2,2093; 2,2095)} ** KICT_{n-2}^{(0,5160; 0,5163; 0,5165)} \\ LICT_n^{(-0,1187; -0,1185; -0,1182)}.$$

Модель характеризуется следующими показателями: коэффициент множественной детерминации  $R^2=0,971$ ,  $MAPE=6,021$ . Модель показывает, что при увеличении численности занятых в секторе ИКТ объем ВРП РТ в среднем снижается. Отметим, что цифровой капитал введен в модель с временным лагом в два года, а численность занятых в секторе в исходном виде и имеет обратное направление связи с ВРП. Это позволяет сделать

следующий вывод: число занятых в секторе ИКТ может увеличиться, но без соответствующего повышения уровня цифрового капитала это может привести к отрицательному результату относительно роста ВРП.

Проведём построение нечеткой ПФ с использованием трапециевидных чисел на основе МНК [16]. В результате построена следующая модель:

$$\hat{Y}_n = e^{(-10,011; -10,011; -10,011; -9,941)} * \\ * K_n^{(0,2873; 0,2895; 0,2916; 0,2916)} * \\ * L_n^{(1,9669; 1,9669; 1,9718; 1,9718)} * \\ * KICT_{n-2}^{0,5888} * LICT_n^{-0,1957}.$$

Модель характеризуется следующими показателями: коэффициент множественной детерминации  $R^2=0,978$ ,  $MAPE=5,73$ . Отметим, здесь также имеем частично-нечеткую модель и модель подтверждает обратное направление связи между ВРП и числом занятых в секторе ИКТ.

Для изучения прогностических свойств рассмотренных моделей проведём разбиение имеющейся выборки на две части: обучающую и контрольную подвыборки. Обучающая подвыборка включает основную часть наблюдений с использованием данных с 2010 по 2022 гг. Для контрольной подвыборки выбираем данные за 2023 г.

В среде Gretl построенная адекватная модель за 2010-2022 гг. имеет следующий вид:

$$\hat{Y}_n = e^{-13,620} * K_n^{0,301} * L_n^{2,514} * KICT_{n-2}^{0,456}.$$

Модель характеризуется следующими показателями:  $R^2=0,959$ ,  $MAPE=5,5$ . Модель статистически значима по  $F$ -критерию Фишера на уровне значимости  $\alpha=0,01$ . Статистически значимыми являются коэффициент регрессии при  $K_n$ ,  $KICT_{n-2}$  на уровне  $\alpha=0,05$  и  $L_n$  на уровне  $\alpha=0,1$ . Проведенный анализ свойств остатков модели показал следующее: все встроенные тесты Gretl на гетероскедастичность показали их отсутствие при  $\alpha=0,05$ . Также подтверждается отсутствие автокорреляции при  $\alpha=0,05$ .

Построим нечеткую модель Кобба-Дугласа РТ с использованием метода Танаки ( $h=0$ ) с учетом временного лага в два года для фактора цифрового капитала:

$$\hat{Y}_n = e^{(-11,287; -11,209; -11,131)} * \\ * K_n^{0,2818} * L_n^{2,208} * KICT_{n-2}^{0,5177} LICT_n^{-0,1196}.$$

Модель характеризуется следующими показателями:  $R^2=0,959$ ,  $MAPE=6,172$ . Построенная модель является частично-нечеткой, она имеет четкие коэффициенты по всем факторам  $K$ ,  $L$ ,  $KICT$  и  $LICT$ .

На основе метода построения агрегированной нечеткой ПФ [16] получена модель следующего вида:

$$\hat{Y}_n = e^{(-11,349; -11,212; -11,075)} * \\ * K_n^{(0,2820; 0,2823; 0,2825)} * L_n^{(2,2090; 2,2093; 2,2095)} * \\ * KICT_{n-2}^{(0,5160; 0,5163; 0,5165)} LICT_n^{(-0,1187; -0,1185; -0,1182)}$$

Модель характеризуется следующими показателями:  $R^2=0,959$ ,  $MAPE=6,17$ .

Построенная нечеткая ПФ с использованием трапециевидных чисел на основе МНК [16] имеет следующий вид:

$$\hat{Y}_n = e^{(-10,005; -10,005; -10,005; -9,936)} * \\ * K_n^{(0,2893; 0,2914; 0,2935; 0,2935)} * \\ * L_n^{(1,9801; 1,9801; 1,9846; 1,9846)} * KICT_{n-2}^{0,5720} * \\ LICT_n^{(-0,1860; -0,1860; -0,1859; -0,1859)}.$$

Модель характеризуется следующими показателями:  $R^2=0,999$ ,  $MAPE=6,18$ .

Таким образом с использованием обучающей выборки были построены рассмотренные ранее 4 вида ПФ. На основе этих ПФ проведено прогнозирование ЭР РТ на 2023 г., считая ВРП этого года, равное 4583352 млн руб., контрольной точкой. Полученные результаты представлены в таблице 1.

В таблице 1 для нечетких ПФ точечные оценки вычислены дефазифицированными по методу центра площади предсказанными нечеткими значениями ВРП. Доверительные интервалы коэффициентов регрессии четкой ПФ определены на уровне значимости  $\alpha=0,05$ , а в случае нечетких моделей – на уровне возможных значений коэффициентов (носителей нечетких чисел). Табличные данные показывают, что наиболее близкий к фактическому значению прогноз получен с помощью нечеткой модели с использованием трапециевидных чисел и фактическое значение ВРП на 2023 г. попадает в её интервальный прогноз.

Полученные результаты моделирования ЭР РТ позволяют сделать вывод, что временной лаг отражает реальный характер воздействия технологий на ВРП, поскольку использование затрат на ИКТ с временным лагом в два года назад показало свое влияние на объем ВРП в последующие годы. Следует также отметить, что, инвестиции в цифровую инфраструктуру, включая инициативы по развитию цифровых навыков сотрудников, должны подкрепляться соответствующей политической и стратегиями для эффективного повышения производительности труда [18].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе получен ряд адекватных четких и нечетких моделей ЭР для РТ с использованием ПФ. Фактор цифрового капитала включен в модели ПФ с двухлетним временным лагом, что реалистично отражает не мгновенный характер влияния цифровых инвестиций на ЭР. Во всех моделях нечетких ПФ значимыми оказались факторы капитала, труда и цифровой трансформации. Однако нечеткая ПФ с использованием метода Танаки дает четкие коэффициенты регрессии, поэтому агрегированная нечеткая ПФ с использованием треугольных чисел позволяет оптимизировать размытость модели. Данная модель на основе агрегированной нечеткой ПФ оказалась наилучшей для анализа ЭР РТ за рассматриваемый период времени.

Результаты моделирования на основе четырехфакторных нечетких ПФ, включающих фактор цифрового капитала с лагом в два года, показывают, что ранжирование факторов по силе их влияния на ВРП РТ выглядит следующим образом: среднегодовая численность занятых в экономике, затраты на информационно-коммуникационные технологии и стоимость основных фондов. При этом количество занятых в секторе ИКТ отрицательно связано с ВРП при наличии запаздывающего влияния цифрового капитала с временным лагом в два года.

Таблица 1  
Прогнозы ВРП на 2023 г. на основе ПФ

| Модель   | $Y_{2023}$ ,<br>млн руб. | Относительная ошибка,<br>% | Доверительный интервал,<br>млн руб. |
|--|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| Четкая модель на основе МНК                                    | 4281213                  | 6,5                        | [3375969; 5429193]                  |
| Нечеткая модель на основе метода Танака ( $h=0$ )              | 4384589,5                | 4,3                        | [4056851; 4738804]                  |
| Нечеткая модель на основе агрегированной нечеткой ПФ ( $h=0$ ) | 4382348                  | 4,3                        | [4053257; 4738158]                  |
| Нечеткая модель на основе МНК                                  | 4532227                  | 1,1                        | [4173778; 4958174]                  |

Источник: составлено авторами.

Полученные результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что расширение занятости в этом секторе ИКТ не обязательно приводит к улучшению региональных экономических показателей. Это может быть связано с низкой эффективностью использования или отсроченной отдачей от цифровых навыков. Это подчеркивает важность учета качества занятот-

сти и эффективности цифрового человеческого капитала, а не только его количества. В этой связи актуальной является задача согласования политики цифрового обучения и инвестиций в инфраструктуру ЦЭ с долгосрочными стратегиями развития для обеспечения ее устойчивого положительного влияния на региональную экономику.

## Список литературы

1. Пашенко, И. Ю. Современный этап развития информационного общества в Российской Федерации: цифровая информация, информационные технологии и государственное управление // NB: Административное право и практика администрирования. – 2022. – № 3. – С. 58-68.
2. Дон, Тэпскотт. Цифровая экономика: перспективы и опасности в век сетевого интеллекта. – Макгроу-Хилл, 1994. – 368 р.
3. Исмагилов, И. И., Алсаид, Г. Цифровая экономика: компонентный анализ определений понятия // Дискуссия. – 2023. – № 4(119). – С. 6-16.
4. Исмагилов, И. И., Алсаид, Г. Оценка влияния факторов цифровой трансформации на региональный экономический рост на основе регрессионного анализа // Креативная экономика. – 2025. – Т. 19, № 5. – С. 1131-1146. – DOI: 10.18334/ce.19.5.123184.
5. Миролюбова, Т. В., Радионова, М. В. Оценка влияния факторов цифровой трансформации на региональный экономический рост // Регионология. – 2021. – Т. 29, № 3. – С. 486-510. – DOI: 10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510.
6. Осипова, Н. Г. Цифровизация социальной реальности: ключевые дискуссии // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. – 2022. – № 28(3). – С. 9-42. – DOI: https://doi.org/10.24290/1029-3736-2022-28-3-9-42.
7. Термелева, А. Е. Цифровая трансформация на современном этапе и ее влияние на инновационную деятельность // Вестник Самарского университета. Экономика и управление. – 2022. – Т. 13, № 3. – С. 50–58. – DOI: http://doi.org/10.18287/2542-0461-2022-13-3-50-58.
8. Осипова, Н. Г. Цифровизация социальной реальности: ключевые дискуссии // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. – 2022. – № 28(3). – С. 9-42. – DOI: https://doi.org/10.24290/1029-3736-2022-28-3-9-42.
9. Гулина, С. Т., Мусина, Д. Р. Цифровое неравенство как препятствие для развития регионов и отраслей // Human Progress. – 2024. – Т. 10, Вып. 5. – С. 6. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://progresshuman.com/images/2024/Tom10\_5/Gulina.pdf (дата обращения: 08.08.2025). – DOI: 10.46320/2073-4506-2024-5a-5.
10. Ангус, Чу. От Солоу до Ромера: Преподавание эндогенных технологических изменений в экономике на уровне бакалавриата // Международный обзор экономического образования. – 2018. – 27(С). – С. 10-15. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.iree.2018.01.006.
11. Варламова, Ю. А., Кадочникова, Е. И. Детерминанты использования организациями технологий больших данных в российских регионах // Журнал прикладных экономических исследований. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 422–451.
12. Роберт, Дж. Вигфуссон. Запоздалая реакция на технологический шок: объяснение гибкой цены // Материалы для обсуждения по международным финансам. – 2004. – 810. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.federalreserve.gov/pubs/ifdp/2004/810/ifdp810.pdf (дата обращения: 08.08.2025).
13. Дэвид, П. А. Динамо-машина и компьютер: исторический взгляд на современный парадокс производительности // Американское экономическое обозрение. – 1990. – 80. – С. 355–361.
14. Танака, Х., Уэдзима, С., Асай, К. Линейный регрессионный анализ с использованием нечеткой модели // Труды IEEE по системному менеджменту и кибернетике. – 1982. – 12. – С. 903-907.
15. Исмагилов, И. И., Алсаид, Г. Метод построения мультиплексивно-степенных нечетких производственных функций // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. – 2023. – № 5. – С. 124-129. – DOI: https://doi.org/10.47576/2411-9520\_2023\_5\_124.
16. Исмагилов, И. И., Алсаид, Г. Нечеткий регрессионный анализ с использованием трапециевидных нечетких чисел // Промышленный инжиниринг и системы управления. – 2020. – 19(4). – С. 896-900. – DOI: 10.7232/ieims.2020.19.4.896.
17. Исмагилов, И. И., Алсаид, Г. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2025615991 Российской Федерации. Программа FuzzyLRM для оценивания нечеткой линейной регрессионной модели с трапециевидными коэффициентами: № 2025613671; заявл. 25.02.2025; опубл. 12.03.2025.
18. Алека, О. Э., Михай, Ф. Роль цифровой инфраструктуры и навыков в повышении производительности труда: опыт индустрии 4.0 в Европейском союзе // Системы. – 2025. – 13(2). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.mdpi.com/2079-8954/13/2/113 (дата обращения: 08.08.2025). – DOI: https://doi.org/10.3390/systems13020113.

## References

1. Paschenko, I. Y. The modern stage of the information society development in the Russian Federation: digital information, information technologies and public administration // NB: Administrative law and practice of administration. – 2022. – № 3. – Pp. 58-68.
2. Don, Tapscott. Digital economy: prospects and dangers in the age of network intelligence. – McGraw-Hill, 1994. 368 p.
3. Ismagilov, I. I., Alsayed, G. Digital economy: a component analysis of definitions of the concept // Discussion. – 2023. – № 4(119). – Pp. 6-16.
4. Ismagilov, I. I., Alsayed, G. Assessment of the influence of digital transformation factors on regional economic growth based on regression analysis // Creative Economy. – 2025. – Vol. 19, № 5. – Pp. 1131-1146. – DOI: 10.18334/ce.19.5.123184.
5. Mirolyubova, T. V., Radionova, M. V. Assessment of the influence of digital transformation factors on regional economic growth // Regionology. – 2021. – Vol. 29, № 3. – Pp. 486-510. – DOI: 10.15507/2413-1407.116.029.202103.486-510.

6. Osipova, N. G. Digitalization of social reality: key discussions // Bulletin of the Moscow University. Series 18. Sociology and Political Science. – 2022. – № 28(3). – Pp. 9-42. – DOI: <https://doi.org/10.24290/1029-3736-2022-28-3-9-42>.
7. Termeleva, A. E. Digital transformation at the present stage and its impact on innovation activity // Bulletin of Samara University. Economics and management. – 2022. – Vol. 13, № 3. – Pp. 50-58. – DOI: <http://doi.org/10.18287/2542-0461-2022-13-3-50-58>.
8. Osipova, N. G. Digitalization of social reality: key discussions // Bulletin of the Moscow University. Series 18. Sociology and Political Science. – 2022. – № 28(3). – Pp. 9-42. – DOI: <https://doi.org/10.24290/1029-3736-2022-28-3-9-42>.
9. Gulina, S. T., Musina, D. R. Digital inequality as an obstacle to the development of regions and industries // Human Progress. – 2024. – Vol. 10, Issue 5. – P. 6. – [Electronic resource]. – Access mode: [http://progresshuman.com/images/2024/Tom10\\_5/Gulina.pdf](http://progresshuman.com/images/2024/Tom10_5/Gulina.pdf) (date of request: 08/08/2025). – DOI: 10.46320/2073-4506-2024-5a-5.
10. Angus, Chu. From Solow to Romer: Teaching Endogenous Technological Change in Economics at the Undergraduate Level // International Review of Economic Education. – 2018. – 27(C). – Pp. 10-15. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iree.2018.01.006>.
11. Varlamova, Yu. A., Kadochnikova, E. I. Determinants of the use of big data technologies by organizations in Russian regions // Journal of Applied Economic Research. – 2024. – Vol. 23, № 2. – Pp. 422-451.
12. Robert, J. Vigfusson. Belated reaction to the technological shock: an explanation of flexible pricing // Materials for discussion on international Finance. – 2004. – 810. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.federalreserve.gov/pubs/ifdp/2004/810/ifdp810.pdf> (accessed 08/08/2025).
13. David, P. A. Dynamo and computer: a historical view of the modern productivity paradox // American Economic Review. – 1990. – 80. – Pp. 355-361.
14. Tanaka, H., Uejima, S., Asai, K. Linear regression analysis using a fuzzy model // IEEE Proceedings on System Management and Cybernetics. – 1982. – 12. – Pp. 903-907.
15. Ismagilov, I. I., Alsaied, G. Method of constructing multiplicative-power fuzzy production functions // Innovative economics: information, analytics, forecasts. – 2023. – № 5. – Pp. 124-129. – DOI: [https://doi.org/10.47576/2411-9520\\_2023\\_5\\_124](https://doi.org/10.47576/2411-9520_2023_5_124).
16. Ismagilov, I. I., Alsaied, G. Fuzzy regression analysis using trapezoidal fuzzy numbers // Industrial engineering and control systems. – 2020. – 19(4). – Pp. 896-900. – DOI: 10.7232/ieems.2020.19.4.896.
17. Ismagilov, I. I., Alsaied, G. Certificate of State registration of a computer program № 2025615991 Russian Federation. FuzzyLRM program for estimating a fuzzy linear regression model with trapezoidal coefficients: № 2025613671; application 02/25/2025; published 03/12/2025.
18. Aleka, O. E., Mihai, F. The role of digital infrastructure and skills in increasing labor productivity: the experience of industry 4.0 in the European Union // Systems. – 2025. – 13(2). – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mdpi.com/2079-8954/13/2/113> (date of request: 08/08/2025). DOI: <https://doi.org/10.3390/systems13020113>.

## Информация об авторах

**Исмагилов И.И.**, доктор технических наук, профессор кафедры математических методов и информационных технологий в экономике Института управления, экономики и финансов Казанского (Приволжского) федерального университета. ORCID: 0000-0002-0446-8204 (г. Казань, Российская Федерация).

**Алсаид Г.**, ассистент кафедры «Высшая математика» Института управления, автоматизации и информационных технологий Казанского национального исследовательского технологического университета. ORCID: 0000-0002-1059-4346 (г. Казань, Российская Федерация).

© Исмагилов И.И., Алсаид Г., 2025.

## Information about the authors

**Ismagilov I.I.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mathematical Methods and Information Technologies in Economics, Institute of Management, Economics and Finance, Kazan (Volga Region) Federal University. ORCID: 0000-0002-0446-8204 (Kazan, Russian Federation).

**Alsaied G.**, assistant of the Department “Higher Mathematics” at the Institute of Management, Automation and Information Technologies of the Kazan National Research Technological University. ORCID: 0000-0002-1059-4346 (Kazan, Russian Federation).

© Ismagilov I.I., Alsaied G., 2025.