

## ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОГО УДАРА НА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКУЮ ЭКОСИСТЕМУ РЕГИОНА\*

**З.А. НАХУШЕВА, И.В. АШИНОВА, М.В. АЛИКАЕВА**

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова  
360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

**Аннотация.** В статье анализируются показатели и идентификаторы, отражающие процесс цифровизации российской экономики, в том числе региональной. Вводится понятие цифрового удара, усиливающего по объективной необходимости цифровую трансформацию. На основе дифференциального уравнения дробного порядка строится математическая модель, отражающая зависимость влияния силы цифрового удара на социально-экономическую экосистему региона и скорость ее роста.

**Ключевые слова:** цифровизация, цифровой удар, социально-экономическая экосистема, региональная экономика, уравнения дробного порядка, функция Миттаг-Лефлера, модель

Статья поступила в редакцию 11.12.2021

Принята к публикации 15.12.2021

**Для цитирования.** Нахушева З.А., Ашинова И.В., Аликаева М.В. Построение функции влияние цифрового удара на социально-экономическую экосистему региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 6 (104). С. 214–221. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-214-221

### ВВЕДЕНИЕ

Необходимость использования цифровых технологий в современном мире обусловлена в первую очередь исчерпанием экстенсивных факторов развития. Как следствие это привело к пересмотру приоритетов развития как национальных экономик в целом, так и региональных экономик в частности. Вполне понятно, что цифровая трансформация экономики создает новые бизнес- и производственные процессы, которые необходимо описывать и мониторить, для которых нужно разрабатывать новые методики, изучать новые индикаторы. Особую роль в указанных задачах играет математический анализ происходящих процессов, позволяющий прогнозировать генезис экономико-цифрового развития. Для создания математических моделей необходимо выделить определенный набор критериев и индикаторов, наиболее отражающих обобщающие тенденции цифровизации экономики. Надо сказать, что количество исследовательских работ, изучающих способы оценки цифровизации регионов, пока еще не велико [1]. В [2] выделен перечень показателей для расчета индекса развития на основе четырех групп показателей: внедрение ИКТ, возможность подключения, способность к освоению, на которые влияет социальный капитал. Среди интегральных показателей, позволяющих учитывать специфику отдельных отрас-

---

© Нахушева З.А., Ашинова И.В., Аликаева М.В., 2021

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 20-010-00297

лей, отметим Industry Digitisation Index (IDI), предложенный «McKinsey&Company»<sup>1</sup>. Индекс IDI включает 23 показателя, объединенных в 3 группы: активы; использование; труд. Среди российских исследований можно отметить Рейтинг готовности отраслей к цифровой экономике [3], содержащий 22 показателя, объединяемых в 3 субиндекса: обеспеченность оборудованием; программное обеспечение; кадровый потенциал отраслей. В российском сегменте особое внимание уделяется оценке готовности к цифровой трансформации регионов [4, 5]. Л.П. Бакуменко и Е.В. Костромина [6] предлагают к использованию статистические методы и новые показатели для оценки степени готовности регионов к использованию цифровых технологий. А.В. Козлов и др. предлагают рассчитывать индекс развития региональной цифровой инфраструктуры с выделением двух групп показателей [7]. Показатели первой группы характеризуют инфраструктуру и технические предпосылки для формирования цифровой экономики в регионе, вторая группа показателей отражает реальную способность регионального бизнеса использовать информационно-коммуникационные технологии и программное обеспечение. Подобный подход может быть расширен и использован не только для оценки инфраструктуры региона, но и страны в целом. В [8], анализируя вопросы цифрового неравенства регионов России, предлагают методику их классификации по уровню доступа к информационно-коммуникационным технологиям. На данный момент отмечается отсутствие общепризнанных универсальных показателей и методов для оценки экономики в сфере цифровизации. Иностранные исследователи в большей степени ориентированы на анализ межгосударственных различий, в то время как российские больше внимания уделяют оценке готовности регионов к внедрению цифровых технологий.

Если же говорить об обобщенных индикаторах цифровизации, то в большинстве исследований, посвященных проблемам цифровизации, в качестве основных показателей рассматриваются следующие индексы:

*NRI* – индекс сетевой готовности, отражающий готовность отдельных стран к широкому использованию ИТ-технологий для социально-экономического развития. Публикуется ежегодно Всемирным экономическим форумом и Европейским институтом делового администрирования (INSEAD)<sup>2</sup>;

*EGDI* – индекс развития электронного правительства. Публикуется Департаментом по экономическим и социальным вопросам ООН (UNDESA);

*DESI* – индекс цифровой экономики и общества [9];

*IDESI* – международный индекс цифровой экономики и общества;

*IDI* – индекс развития ИТ-технологий (ИКТ). Публикуется ежегодно Международным союзом электросвязи, специализированным учреждением Организации Объединенных Наций.

**Целью** настоящего исследования является определение уровня влияния цифрового удара на региональное экономическое развитие. Главной **задачей** работы является построение уравнения, отражающего зависимость влияния силы цифрового удара на экономику региона и скорость ее роста.

<sup>1</sup> McKinsey Global Institute. Digital America: A Tale Of The Haves And Have-Mores. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries>

<sup>2</sup> Индекс сетевой готовности: <https://reports.weforum.org/global-information-technology-report-2016/networked-readiness-index/> (дата обращения 23.07.2021).

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Помимо общенаучных методов – научной абстракции, обобщения и аналогии, а также методов контентного и сравнительного анализа – в исследовании применялись количественные методы анализа статистических данных и методы системного анализа: целостность, структурированность, иерархичность, комплексность, сопоставимость, доступность, адаптивность, динамичность.

При построении дифференциального уравнения были применены интерполяционные методы, методы теории функции одной и нескольких переменных, методы теории дифференциальных уравнений и дробного дифференцирования.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Пусть для определенной модели цифровизации известны перечисленные выше индексы, отражающие уровень цифровизации: NRI, EGDI, DESI, IDESI, IDI. Рассмотрим совокупность их значений для одной страны в один год как вектор  $\vec{C} = (c_1, c_2, c_3, c_4, c_5)$ . В случае, если индексов цифровизации больше пяти, запишем в общем виде:  $\vec{C} = \{c_i\}$ , где  $i = 1, 2, \dots, k$  – индексная переменная количества определяющих цифровизацию индексов. Построим по имеющимся индексам-показателям функцию полиномиальной регрессии. При ее построении каждый индекс будем рассматривать как пару точек  $(c_i, i)$ . Указанная функция непрерывна и эластична, т. е. процесс цифровизации протекает без разрывов и остановок на протяжении определенного временного периода, на котором и строится модель. Обозначим через  $Dig = Dig(x)$  полученную методом наименьших квадратов (МНК) [10] функцию, описывающую процесс цифровизации. Она будет иметь вид:

$$Dig(x) = a_0 + \sum_{i=1}^k b_i x^i, \quad (1)$$

здесь  $k$  – количество известных индексов, по которым анализируется уровень цифровизации,  $a_0, b_i$  – определяемые МНК коэффициенты,  $x$  – независимая переменная,  $i = 1, 2, \dots, k$ . Отметим, что коэффициенты  $b_i$  должны удовлетворять условию  $\sum_{i=1}^k b_i^2 \neq 0$ . Область определения функции  $Dig(x)$ :  $D(Dig(x)) \geq 0$ .

Продифференцировав (1) по независимой переменной  $x$ , получаем:

$$\frac{dDig(x)}{dx} = \sum_{i=1}^k i b_i x^{i-1}, \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, k$ . Отметим, что коэффициенты  $b_i$  должны быть положительными.

Таким образом, учитывая (2), мы можем сказать, что процесс цифровизации будет двигаться по нарастающей, если  $b_i$  таковы, что для любого  $x > 0$  выполняется условие:

$$\frac{dDig(x)}{dx} = \sum_{i=1}^k i b_i x^{i-1} > 0. \quad (3)$$

Очевидно, что в момент  $x = 0$  функция цифровизации также должна равняться нулю, следовательно,  $Dig(x) = a_0 + \sum_{i=1}^k b_i x 0^i = 0$ , откуда следует, что  $a_0 = 0$  и (1) примет вид

$$Dig(x) = \sum_{i=1}^k b_i x^i. \quad (4)$$

Рассмотрим теперь понятие вводимого нами цифрового удара.

**Цифровым ударом** назовем объективную необходимость резкого повышения скорости цифровизации объектов, обусловленную в первую очередь внешними факторами, дающими резкий толчок всему процессу цифровой трансформации.

Примером цифрового удара на экономику России может служить локдаун 2020 года, когда в большинстве своем еще не подготовленные социально-экономические экосистемы регионов (да и страны в целом) вынуждены были ввести удаленную работу по всем направлениям деятельности. Можно сказать, что практически никто не был готов к этому испытанию. Процесс цифровизации шел плавными, запланированными с 2017 года темпами. Февраль 2020-го нанес серьезный удар, в том числе и цифровой, по развитию всех областей социально-экономических экосистем регионов России. Появилась острая необходимость выстраивать новые цифровые связи, приобретать новые цифровые компетенции, ускоренно трансформировать процесс цифровизации.

Учитывая введенное понятие цифрового удара, а также фрактальность социально-экономических экосистем [11], предположим, что процесс цифрового удара можно описать следующим уравнением дробного порядка  $0 < \alpha = const < 1$ :

$$D_{0x}^{\alpha+1} f(x) = \tau f(x), x \geq 0 \tag{5}$$

с оператором Римана – Лиувилля  $D_{0x}^{\alpha+1}$  [12, с. 9], постоянным параметром управления  $\tau$  и граничным условием

$$f(0) = 0. \tag{6}$$

Общее решение уравнения (5) имеет вид:

$$f(x) = a_1 x^\alpha E_{1/(\alpha+1)}[\tau x^{\alpha+1}; \alpha + 1] + a_2 x^{\alpha-1} E_{1/(\alpha+1)}[\tau x^{\alpha+1}; \alpha + 1], \tag{7}$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – произвольные постоянные, связанные с  $f(x)$  следующими условиями:

$a_1 = \lim_{x \rightarrow 0} D_{0x}^\alpha f(x)$ ,  $a_2 = \lim_{x \rightarrow 0} D_{0x}^{\alpha-1} f(x)$ ,  $E_\rho[z; \omega] = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{z^j}{\Gamma(\omega + j\rho)}$  – функция Миттаг-Леффлера,  $\Gamma(z)$  – гамма-функция Эйлера [13].

Учитывая (7), можно утверждать, что  $\lim_{x \rightarrow 0} f(x) = 0$  тогда и только тогда, когда  $a_2 = 0$ . Следовательно, все решения (7), удовлетворяющие граничному условию (6), имеют вид:

$$f(x) = a_1 x^\alpha E_{1/\beta}[\tau x^\alpha; \beta], \beta = \alpha + 1. \tag{8}$$

Поскольку функция  $f(x)$ , являющаяся решением уравнения (5), есть функция уровня цифровизации, которая, по предположению, тождественно равна функции  $Dig(x)$  (4), следовательно,  $f(x) \equiv Dig(x)$ . Или, приравнявая правые части уравнений, получаем:  $a_1 x^\alpha E_{1/\beta}[\tau x^\alpha; \beta] = \sum_{i=1}^k b_i x^i$ . Не нарушая общности, предположим, что  $x \equiv 1$ , тогда

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^k b_i}{E_{1/\beta}[\tau; \beta]}$$

Итак, функция

$$Dig(x) = \frac{\sum_{i=1}^k b_i}{E_{1/\beta}[\tau; \beta]} x^\alpha E_{1/\beta}[\tau x^\alpha; \beta] \tag{9}$$

является функцией уровня цифровизации, описывающей процесс цифрового удара.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье построена обобщенная математическая непрерывная дифференциальная модель влияния процесса цифровизации, конкретно цифрового удара, на экономическое развитие региона. Параметры развития и идентификаторы, их отражающие, выбраны из существующих таким образом, чтобы они соответствовали задаче моделирования. При проведении компьютерного эксперимента построенная модель цифрового удара показала хорошую корреляцию с экспериментальными данными.

Однако, не нарушая общности, мы можем взять и большее число индикаторов, например, проанализированных для регионального развития в [14]. В этом случае модель будет более точной, но и более продолжительное время вычисляемой.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов А.В., Тесля А.Б., Иващенко А.А. Формирование системы индикаторов для мониторинга процессов цифровизации национальной экономики // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2021. № 01(47). С. 97–107. DOI 10.6060/ivecofin.20214701.522.
2. Fauzi T.H., Harits B. Adaptive Strategies of External Environmental Effects in Digital Entrepreneurship in the Strategic Management Perspective // Academic Journal of Interdisciplinary Studies. 2020. № 9 (3). С. 38–45.
3. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» [Электронный ресурс]. URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201705100002.pdf> (дата обращения 17.10.2021).
4. Азаренко Н.Ю., Михеенко О.В. Оценка готовности региональной инфраструктуры к формированию и развитию цифровой экономики // Вестник Самарского государственного экономического университета. Региональная экономика. 2018. № 6 (164). С. 23–29.
5. Архипова М.Ю., Сиротин В.П. Детерминанты цифрового развития субъектов РФ / В кн.: Статистика в цифровой экономике. Обучение и использование. 2018. С. 29–31.
6. Бакуменко Л.П., Костромина Е.В. Статистический анализ готовности регионов к участию в цифровой экономике / В кн.: Статистика в цифровой экономике. Обучение и использование. Санкт-Петербург, 1–2 февраля 2018 г. СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет. С. 18–20.
7. Kozlov A.V., Kankovskaya A.R., Teslya A.B. Digital infrastructure as the factor of economic and industrial development: case of Arctic regions of Russian North-West // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. Т. 539. №. 1. С. 1–8.
8. Архипова М.Ю., Сиротин В.П. Региональные аспекты развития информационно-коммуникационных и цифровых технологий в России // Экономика региона. 2019. Т. 15. № 3. С. 670–683.
9. Розите К., Балина С., Фреймане Р. Новые вызовы экономического и делового развития-2019: стимулы для устойчивого экономического роста / Материалы 11-й Международной научной конференции «Новые вызовы развития экономики и бизнеса. Стимулы для устойчивого экономического роста». Рига, Латвия, 16–18 мая 2019 г. С. 701–708.
10. Малышева Т.А. Численные методы и компьютерное моделирование. Лабораторный практикум по аппроксимации функций: учеб.-метод. пособие. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. 33 с.
11. Нахушев А.М. К проблеме математического моделирования региональных социально-экономических систем // Вестник СамГТУ. Серия математическая. 2007. Т. 6. № 2. С. 4–15.
12. Нахушев А.М. Дробное исчисление и его применение. Москва: Физматлит, 2003. 272 с.

13. Нахушева З.А. Об одной односекторной макроэкономической модели долгосрочного прогнозирования // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. № 4 (48). 2012. С. 35–38.

14. Абдрахманова Г.И., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. и др. Индикаторы цифровой экономики: 2020. Москва: НИУ ВШЭ, 2020. 360 с.

### Информация об авторах

**Нахушева Зарема Адамовна**, канд. физ.-мат. наук, доцент, директор Центра новых образовательных технологий КБГУ, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова;

360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, 173;

z.nakhusheva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8883-025X>

**Ашинова Ирина Викторовна**, д-р филол. наук, ученый секретарь Ученого совета КБГУ, профессор кафедры педагогического образования, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова;

360004, Россия, Нальчик, ул. Чернышевского, 173;

asin07@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2281-0269>

**Аликаева Мадина Валентиновна**, д-р экон. наук, профессор кафедры экономики и финансов, начальник отдела подготовки кадров высшей квалификации, Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова;

360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского 173;

Alika123@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1493-6320>

### REFERENCES

1. Kozlov A.V., Teslya A.B., Ivaschenko A.A. Formation of a system of indicators for monitoring the processes of digitalization of the national economy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Seriya: Ekonomika, finansy i upravleniye proizvodstvom* News of higher educational institutions. Series: Economics, finance and production management]. 2021. No. 01 (47). Pp. 97–107. DOI 10.6060 /ivecofin.20214701.522. (In Russian)

2. Fauzi T.H., Harits B. Adaptive Strategies of External Environmental Effects in Digital Entrepreneurship in the Strategic Management Perspective // *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*. 2020. No. 9 (3). Pp. 38–45.

3. Decree of the President of the Russian Federation dated 09.05.2017 No. 203 "On the Strategy for the Development of the Information Society in the Russian Federation for 2017 - 2030". [Electronic resource]. URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201705100002.pdf> (date accessed 10.17.2021). (In Russian)

4. Azarenko N.Yu., Mikheenko O.V. Assessment of the readiness of the regional infrastructure for the formation and development of the digital economy. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta. Regional'naya ekonomika* [Bulletin of the Samara State University of Economics. Regional economy]. 2018. No. 6 (164). Pp. 23-29. (In Russian)

5. Arkhipova M.Yu., Sirotnin V.P. Determinants of digital development of the subjects of the Russian Federation. In the book. *Statistika v cifrovoj ekonomike. Obuchenie i ispol'zovanie* [Statistics in the digital economy. Learning and use]. 2018. Pp. 29–31. (In Russian)

6. Bakumenko L.P., Kostromina E.V. Statistical analysis of the readiness of regions to participate in the digital economy. In the book: *Statistika v cifrovoj ekonomike. Obuchenie i ispol'zovanie* [Statistics in the digital economy. Learning and use]. SPb.: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet [St.-Petersburg State Economics University] 2018. Pp. 18–20. (In Russian)

7. Kozlov A.V., Kankovskaya A.R., Teslya A.B. Digital infrastructure as the factor of economic and industrial development: case of Arctic regions of Russian North-West. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2020. Vol. 539. No. 1. C. 1–8.

8. Arkhipova M.Yu., Sirotnin V.P. Regional aspects of the development of information, communication and digital technologies in Russia. *Ekonomika regiona* [Economy of the region], 2019. Vol. 15. No. 3. Pp. 670–683. (In Russian)

9. Rosite K., Balina S., Freimane R. New Challenges of Economic and Business Development - 2019: Incentives for Sustainable Economic Growth. Proceedings of the 11th International Scientific Conference “New Challenges of Economic and Business Development. Incentives for Sustainable Economic Growth”, Riga, Latvia, May 16-18, 2019. Pp. 701–708. (In Russian)

10. Malysheva T.A. *Chislennyye metody i komp'yuternoe modelirovanie* [Numerical methods and computer modeling]. *Laboratornyj praktikum po approksimacii funktsij: ucheb.-metod. Posobie* [Laboratory practice on functions approximation. Tutorial]. SPb.: Universitet ITMO. [St-Petersburg, National Research University ITMO] 2016. 33 p. (In Russian)

11. Nakhushev A.M. On the problem of mathematical modeling of regional socio-economic systems. *Cifrovaya transformatsiya nauki i obrazovaniya* [Digital transformation of the science and education] Vestnik Sam STU. [Bulletin of Sam STU. Series Mathematical]. 2007. Vol. 6. No. 2. Pp. 4–15. (In Russian)

12. Nakhushev A.M. *Drobnoe ischislenie i ego primenenie* [Fractional calculus and its application] Moscow: Fizmatlit, 2003. 272 p. (In Russian)

13. Nakhusheva Z.A. On one single-sector macroeconomic model of long-term forecasting. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN* [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS]. No. 4 (48). 2012. Pp. 35–38. (In Russian)

14. Abdrakhmanova G.I., Vishnevsky K.O., Gokhberg L.M. and others. *Indikatory cifrovoj ekonomiki: 2020: statisticheskiy sbornik* [Indicators of the digital economy: 2020: statistical collection]. Moscow: NRU HSE, 2020. 360 p. (In Russian)

MSC: 91B62

Original article

## CONSTRUCTION OF FUNCTION OF INFLUENCE OF DIGITAL IMPACT ON SOCIO-ECONOMIC ECOSYSTEM OF THE REGION\*

Z.A. NAKHUSHEVA, I.V. ASHINOVA, M.V. ALIKAEVA

Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov  
360004, Russia, Nalchik, 173 Chernyshevsky street

**Annotation.** The article analyzes indicators and identifiers reflecting the process of digitalization of the Russian economy, including the regional one. The concept of a digital impact is introduced, enhancing, by objective necessity, digital transformation. On the basis of a differential equation of fractional order, a mathematical model is built that reflects the dependence of the influence of the force of a digital impact on the socio-economic ecosystem of the region and the rate of its growth.

**Keywords:** digitalization, digital shock, socio-economic ecosystem, regional economy, fractional equations, Mittag-Leffler function, model

The article was submitted 11.12.2021

Accepted for publication 15.12.2021

**For citation.** Nakhusheva Z.A., Ashinova I.V., Alikaeva M.V. Construction of function of influence of digital impact on socio-economic ecosystem of the region. News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS. 2021. No. 6 (104). Pp. 214–221. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-214-221

---

\* This work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, project No. 20-010-00297

### Information about the authors

**Nakhusheva Zarema Adamovna**, Candidate of Physical and Mathematical sciences, Associate Professor, Director of the Center for New Educational Technologies, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov;

360004, Russia, Nalchik, 173 Chernyshevsky street;

z.nakhusheva@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8883-025X>

**Ashinova Irina Viktorovna**, Doctor of Philological Sciences, Scientific Secretary of the Academic Council of KBSU, Professor of the Department of Pedagogical Education, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov;

360004, Russia, Nalchik, 173 Chernyshevsky street;

asin07@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2281-0269>

**Alikaeva Madina Valentinovna**, Doctor of Economical Sciences, Professor of the Department of Economics and Finance, Head of the Department for Training Highly Qualified Personnel, Kabardino-Balkarian State University named after H. M. Berbekov;

360004, KBR, Nalchik, 173 Chernyshevsky street;

Alika123@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1493-6320>