

**Теоретические и методологические проблемы**

Т.О. Загорная, А.Г. Шеломенцев, К.С. Гончарова, А.О. Коломыцева **Развитие методологии разработки моделей поведения антропоэкосистем на основе междисциплинарного подхода**

**Т.О. Загорная,**

*ДонГУ, Донецк; e-mail: t.zagornaya1977@mail.ru*

**А.Г. Шеломенцев,**

*ИСЭИ УФИЦ РАН, Уфа; e-mail: a.shelom@yandex.ru*

**К.С. Гончарова,**

*ИЭ УрО РАН, Екатеринбург; e-mail: ksenia.goncharova@gmail.com*

**А.О. Коломыцева,**

*УрФУ, Екатеринбург; e-mail: a.o.kolomytseva@urfu.ru*

*Исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН №075-01134-23-00 на 2023 г. и на плановый период 2024 и 2025 годов.*

**Аннотация.** Долгосрочное устойчивое развитие стран и регионов определяется характером и качеством взаимодействия экономической деятельности человека с окружающей средой. Сегодня, в период растущей нехватки критически необходимых ресурсов, глобальные и региональные антропоэкосистемы сталкиваются со сложным экологическим кризисом. Это также происходит в эпоху глубоких социальных и геополитических перемен. Цель настоящей работы — обоснование трансдисциплинарного подхода к моделированию гибких и адаптивных систем высокого порядка, позволяющего интегрировать концепции и данные экономических, политических, антропологических, экологических и биологических исследований на основе теории систем. В работе предположено, что синтетический анализ взаимодействия различных по признакам групп факторов и динамики экономического роста национальных экономик возможен в рамках междисциплинарного подхода к комплексному моделированию поведения антропоэкосистем. При этом особое внимание в таком анализе уделяется динамике их изменения с учетом степени их адаптивности (обеспечивающейся посредством деятельности соответствующих институтов). На основе междисциплинарного подхода была разработана методология разработки моделей поведения антропоэкосистем, а также предложен комплекс структурных моделей, позволяющий изучать взаимодействие ресурсов, элементов и процессов в антропоэкомоделях, прогнозировать вектор изменений и управлять рассматриваемыми в исследовании процессами с учетом их сложности.

**Ключевые слова:** экономико-математическое моделирование, динамические системы, антропоэкомодели, антропоэкосистемы, междисциплинарный подход, устойчивое развитие, социально-экономическое развитие.

**Классификация JEL:** C02, C61, O1.

**УДК:** 330, 330.35, 330.46.

Для цитирования: **Загорная Т.О., Шеломенцев А.Г., Гончарова К.С., Коломыцева А.О.** (2025). Развитие методологии разработки моделей поведения антропоэкосистем на основе междисциплинарного подхода // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 5–17. DOI: 10.31857/S0424738825010018

Поступила в редакцию 04.05.2024

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

**Бельский В.Ю.** (2016). Антропоцентрический подход в цивилизационных исследованиях // *Социально-гуманитарное обозрение*. № 1. С. 10–12. [**Belskiy V.Yu.** (2016). Anthropocentric approach in civilizational studies. *Social-Humanitarian Review*, 1, 10–12 (in Russian).]

- Бир С.** (2009). *Мозг фирмы*. Пер. с англ. М.М. Лопухина. М.: Libroком. 416 с. [**Beer S.** (2009). *Brain of the firm*. Moscow: Librocom. 416 p. (in Russian). Originally published by Allen Lane the Penguin Press, 1972.]
- Гаранина О.Д.** (2013). Человек в зеркале системной методологии // *Фундаментальные исследования*. № 8-1. С. 210–214. [**Garanina O.D.** (2013). The person in the mirror of system methodology. *Fundamental Researches*, 8-1, 210–214 (in Russian).]
- Гринин Л.Е., Коротаев А.В., Малков С.Ю.** (2008). Математические модели социально-демографических циклов и выхода из «мальтузианской ловушки»: некоторые возможные направления дальнейшего развития. В сб.: «Проблемы математической истории: математическое моделирование исторических процессов». Г.Г. Малинецкий, А.В. Коротаев (отв. ред.). М.: URSS, Ин-т прикладной математики им. М.В. Келдыша. 208 с. С. 78–117. [**Grinin L.E., Korotayev A.V., Malkov S.Yu.** (2008). Mathematical models of socio-demographic cycles and escape from the «Malthusian trap»: some possible directions for further development. In: *Problems of mathematical history: Mathematical modeling of historical processes*. G.G. Malinetsky, A.V. Korotayev (resp. eds.). Moscow: URSS, The Keldysh Institute of Applied Mathematics. 208 p. (in Russian).]
- Гринь С.О., Кузнецов П.В., Главчев М.И.** (2005). Информационное поле антропоэко системы и его проблемы // *Вестник НТУ ХПИ. Серия: Информатика и моделирование*. № 56. С. 206–209. [**Grin S.O., Kuznetsov P.V., Glavchev M.I.** (2005). The information field of the anthropoecosystem and its problems. *Bulletin of the National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute. Series: Computer Science and Modeling*, 56, 206–209 (in Russian).]
- Ершова Г.Г.** (2013). Воспроизводство научного знания и технологий как характеристика антропосистемы // *Мир психологии*. № 3 (75). С. 50–65. [**Ershova G.G.** (2013). Reproduction of scientific knowledge and technologies as a characteristic of the anthroposystem. *World of Psychology*, 3 (75), 50–65 (in Russian).]
- Загорная Т.О.** (2013). *Конкурентная динамика розничной торговли: теория, диагностика, моделирование*. Донецк: Издательство «Ноулідж» (донецкое отделение). 463 с. С. 306–311. [**Zagornaya T.O.** (2013). *Competitive dynamics of retail trade: Theory, diagnostics, modeling*. Donetsk: Publ. house «Knowledge» (Donetsk Department), 463, 306–311 (in Russian).]
- Загорная Т.О., Коломыцева А.О.** (2023). Теоретико-методологический инструментарий диагностики межсостояний экономических систем // *Новое в экономической кибернетике*. № 4. С. 109–124. [**Zagornaya T., Kolomytseva A.** (2023). Theoretical and methodological toolkit for. *New in Economic Cybernetics*, 4, 109–124 (in Russian).]
- Коротаев А.В., Малков А.С., Халтурина Д.А.** (2007). *Законы истории: Математическое моделирование развития Мир-Системы. Демография, экономика, культура*. М.: КомКнига. 224 с. [**Korotayev A.V., Malkov A.S., Khalturina D.A.** (2007). *The Laws of history: Mathematical modeling of the development of the World-System. Demography, economics, culture*. Moscow: KomKniga. 224 p. (in Russian).]
- Лепехин В.А.** (2014). Обоснование актуальности антропологического подхода в исследовании русско-российской цивилизации // *Образование. Наука. Научные кадры*. № 12. С. 274–278. [**Lepekhin V.A.** (2014). Justification of the relevance of the anthropological approach to the study of Russian civilization. *Education. Science. Scientific Personnel*, 12, 274–278 (in Russian).]
- Лепехин В.А.** (2016). Антропологический переворот. Поворот, разворот или все-таки переворот? // *Философские науки*. № 4. С. 149–152. [**Lepekhin V.** (2016). Anthropological revolution. Turn, reversal or is it a revolution? *Russian Journal of Philosophical Sciences*, 4, 149–152 (in Russian).]
- Лоцилина М.А., Петрова Е.В.** (2015). Информационная среда как часть антропоэко системы: философский анализ // *Известия МГТУ «МАМИ»*. Т. 6. №

- 1 (23). С. 82–88. [**Loshilina M.A., Petrova E.V.** (2015). The information environment as a part of the anthropocosystem: A philosophical analysis. *Izvestia MGTU "MAMI"*, 6, 1 (23), 82–88 (in Russian).]
- Малков С.Ю.** (2009). Социальная самоорганизация и исторический процесс. Возможности математического моделирования. М.: ЛИБРОКОМ. 209 с. [**Malkov S.Y.** (2009). *Social self-organization and the historical process. The possibilities of mathematical modeling*. Moscow: LIBROCOM. 209 p. (in Russian).]
- Малков С.Ю., Коротаев А.В., Гринин Л.Е., Гринин А.Л.** (2022). Моделирование глобальных фазовых переходов // *История и современность*. № 3 (45). С. 102–125. DOI: 10.30884/iis/2022.03.06 [**Malkov S.Yu., Korotaev A.V., Grinin L.E., Grinin A.L.** (2022). Modeling of global phase transitions. *History and Modernity*, 3 (45), 102–125. DOI: 10.30884/iis/2022.03.06 (in Russian).]
- Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рэндерс Й., Беренс В. III.** (1991). *Пределы роста*. М.: Изд-во МГУ. 361 с. [**Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W. III.** (1991). *The limits to growth*. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 361 p. (in Russian). Originally published by Universe Books, 1972.]
- Петрова Е.В.** (2014). *Человек в информационной среде: социокультурный аспект*. М.: ИФРАН. 137 с. [**Petrova E.V.** (2014). *Man in the information environment: A sociocultural aspect*. Moscow: IFRAN. 137 p. (in Russian).]
- Петрова Е.В.** (2017). Проблема природной и социальной адаптации человека в искусственно созданной окружающей среде // *Проблема соотношения естественного и социального в обществе и человеке*. № 8. С. 19–28. [**Petrova E.V.** (2017). The problem of natural and social adaptation of a person in an artificially created environment. *The Problem of the Ratio of Natural and Social in Society and Man*, 8, 19–28 (in Russian).]
- Преображенский В.С., Райх Е.Л.** (1984). География и развитие экологии человека // *Известия АН СССР. Серия географическая* № 5. С. 5–14. [**Preobrazhensky V.S., Reich E.L.** (1984). Geography and development of human ecology. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 5, 5–14 (in Russian).]
- Преображенский В.С., Райх Е.Л.** (1988). Основные понятия и модели экологии человека. В сб.: «*Экология человека: основные проблемы*». М.: Наука. 220 с. [**Preobrazhensky V.S., Reich E.L.** (1988). Basic concepts and models of human ecology. In: *Human ecology: The main problems*. Moscow: Nauka. 220 p. (in Russian).]
- Прохоров Б.Б.** (1999). Экология человека. Понятийно-терминологический словарь. М.: Изд-во МНЭПУ. 348 с. [**Prokhorov B.B.** (1999). *Human ecology. Conceptual and terminological dictionary*. Moscow: International Independent University of Environmental and Political Sciences Publ. House. 348 p. (in Russian).]
- Резник Ю.М.** (2012). Человек в системе или система в человеке. В сб.: *Спектр антропологических учений*. Вып. 4. М.: ИФ РАН. 159 с. [**Reznik Y.M.** (2012). A person in a system or a system in a person. In: *Spectrum of anthropological teachings*, 4. Moscow: IF RAS. 159 p. (in Russian).]
- Сергейчик Е.М.** (2018). Философские основания антропологического подхода в постклассической науке // *Вестник Северного (Арктического) федерального ун-та. Серия: Гуманитарные и социальные науки*. № 3. С. 70–82. DOI: 10.17238/issn2227-6564.2018.3.70 [**Sergeychik E.M.** (2018). Philosophical foundations of the anthropological approach in post-classical science. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Series "Humanitarian and Social Sciences"*, 3, 70–82. DOI: 10.17238/issn2227-6564.2018.3.70 (in Russian).]
- Тимохин В.Н.** (2007). *Методология моделирования экономической динамики*. Монография. Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд». 269 с. [**Timokhin V.N.** (2007). *Methodology of modeling economic dynamics*. Monograph. Donetsk: LLC "Yugo-Vostok, Ltd". 269 p. (in Russian).]

- Торфлер Э.** (2004). *Третья волна*. М.: АСТ. 781 с. [**Toffler E.** (2004). *The third wave*. Moscow: AST. 781 p. (in Russian). Originally published as “*The Third Wave: The Classic Study of Tomorrow*” by William Morrow Co. in 1980.]
- Ayres R.U.** (1994). *Ecosystem and the biosphere: Metaphors for human-induced material flows. Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development*. R.U. Ayres, U.E. Simonis (eds.). Tokyo, New York: United Nations University Press. 376 p.
- Cole L.C.** (1958). The ecosphere. *Scientific American*, 198, 83–96.
- Fitzhugh B., Butler V., Bovy K., Etnier M.** (2018). Human ecodynamics: A perspective for the study of long-term change in socioecological systems. *Journal of Archaeological Science*, 23, 1–18. DOI: 10.1016/j.jasrep.2018.03.016
- Gillard A.** (1969). On terminology of biosphere and ecosphere. *Nature*, 223, 500–501. DOI: 10.1038/223500a0
- Goudsblom J.** (1977). *Sociology in the balance: A critical essay*. Oxford: Blackwell. 232 p.
- Goudsblom J.** (2002). Introductory overview: The expanding anthroposphere. In: B. Vries de, J. Goudsblom. *Mappae mundi: Humans and their habitats in long-term ecological perspective: Myths, maps and models*. Amsterdam: Amsterdam University Press. 448 p.
- Huggett R.J.** (1999). Ecosphere, biosphere, or Gaia? What to call the global ecosystem. *Global Ecology and Biogeography*, 8, 6, 425–431.
- Ibisch P.L., Vega E.A., Herrmann T.M.** (2010). Interdependence of biodiversity and development under global change. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. *Technical Series no. 54*. (second corrected edition). 226 p.
- Kaffine A.G., Moussa A.Z., Adey S.A., Tidjani A., Mwapu P.I., Micha J.C.** (2021). Le lac Fitri: Un anthroposystème complexe et interactif. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 6 8, 3713–3923.
- Kuhn A., Heckelei T.** (2010). Anthroposphere. In: Speth P., Christoph M., Dieckrüger B. (eds.). *Impacts of global change on the hydrological cycle in west and northwest Africa*, 282–341. DOI: 10.1007/978-3-642-12957-5\_8
- Odum E.P.** (1953). *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia: W.B. Saunders. 367 p.
- Quilley S.** (2011). Entropy, the anthroposphere and the ecology of civilization: An essay on the Problem of “Liberalism in One Village” in the Long View. *The Sociological Review*, 59, 65–90. [https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.2010.01997\\_1.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.2010.01997_1.x)
- Santos M.A.** (1975). *Ecology, natural resources, and pollution*. London, New York: Living Books, Diplomatic Press. 106 p. DOI: 10.1016/0013-9327(76)90049-5
- Santos M.A., Filho W.L.** (2005). An analysis of the relationship between sustainable development and the anthroposystem concept. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 4, 1, 78–87.
- Tansley A.G.** (1935). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 16, 284–307.
- Willis A.J.** (1997). Forum. *Ecological Society, Functional Ecology*, 11, 268–271. DOI: 10.1111/j.1365-2435.1997.00081.x

\* \* \*

V.A. Karmalita, G.S. Khanian **Evolutionary nonstationarity of economic cycles /**

В.А. Кармалита, Г.С. Ханян **Эволюционная нестационарность экономических циклов**

**В.А. Кармалита,**

*Частный консультант, Канада; e-mail: karmalita@videotron.ca*

**Г.С. Ханян,**

*Старший научный сотрудник, ЦИИМ им. П.И. Баранова, Москва; khanian@mail.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию нестационарности экономических циклов, описываемых одномерной моделью, вход которой — «инвестиции», а выход «доходы». Цикл рассматривается как случайные колебания упругой системы, вызванные внешними (колебания инвестиций) и внутренними (свойства системы) факторами. Такой подход позволил дать количественное описание экономических циклов через параметры упругой

системы: собственную частоту и коэффициент затухания. Нестационарность циклов оценивалась по поведению собственных частот во времени. В качестве эмпирических данных был выбран ВВП США за период 1960–2020 гг. Амплитудные спектры циклов вычислялись методом дискретного преобразования Фурье разности между значениями ВВП и его квадратичного тренда, взятых с шагом в один квартал. Результаты спектрального анализа показали одновременное и устойчивое снижение продолжительности трех рассматриваемых циклов, на основании чего был сделан вывод о неэргодичности экономических циклов. Поэтому адаптация модели цикла к эмпирическим данным возможна лишь на временных интервалах, где ее можно считать псевдостационарной.

**Классификация JEL:** C01, C13, C02, C26.

**Ключевые слова:** экономический цикл, случайные колебания, упругая система, преобразование Фурье.

**УДК:** 330.43.

Для цитирования: **Karmalita V.A., Khanian G.S. (2024).** Evolutionary nonstationarity of economic cycles // *Экономика и математические методы*. Т. 60. № 3. С.18 – 24 (на англ. языке). DOI: 10.31857/S0424738825010026

Поступила в редакцию 08.10.2023

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Bolotin V.V.** (1984). *Random vibrations of elastic systems*. Heidelberg: Springer. 468 p.
- Brandt S.** (2014). *Data analysis: Statistical and computational methods for scientists and engineers*. 4<sup>th</sup> ed. Cham (Switzerland): Springer. 523 p.
- Cho S.** (2018). *Fourier transform and its applications using Microsoft EXCEL®*. San Rafael (CA): Morgan & Claypool. 123 p.
- Cooley T.F., Prescott E.C.** (1995). Economic growth and business cycles. In: *Frontiers of business cycle research*. T.F. Cooley (ed.). Princeton: Princeton University Press, 1–38.
- Karmalita V.** (2020). *Stochastic dynamics of economic cycles*. Berlin: De Gruyter. 106 p.
- Karmalita V.A.** (2023). Managing the prime rate to counter the cyclic income contraction. *Economics and Mathematical Methods*, 59 (3), 69–76. [**Кармалита В.А.** (2023). Managing the prime rate to counter the cyclic income contraction // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 3. С. 69–76.]
- Pain H.J.** (2005). *The physics of vibrations and waves*. 6<sup>th</sup> ed. Chichester: John Wiley & Sons. 576 p.
- Pavleino M.A., Romadanov V.M.** (2007). *Spectral transforms in MATLAB®*. St.-Petersburg: SPb SU. 160 p. (in Russian). [**Павлейно М.А., Ромаданов В.М.** (2007). Спектральные преобразования в MATLAB. Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет. 160 с.]
- Yamaguchi R., Islam M., Managi S.** (2019). Inclusive wealth in the twenty-first century: A summary and further discussions of Inclusive Wealth Report 2018. *Letters in Spatial and Resource Sciences*, 12 (2), 101–111.

\* \* \*

Ю.А. Кораблев, В.А. Судаков **Распространенные ошибки использования машинного обучения при прогнозировании событий и новый подход на основе моделей механизмов образования событий**

**Ю.А. Кораблев,**

*Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет),  
Москва;*

*e-mail: yura-korablyov@yandex.ru*

**В.А. Судаков,**

*Федеральный исследовательский центр «Институт прикладной математики им. М.В.  
Келдыша» РАН, Москва; e-mail: sudakov@ws-dss.com*

**Аннотация.** Обсуждаются распространенные ошибки, допускаемые исследователями при прогнозировании событий с помощью моделей на основе машинного обучения. Такими ошибками являются: потеря самих событий, вследствие конструирования абстрактных признаков; обучение моделей происходит по клиентам, а не по событиям от клиентов; конструирование искусственных признаков; неправильная валидация и ошибочные метрики качества модели; используются статичные параметры. Приведен разбор совершенных ошибок одного примера с Kaggle. Площадь под ROC-кривой у такого примера очень высокая, 0,88. Однако эта метрика качества рассчитана некорректно. После исправления всех ошибок корректная метрика оказалась 0,599. Представлен иной подход к анализу и прогнозированию событий, который значительно отличается от классических методов машинного обучения. Метод основан на рассмотрении индивидуальных механизмов образования событий для каждого клиента. Строятся модели таких механизмов. Математическими методами восстанавливаются параметры моделей этих механизмов образования событий. Параметры экстраполируются на будущее. Прогноз будущего события получается в результате функционирования модели механизма с установленными значениями параметров. Метрика качества модели, площадь под кривой ROC, составила 0,615, что немного больше, чем в рассматриваемом примере с Kaggle, основанном на машинном обучении. Тем самым показано, что предложенный подход является конкурентным для передовых методов машинного обучения.

**Ключевые слова:** анализ событий, прогноз событий, машинное обучение, ошибки моделей, механизм образования событий, восстановление параметров, сплайновая коллокация, сглаживающий сплайн, монотонный сплайн, качество прогноза, валидация.

**Классификация JEL:** C1, C15, C4, C5, C53.

**УДК:** 330.4; 51-77; 004.9.

Для цитирования: **Кораблев Ю.А., Судаков В.А.** (2025). Распространенные ошибки использования машинного обучения при прогнозировании событий и новый подход на основе моделей механизмов образования событий // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 25–37. DOI: 10.31857/S0424738825010039

Поступила в редакцию 09.04.2024

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ехлаков Р.С., Судаков В.А.** (2022). Прогнозирование стоимости котировок при помощи LSTM и GRU сетей // *Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша*. № 17. 13 с. DOI: 10.20948/prepr-2022-17 [**Ekhlov R.S., Sudakov V.A.** (2022). Forecasting the cost of quotes using LSTM & GRU networks. *Preprints of IAM after M.V. Keldysh*, 17. 13 p. (in Russian).]
- Кораблев Ю.А.** (2022). Об одном алгоритме восстановления функции по разным функционалам для прогнозирования редких событий в экономике // *Финансы: теория и практика*. № 3 (26). С. 196–225. DOI: 10.26794/2587-5671-2022-26-3-196-225 [**Korablev Yu.A.** (2022). An algorithm for restoring a function from different functionals for predicting rare events in the economy. *Finance: Theory and Practice*, 3 (26), 196–225 (in Russian).]
- Кораблев Ю.А.** (2023). *Емкостный метод анализа и прогнозирования редких событий в экономике: монография*. М.: РУСАЙНС. 296 с. ISBN: 978-5-466-04159 [**Korablev Yu.A.** (2023). *Capacity method of analysis and forecasting of rare events in the economy*. Moscow: RUSCIENS. 256 p. (in Russian).]
- Craven P., Wahba G.** (1978). Smoothing noisy data with spline functions – estimating the correct degree of smoothing by the method of generalized cross-validation. *Numerische Mathematik*, 31 (4), 377–403. DOI: 10.1007/BF01404567
- Friedman J.** (1999). *Greedy function approximation: A gradient boosting machine*. Technical Report. Department of Statistics. Stanford University.
- Friedman J.** (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *The Annals of Statistics*, 5 (29), 1189–1232. DOI: 10.1214/aos/1013203451

- Golub G.H., Heath M., Wahba G.** (1979). Generalized cross-validation as a method for choosing a good ridge parameter. *Technometrics*, 21 (2), 215–223. DOI: 10.1080/00401706.1979.10489751
- Hansen P.C.** (1992). Analysis of discrete ill-posed problems by means of the L-curve. *SIAM Review*, 34 (4), 561–580. DOI: 10.1137/1034115
- Hansen P.C.** (2001). The L-curve and its use in the numerical treatment of inverse problems. In: P. Johnston (ed.). *Computational inverse problems in electrocardiology*. Advances in Computational Bioengineering. Southampton: WIT Press.
- Korablev Yu.A.** (2022). Restoration of function by integrals with cubic integral smoothing spline in R. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 48 (2), 1–17. DOI: 10.1145/3519384 ISSN: 0098-3500.
- Nagesh S.C.** (2022). *Predict customers probable purchase*. Kaggle. Available at: <https://www.kaggle.com/code/nageshsingh/predict-customers-probable-purchase>
- Nelder J.A., Mead R.** (1965). A simplex method for function minimization. *The Computer Journal*, 4 (7), 308–313. DOI: 10.1093/comjnl/7.4.308
- Quinn B.G., Fernandes J.M.** (1991). A fast efficient technique for the estimation of frequency. *Biometrika*, 3 (78), 489–497.
- Quinn B.G., Hannan E.J.** (2001). *The estimation and tracking of frequency*. Cambridge: Cambridge University Press. 278 p.

### **Мировая экономика**

А.А. Прудникова, О.В. Хмыз, Н.В. Сергеева **Декарбонизация транспортного сектора мировой экономики в постковидной перспективе**

**А.А. Прудникова,**

*Финуниверситет, Москва; e-mail: AAPrudnikova@fa.ru*

**О.В. Хмыз,**

*МГИМО МИД РФ, Москва; e-mail: khmyz@mail.ru*

**Н.В. Сергеева,**

*Финуниверситет, Москва; e-mail: sergeeva69@mail.ru*

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме декарбонизации транспортного сектора на международном уровне, поскольку именно на транспорт приходится основная масса выбросов парниковых газов в XXI в. Цель — оценить влияние глобальных декарбонизационных тенденций на отдельные виды транспорта и спрогнозировать вероятные масштабы выбросов до 2030 г. Современные тенденции проанализированы с учетом влияния локдаунов периода пандемии COVID-19, ввиду ограничений передвижения физических лиц и транспортных средств приведших к снижению общего уровня загрязнения атмосферы и выбросов CO<sub>2</sub> и иных газов, и постпандемийного времени, продемонстрировавшего восстановление и одновременное переформатирование глобальных цепочек поставок, нарушенных в предыдущие годы. Развивая положения теоретических изысканий по проблематике декарбонизации, на основе актуальных статистических данных авторы статьи построили прогнозные модели динамики объемов выбросов по подсекторам транспорта. Проведенный нами анализ показал необходимость продолжения глобальной тенденции декарбонизации, весомый вклад в который могут внести наземные автомобильные перевозки (генерируют максимальный уровень загрязнения по всем видам транспорта), и расширения использования экологических композитных компонентов. Переход к более широкому использованию экологичных видов транспорта (электромобилей) и устойчивых транспортных технологий будет способствовать улучшению состояния глобального климата.

**Ключевые слова:** транспорт, декарбонизация, железнодорожный транспорт, автомобильный транспорт, воздушный транспорт, морской транспорт, трубопроводный транспорт, чистый ноль, электрификация транспорта.

**Классификация JEL:** C13, L91, C53, R40.

**УДК:** 339.97, 620.9.

Для цитирования: **Прудникова А.А., Хмыз О.В., Сергеева Н.В.** (2025). Декарбонизация транспортного сектора мировой экономики в постковидной перспективе // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 38–44. DOI: 10.31857/S0424738825010045.

Поступила в редакцию 18.03.2024

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Cheema-Fox A., Realmuto LaPerla B., Serafeim G., Turkington D., Wang H.** (2021). *Decarbonizing Everything*. CFA Institute. DOI: 10.1080/0015198X.2021.1909943
- Henze V.** (2021). *Getting on track for net-zero by 2050 will require rapid scaling of investment in the energy transition over the next ten years*. Bloomberg NEF.
- IPCC (2018). Summary for policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. V. Masson-Delmotte et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3–24. DOI: 10.1017/9781009157940.001
- ITF (2021). *ITF Transport Outlook 2021*. Paris: OECD. 249 p. DOI: 10.1787/16826a30-en
- Khmyz O.V., Pastukhova D.R., Prudnikova A.A.** (2023). Global green bond market amid global turbulence. In: **E.G. Popkova** (ed.). *Smart green innovations in industry 4.0 for climate change risk management*. Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes. Springer, Cham, 605–613. DOI: 10.1007/978-3-031-28457-1\_61
- Lebrand M., Theophile E.** (2022). *Rising incomes, transport demand, and sector decarbonization*. SSRN. DOI: 10.2139/ssrn.4122856
- Neugebauer S.** (2019). Technical scenarios for the decarbonization of road transport. In: M. Bargende, H.C. Reuss, A. Wagner, J. Wiedemann (eds.) *Internationals Stuttgarter symposium*. Proceedings. Wiesbaden: Springer Verlag. DOI: 10.1007/978-3-658-25939-6\_4
- Noussan M., Hafner M., Tagliapietra S.** (2020). *The future of transport between digitalization and decarbonization*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-37966-7

### Народнохозяйственные проблемы

Н.А. Моисеев, И.А. Внуков, Е.Е. Ребека, К.Г. Саргсян **Моделирование динамики оплаты труда различных специальностей средствами методологии межотраслевого баланса**

**Н.А. Моисеев,**

РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва; e-mail: moiseev.na@rea.ru

**И.А. Внуков,**

РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва; e-mail: jvnukov@yandex.ru

**Е.Е. Ребека,**

РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва; e-mail: rebeka.ee@yandex.ru

**К.Г. Саргсян,**

РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва; e-mail: kristina.sargsyan.2002@mail.ru

Работа выполнена в рамках проекта Российского научного фонда (проект 22-78-10150

«Разработка системы оценки и оптимального планирования реализации государственных экономических проектов в условиях геополитических рисков»).

**Аннотация.** Данная статья посвящена моделированию заработных плат рабочих специальностей средствами методологии межотраслевого баланса. Целью исследования является выявление основных факторов, влияющих на динамику оплаты труда специалистов различных профессий. Авторы предлагают расширить ранее предложенную модель ценового равновесия отраслей в части добавления рабочих специальностей как

отраслей экономики, не обладающих ни конечным, ни промежуточным потреблением. Анализируются эффекты от изменения параметров спроса на продукцию отраслей со стороны конечных потребителей и коэффициентов прямых затрат на оплату труда. В результате модельного эксперимента на примере двух отраслей и двух рабочих специальностей были сделаны следующие выводы: уровень заработной платы тесно связан с распределением специалистов различных специальностей по отраслям; на рост заработных плат положительно влияет ограниченность трудовых ресурсов. Снижение производственных коэффициентов для рабочей специальности, выражающейся в снижении потребности отрасли в труде данных специалистов, вопреки распространенному убеждению, приводит к росту заработных плат, поскольку труд по мере снижения производственного коэффициента становится более эффективным. Результаты исследования могут быть полезны государственным органам при формировании стратегии развития секторов экономики, а также крупным компаниям при проведении кадровой политики.

**Ключевые слова:** межотраслевой баланс, трудовые ресурсы, оптимизация, ценовая политика, экономическая теория, моделирование.

**Классификация JEL:** A12, C31, C54, C67.

**УДК:** 330.44.

Для цитирования: **Моисеев Н.А., Внуков И.А., Ребека Е.Е., Саргсян К.Г.** (2025). Моделирование динамики оплаты труда различных специальностей средствами методологии межотраслевого баланса // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 45–55. DOI: 10.31857/S0424738825010054

Поступила в редакцию 17.03.2024

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Внуков И.А., Моисеев Н.А., Ребека Е.Е.** (2023). Моделирование ценового баланса отраслей с учетом роли промежуточного производителя в условиях закрытой экономики // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 4. С. 32–44. [**Vnukov I.A., Moiseev N.A., Rebeka E.E.** (2023). Modeling the price balance of sectors taking into account the role of the intermediate producer in a closed economy. *Economics and Mathematical Methods*, 59 (4), 32–44 (in Russian).]
- Горбунов В.К.** (2009). Модель потребительского спроса, основанная на векторном поле предпочтений // *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*. № 1. С. 67–79. [**Gorbunov V.K.** (2009). Model of consumer demand based on a vector field of preferences. *Moscow University Economics Bulletin. Series 6. Economy*, 1, 67–79 (in Russian).]
- Дашян К.А., Мастепанова М.С.** (2016). Межотраслевой баланс затрат труда // *Международный студенческий научный вестник*. № 3–3. С. 377–378. [**Dashyan K.A., Mastepanova M.S.** (2016). Intersectoral balance of labor costs. *International Student Scientific Bulletin*, 3–3, 377–378 (in Russian).]
- Зайцева И.В.** (2012). Балансовые модели как основа экономико-математических методов исследования трудовых ресурсов // *Наука. Инновации. Технологии*. № 2. С. 38–43. [**Zaitseva I.V.** (2012). Balance models as the basis of economic and mathematical methods of labor resources research. *Science. Innovation. Technologies*, 2, 38–43 (in Russian).]
- Калинин А.М., Коротеев С.С., Крупин А.А., Нефедов А.В.** (2021). Технологическая импортозависимость российской экономики: оценка с использованием таблиц «затраты–выпуск» // *Проблемы прогнозирования*. № 1 (184). С. 83–93. [**Kalinin A.M., Koroteev S.S., Krupin A.A., Nefedov A.V.** (2021). Technological import dependence of the Russian economy: An assessment using input–output tables. *Studies on Russian Economic Development*, 1 (184), 83–93 (in Russian).]
- Кашепов А.В.** (2022). Баланс трудовых ресурсов: история и методология прогнозирования // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. № 9–1. С. 83–90. [**Kashepov A.V.** (2022). The balance of labor resources: The history and methodology

- of forecasting. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 9–1, 83–90 (in Russian).]
- Леонтьев В.В.** (1990). Спад и подъем советской экономической науки. В кн.: «*Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика*». 415 с. [**Leontief V.V.** (1990). The rise and decline of Soviet economic science. In: *Economic essays: Theories, research, facts and policy*. 415 p. (in Russian).]
- Моисеев Н.А., Ахмадеев Б.А.** (2021). Алгоритм оценки импортозамещения на основе таблиц «затраты–выпуск» // *Вестник РЭА им. Г.В. Плеханова*. № 3 (117). С. 117–129. [**Moiseev N.A., Akhmadeev B.A.** (2021). Algorithm for assessing import substitution based on input-output tables. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, 3 (117), 117–129 (in Russian).]
- Моисеев Н.А., Внуков И.А.** (2024). Моделирование ценовой политики отраслей в рамках методологии межотраслевого баланса // *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. Т. 21. № 1 (133). С. 40–55. [**Moiseev N.A., Vnukov I.A.** (2024). Modeling of pricing policy of industries within the framework of the intersectoral balance methodology. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, 21 (1), 40–55 (in Russian).]
- Шамшин В.Н.** (2022). Таблицы В.В. Леонтьева: «затраты–выпуск» и их применение к рыночной экономике // *Европейский журнал экономических наук и управления*. № 1. С. 44–51. [**Shamshin V.N.** (2022). Tables of V.V. Leontiev: «input–output» and their application to the market economy. *European Journal of Economics and Management Sciences*, 1, 44–51 (in Russian).]
- Belegri-Roboli A., Michaelides P.G., Markaki M.** (2008). Input-output modelling of labour productivity and the working time in Greece. *Economic Systems Research*, 23 (3), 329–339.
- Hasanli Y., Musayeva F., Rahimli G.** (2021). Assessment of the impact of investment on employment using intersectoral labor balance model. In: *7th International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA)*.
- Kim K., Hewings G.J.D.** (2015). Bayesian estimation of labor demand by age: Theoretical consistency and an application to an input–output model. *Economic Systems Research. (Taylor & Francis Journals)*, 31 (1), 44–69.
- Korovkin A., Sinitsa A., Korolev I.** (2021). Labor force intersectoral movement as a factor of Russian labor market development. *Competitiveness and the Development of Socio-Economic Systems*. 105, European Proceedings of Social and Behavioural Sciences, 582–592 (in English). DOI: 10.15405/epsbs.2021.04.62
- Miller R.E., Blair P.D.** (2009). Input–output analysis: Foundations and extensions. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 10–68.
- Reyes A.F., Marquez Mendoza M.A.** (2013). The demand driven and the supply-sided input–output models: Notes for the debate. *Munich Personal RePEc Archive*. MPRA Paper, 1–25.
- Sauian M.S., Kamarudin N., Rani R.M.** (2013). Labor productivity of services sector in Malaysia: Analysis using input–output approach. *Procedia Economics and Finance*, 7, 35–41.
- Sharify N., Sancho F.** (2011). A new approach for the input–output price model. *Economic Modelling*, 28, 1–2, 188–195.
- Timmer M.P., Dietzenbacher E., Los B., Stehrer R., Vries G.J. de** (2015). An illustrated user guide to the world input–output database: The case of global automotive production. *Review of International Economics*, 23, 575–605.

## Отраслевые проблемы

Т.Н. Рыжикова, Г.А. Щеглов **Поиск путей эффективного использования малых межорбитальных аппаратов в процессе коммерциализации космической деятельности**

**Т.Н. Рыжикова,**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва; e-mail: tr411@yandex.ru*

**Г.А. Щеглов,**

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва; e-mail: shcheglov\_ga@bmstu.ru*

*Работа выполнена в рамках реализации программы развития передовой инженерной школы «Системная инженерия ракетно-космической техники» МГТУ им. Н.Э. Баумана».*

**Аннотация.** В статье рассматривается проблема оценки рынка космических аппаратов на примере малых межорбитальных аппаратов (малых космических буксиров). Целью статьи является анализ путей развития коммерческого сегмента рынка космических услуг, связанных с появлением новой космической техники, совершенствованием космических технологий, необходимостью освоения дальнего космоса и проблемами привлечения средств частных инвесторов. Методом исследования процесса оценки рынка малых межорбитальных космических аппаратов выступает последовательный анализ его структуры, сегментов и условий использования, являющихся необходимой базой для исследования. Анализ рынка нового вида малых межорбитальных аппаратов, используемый в авторском исследовании, основывается на углубленном анализе различных подходов, используемых в экономике космической деятельности, что также позволяет в наглядном виде представить результаты полученных данных. В статье рассмотрена как практическая, так и теоретическая изученность проблемы. Предлагается подход к обеспечению последовательности процесса оценки и анализа рынка малых межорбитальных космических аппаратов на примере малых космических буксиров. Именно с этим конечным коммерческим сегментом связаны основные тенденции развития космических технологий. Проведен анализ структуры, выделены и обоснованы подходы к оценке емкости сегмента космических буксиров с учетом особенностей космического рынка, поиска инвестиционной привлекательности и продления жизни космических аппаратов на орбите. Услуги, оказываемые малыми космическими буксирами, могут быть разделены на две группы: с коротким и пролонгированным жизненным циклом. А затраты на такие услуги могут учитываться в зависимости от жизненного цикла изделий и продолжительности работы в космосе.

**Ключевые слова:** экономика космической деятельности, коммерческие космические услуги, малый межорбитальный аппарат (малый космический буксир).

**Классификация JEL:** M11, D81, G32, M21, M49.

**УДК:** 338.22.021.1.

Для цитирования: **Рыжикова Т.Н., Щеглов Г.А.** (2025). Поиск путей эффективного использования малых межорбитальных аппаратов в процессе коммерциализации космической деятельности // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 56–69. DOI: 10.31857/S0424738825010067

Поступила в редакцию 02.04.2024

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**Викторов Е.А., Бурлаков С.О., Якушенко С.А., Вахненко И.В., Егрусев В.Е., Веркин С.С., Антонов В.В.** (2023). Научно-технические проблемы создания и применения группировок военных малых космических аппаратов связи для информационного обеспечения боевых действий // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. № 3–2 (78). Режим доступа: [https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskie-problemy-sozdaniya-i-primeneniya-gruppirovok-voennyh-malyh-kosmicheskikh-apparatov-svyazi-dlya-](https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskie-problemy-sozdaniya-i-primeneniya-gruppirovok-voennyh-malyh-kosmicheskikh-apparatov-svyazi-dlya)

informatsionnogo [Viktorov E.A., Burlakov S.O., Yakushenko S.A., Vakhnenko I.V., Egrushev V.E., Verkin S.S., Antonov V.V. (2023). Scientific and technical problems of creation and application of groupings of military small communication space vehicles for information support of combat actions. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 3–2 (78). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/nauchno-tehnicheskie-problemy-sozdaniya-i-primeneniya-gruppirovok-voennyh-malyh-kosmicheskikh-apparatov-svyazi-dlya-informatsionnogo> (in Russian).]

**Кислицкий М.И.** (2010). Концепция двойного использования космических аппаратов // *Решетневские чтения*. № 14. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsepsiya-dvoynogo-ispolzovaniya-kosmicheskikh-apparatov-1> [Kislitsky M.I. (2010). Dual-use of spacecrafts conception. *Reshetnev's Readings*, 14. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsepsiya-dvoynogo-ispolzovaniya-kosmicheskikh-apparatov-1> (in Russian).]

**Котегов М., Бабошкин Г., Матвеев С.** (2023). *О структуре рисков своевременной реализации программы «Сфера»*. Режим доступа: <http://controlling.ru/files/202.pdf> [Kotegov M., Baboshkin G., Matveev S. (2023). *On the structure of risks of timely implementation of the «Sphere» program*. Available at: <http://controlling.ru/files/202.pdf> (in Russian).]

**Макаров Ю.Н., Симонов М.П., Хрусталёв Е.Ю.** (2015). Особенности реализации государственно-частного партнерства в оборонно-промышленном комплексе и в сфере военной безопасности // *Вооружение и экономика*. № 1 (30). С. 62–73. [Makarov Yu.N., Simnov M.P., Khrustalev E.Yu (2015). Features of public-private partnerships realization in the defense industry and military security. *Armament and Economics*, 1 (30), 62–73 (in Russian).]

**Макарова Д.Ю., Хрусталев Е.Ю., Хрусталёв О.Е.** (2015). Семантическая методология анализа и прогнозирования развития ракетно-космической промышленности // *Аудит и финансовый анализ*. № 3. С. 88–93. [Makarova D.Yu., Khrustalev E.Yu., Khrustalev O.E. (2015). Semantic methodology for analyzing and forecasting of aerospace industry development. *Audit and Financial Analysis*, 3, 88–93 (in Russian).]

**Каткалов В.Б., Морозова М.Л.** (2022). Обслуживаемый космос. Новые достижения и перспективы. // *Космические аппараты и технологии*. № 3 (41). Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obsluzhivaemyy-kosmos-novye-dostizheniya-i-perspektivy> (дата обращения: 12.01.2025). [Katkalov V.B., Morozova M.L. (2022). Serviced space. New achievements and prospects. *Spacecrafts & Technologies*, 3 (41). Available at: <https://espi.or.at/publications/espi-publicreports/category/2-public-espi-reports> (in Russian).]

**Рыжикова Т.Н., Старожук Е.А., Шаповалов А.В., Щеглов Г.А.** (2022). Анализ эффективности периферийных пусковых услуг выведения полезных нагрузок малым разгонным блоком «БОТ» // *Экономика космоса*. № 1 (1). С. 46–56. [Ryzhikova T.N., Starozhuk E.A., Shapovalov A.V., Shcheglov G.A. (2022). Efficiency analysis of peripheral launch services using «BOT» small upper stage. *Space Economics*, 1 (1), 46–56 (in Russian).]

**Рыжикова Т.Н., Щеглов Г.А., Шаповалов А.В.** (2023). Создание коммерческого сегмента космических услуг: задачи, условия, экономика // *Экономический анализ: теория и практика*. Т. 22. Вып. 10. С.1850–1863. [Ryzhikova T.N., Shcheglov G.A., Shapovalov A.V. (2023). Creation of a commercial segment of space services: Tasks, conditions, economy. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 22, 10, 1850–1863 (in Russian).]

**Шаповалов А.В., Щеглов Г.А.** (2023). Синтез рациональной компоновки малого разгонного блока на газообразных компонентах топлива // *Вестник Московского авиационного института*. Т. 30. № 2. С. 70–77. [Shapovalov A.V., Shcheglov G.A.

(2023). Rational layout synthesis of the upper stage running on gaseous components. *Aerospace MAI Journal*, 30, 2, 70–77 (in Russian).]

*In-Orbit Servicing & Space Situational Awareness Markets*, 4th (2022). Available at: <https://www.nsr.com/?research=in-orbit-servicing-space-situational-awareness-markets-4th-edition>

## **Проблемы предприятий**

Е.В. Орлова **Модель управления человеческим капиталом предприятия на основе методов «машинного обучения с подкреплением»**

**Е.В. Орлова,**

*Уфимский университет науки и технологий, Уфа, e-mail: ekorl@mail.ru*

**Аннотация.** Человеческий капитал является одним из важнейших движущих сил устойчивого экономического роста предприятия, что приобретает еще большую значимость в условиях изменений характера труда в период цифровой трансформации экономики. Портрет работника становится все более многогранным вследствие расширения сфер его активности. Поэтому проблема управления человеческим капиталом на основе формирования индивидуальных траекторий профессионального развития работников представляется актуальной, своевременной, социально и экономически значимой. В работе предлагается модель управления человеческим капиталом, предназначенная для разработки индивидуальных траекторий профессионального развития работников предприятия, формирование которых основано на методах машинного обучения — «машинного обучения с подкреплением». Модель формирует оптимальный режим управления и рассматривается как последовательный набор программных мероприятий, направленных на развитие работника в профессиональной сфере с учетом его изменяющихся в динамике индивидуальных характеристик состояния здоровья, уровня профессиональных и надпрофессиональных компетенций, мотивации, социального капитала. Архитектуру системы управления можно рассматривать как цифровой двойник работника предприятия, который объединяет среду — модель работника как марковского процесса принятия решений и модель управления — агента — центра принятия решений предприятия. Для максимизации функции полезности агента используются алгоритмы «машинного обучения с подкреплением» DQN, DDQN, SARSA, PRO. На основе проведенных экспериментов показано, что наилучшие результаты в смысле достижения максимальной полезности агента обеспечивает алгоритм DDQN. Практическую значимость имеют результаты, сгенерированные предлагаемой моделью, реализация которых позволит в кратчайшие сроки обеспечить рост инновационности и конкурентоспособности предприятия за счет улучшения качества человеческого капитала и роста ресурсной эффективности труда.

**Ключевые слова:** человеческий капитал, цифровой двойник работника, индивидуальные траектории, машинное обучение, «машинное обучение с подкреплением», Q-обучение, оптимальное управление, марковский процесс принятия решений.

**Классификация JEL:** C61, O15.

**УДК:** 330.4, 519.865.7.

Для цитирования: **Орлова Е.В.** (2025). Модель управления человеческим капиталом предприятия на основе методов «машинного обучения с подкреплением» // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 70–83. DOI: 10.31857/S0424738825010072

Поступила в редакцию 01.08.2023

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

**Акопов А.С.** (2023). Моделирование и оптимизация стратегий принятия индивидуальных решений в многоагентных социально-экономических системах с использованием машинного обучения // *Бизнес-информатика*. Т. 17. № 2. С. 7–19. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.7.19 [**Akopov A.S.** (2023). Modeling and optimization of strategies for making individual decisions in multi-agent socio-economic systems with the

use of machine learning. *Business Informatics*, 17, 2, 7–19. DOI: 10.17323/2587-814X.2023.2.7.19 (in Russian).]

- Боровков А.И.** (2021) Цифровые двойники в условиях четвертой промышленной революции // *CONNECT. Мир информационных технологий*. № 1–2. С. 50–53. [Borovkov A.I. (2021). Digital twins in the fourth industrial revolution. *CONNECT. The World of Information Technologies*, 1–2, 50–53 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л.** (2019). Разработка цифровых двойников для производственных предприятий // *Бизнес-информатика*. Т. 13. № 4. С. 7–16. DOI 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16 [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L. (2019). Developing digital twins for production enterprises. *Business Informatics*, 13, 4, 7–16. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.4.7.16 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Ровенская Е.А., Стрелковский Н.В.** (2022). Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости // *Экономика и математические методы*. Т. 58. № 1. С. 113–130. DOI: 10.31857/S042473880018960-5 [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Rovenskaya E.A., Strelkovsky N.V. (2022). Agent-based modeling of the socio-economic consequences of migration under state regulation of employment. *Economics and Mathematical Methods*, 58, 1, 113–130. DOI: 10.31857/S042473880018960-5 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Бекларян Г.Л., Акопов А.С., Стрелковский Н.В., Ровенская Е.А.** (2020). Агентное моделирование популяционной динамики двух взаимодействующих сообществ: мигрантов и коренных жителей // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 2. С. 5–19. DOI 10.31857/S042473880009217-7 [Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Beklaryan G.L., Akopov A.S., Strelkovsky N.V., Rovenskaya E.A. (2020). Agent-based modeling of population dynamics of two interacting communities: Migrants and indigenous residents. *Economics and Mathematical Methods*, 56, 2, 5–19. DOI: 10.31857/S042473880009217-7 (in Russian).]
- Макаров В.Л., Клейнер Г.Б.** (2007). *Микроэкономика знаний*. М.: Экономика. 300 с. [Makarov V.L., Kleiner G.B. (2007). *Microeconomics of knowledge*. Moscow: Economics. 300 p. (in Russian).]
- Орлова Е.В.** (2020a). Методы и модели анализа данных и машинного обучения в задаче управления производительностью труда // *Программная инженерия*. № 4. С. 219–229. DOI: 10.17587/prin.11.219-229 [Orlova E.V. (2020a). Methods and models of data analysis and machine learning in the problem of labor productivity management. *Programmnaya Ingeneria (Software Engineering)*, 11, 4, 219–229. DOI: 10.17587/prin.11.219-229 (in Russian).]
- Орлова Е.В.** (2020b). Управление производительностью труда с учетом факторов здоровья: технология и модели // *Управленец*. № 6. С. 57–69. DOI: 10.29141/2218-5003-2020-11-6-5 [Orlova E.V. (2020b). Labour productivity management using health factors: Technique and models. *The Manager (Upravlenets)*, 11, 6, 57–69. DOI: 10.29141/2218-5003-2020-11-6-5 (in Russian).]
- Орлова Е.В.** (2021). Оценка человеческого капитала предприятия и управление им в условиях цифровой трансформации экономики // *Journal of Applied Economic Research*. Т. 20. № 4. С. 666–700. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.4.026 [Orlova E.V. (2021). Assessment of the human capital of an enterprise and its management in the context of the digital transformation of the economy. *Journal of Applied Economic Research*, 20, 4, 666–700. DOI: 10.15826/vestnik.2021.20.4.026 (in Russian).]
- Пономарев Е.С., Оселедец И.В., Чихоцкий А.С.** (2019). Использование обучения с подкреплением в задаче алгоритмической торговли // *Информационные процессы*. Т. 19. № 2. С. 122–131. [Ponomarev E.S., Oseledets I.V., Chihotsky A.S. (2019). Using

reinforcement learning in algorithmic trading. *Information Processes*, 19, 2, 122–131 (in Russian).]

- Abideen A.Z., Sundram V.P.K., Pyeman J., Othman A.K., Sorooshian S.** (2021). Digital twin integrated reinforced learning in supply chain and logistics. *Logistics*, 5, 84. DOI: 10.3390/logistics5040084
- Alzyoud A.** (2018). The influence of human resource management practices on employee work engagement. *Foundations of Management*, 10, 251–256. DOI: 10.2478/fman-2018-0019
- Azhikodan A.R., Bhat A.G., Jadhav M.V.** (2019). Stock trading bot using deep reinforcement learning. In: *Innovations in computer science and engineering*. Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 41–49.
- Chi M., VanLehn K., Litman D.** et al. (2011). Empirically evaluating the application of reinforcement learning to the induction of effective and adaptive pedagogical strategies. *User Model User-Adapted Interaction*, 21, 137–180. DOI:10.1007/s11257-010-9093-1
- Church A.H., Bracken D.W., Fleenor J.W., Rose D.S.** (2019). *Handbook of strategic 360 feedback*. New York: Oxford University Press. 637 p.
- Ding Q., Jahanshahi H., Wang Y., Bekiros S., Alassafi M.O.** (2022). Optimal reinforcement learning-based control algorithm for a class of nonlinear macroeconomic systems. *Mathematics*, 10, 499. DOI: 10.3390/math10030499
- Granovetter M.S.** (1973). The strength of weak ties. *American Journal of Psychology*, 78 (6), 1360–1380.
- Hernaus T., Pavlovic D., Klindzic M.** (2019). Organizational career management practices: The role of the relationship between HRM and trade unions. *Employee Relations*, 41, 84–100. DOI: 10.1108/ER-02-2018-0035
- Hitka M., Kucharčíková A., Štarchoň P., Balážová Ž., Lukáč M., Stacho Z.** (2019). Knowledge and human capital as sustainable competitive advantage in human resource management. *Sustainability*, 11, 4985. DOI: 10.3390/su11184985
- Jung Y., Takeuchi N.** (2018). A lifespan perspective for understanding career self-management and satisfaction: The role of developmental human resource practices and organizational support. *Human Relations*, 71, 73–102.
- Li Q., Lin T., Yu Q., Du H., Li J., Fu X.** (2023). Review of deep reinforcement learning and its application in modern renewable power system control. *Energies*, 16, 4143. DOI: 10.3390/en16104143
- Liu J., Zhang Y., Wang X., Deng Y., Wu X.** (2019). *Dynamic pricing on e-commerce platform with deep reinforcement learning*. arXiv:1912.02572.
- Mohammadi M., Al-Fuqaha A., Guizani M., Oh J.** (2018). Semisupervised deep reinforcement learning in support of IoT and smart city services. *IEEE Internet of Things Journal*, 5, 2, 624–635.
- Orlova E.V.** (2021a). Innovation in company labor productivity management: Data science methods application. *Applied System Innovation*, 4, 3, 68. DOI: 10.3390/asi4030068
- Orlova E.V.** (2021b). Design of personal trajectories for employees' professional development in the knowledge society under industry 5.0. *Social Sciences*, 10, 11, 427. DOI: 10.3390/socsci10110427
- Orlova E.V.** (2022). Design technology and ai-based decision making model for digital twin engineering. *Future Internet*, 14, 9, 248. DOI: 10.3390/fi14090248
- Orlova E.V.** (2023). Inference of factors for labor productivity growth used randomized experiment and statistical causality. *Mathematics*, 11, 4, 863. DOI: 10.3390/math11040863
- Orr J., Dutta A.** (2023). Multi-agent deep reinforcement learning for multi-robot applications: A survey. *Sensors*, 23, 3625. DOI: 10.3390/s23073625
- Osranek R., Zink K.J.** (2014). Corporate human capital and social sustainability of human resources. In: I. Ehnert, W. Harry, K. Zink. *Sustainability and human resource management*. CSR, Sustainability, Ethics & Governance. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-37524-8\_5

- Rachid B., Mohamed T., Khouaja M.A.** (2018). An agent based modeling approach in the strategic human resource. Management, including endogenous and exogenous factors. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 88, 32–47.
- Schelling T.C.** (1971). Dynamic models of segregation. *The Journal of Mathematical Sociology*, (Informa UK Limited), 1 (2), 143–186. DOI:10.1080/0022250x.1971.9989794
- Steelman L.A., Williams J. R.** (2019). *Feedback at work*. Switzerland AG: Springer Nature. 280 p.
- Stokowski S., Li B., Goss B.D., Hutchens S., Turk M.** (2018). Work motivation and job satisfaction of sport management faculty members. *Sport Management Education Journal*, 12, 80–89. DOI: 10.1123/smej.2017-0011
- Wang R., Chen Z., Xing Q., Zhang Z., Zhang T.** (2022). A modified rainbow-based deep reinforcement learning method for optimal scheduling of charging station. *Sustainability*, 14, 1884. DOI: 10.3390/su14031884
- Yan Y., Chow A.H., Ho C.P., Kuo Y.H., Wu Q., Ying C.** (2022). Reinforcement learning for logistics and supply chain management: Methodologies, state of the art, and future opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 162, 102712.
- Yu C., Liu J., Nemati S.** (2019a). *Reinforcement learning in healthcare: A survey*. arXiv:1908.08796.
- Yu P., Lee J.S., Kulyatin I., Shi Z., Dasgupta S.** (2019b). *Model-based deep reinforcement learning for dynamic portfolio optimization*. arXiv:1901.08740.
- Zhang L., Guo X., Lei Z., Lim M.K.** (2019). Social network analysis of sustainable human resource management from the employee training's perspective. *Sustainability*, 11, 380. DOI: 10.3390/su11020380
- Zheng G., Zhang F., Zheng Z., Xiang Y., Yuan N.J., Xie X., Li Z.** (2018). DRN: A deep reinforcement learning framework for news recommendation. In: *Proceedings of the 2018 World Wide Web Conference*. Lyon, France, 167–176.

\* \* \*

**В.И. Аркин, А.Д. Слостников** **Модель выбора времени проведения НИОКР на предприятии в условиях неопределенности**

**В.И. Аркин,**

*ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: varkin@mail.ru*

**А.Д. Слостников,**

*ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: aslast@mail.ru*

**Аннотация.** Объектом исследования в данной работе является предприятие реального сектора, у которого имеется возможность провести структурные изменения посредством реализации некоторого инновационного проекта. В некоторый момент времени принимается решение о проведении этапа НИОКР для реализации инновационного проекта. Предполагается, что во время НИОКР предприятие получает субсидии от государства, а расходы вычитаются из налоговой базы с некоторым повышающим коэффициентом. По окончании этапа НИОКР инновационный проект начинает реализовываться только с некоторой вероятностью. Предприятие действует в условиях неопределенности, его поток прибыли до момента изменений моделируется случайным процессом, а после начала реализации инновационного проекта меняется на другой случайный процесс. Рассматривается задача выбора такого момента начала проведения НИОКР, чтобы ожидаемый чистый дисконтированный доход предприятия на всем периоде его функционирования был максимальным. Доказывается, что оптимальный момент начала проведения НИОКР для реализации инновационного проекта совпадает с первым моментом времени, когда текущая прибыль предприятия превысит некоторое пороговое значение. В явном виде выведена формула для зависимости этого порога от входящих в модель параметров: среднего темпа роста и волатильности прибыли предприятия до и после реализации проекта; налоговой нагрузки; объема

предоставленных субсидий; объема инвестиций, необходимых для реализации инновационного проекта; длительности этапа НИОКР; вероятности реализации результатов НИОКР; ставки дисконтирования. Исследуются условия, при которых оптимальное время начала НИОКР будет конечным с положительной вероятностью. Проведен модельный анализ зависимости этого оптимального времени от налоговой нагрузки, величины субсидий на проведение НИОКР, затрат на НИОКР и вероятности реализации проекта.

**Ключевые слова:** инновационный проект, структурные изменения; научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, поток прибыли; стохастический процесс, субсидии, налогообложение прибыли, момент начала НИОКР, вероятность реализации проекта.

**Классификация JEL:** C61, D81, O32.

**УДК:** 330.4.

Для цитирования: **Аркин В.И., Слостников А.Д.** (2025). Модель выбора времени проведения НИОКР на предприятии в условиях неопределенности // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С.84–94. DOI: 10.31857/S0424738825010085

Поступила в редакцию 08.07.2024

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андерсон Дж.** (2004). О приватизации государственной собственности // *Вопросы экономики*. № 12. С. 54–69. [**Anderson J.** (2004). On privatizing state property. *Voprosy Ekonomiki*, 12, 54–69 (in Russian).]
- Аркин В.И.** (2014). Пороговые стратегии в задачах оптимальной остановки одномерных диффузионных процессов // *Теория вероятностей и ее применения*. Т. 59. Вып. 2. С. 365–374. [**Arkin V.I.** (2014). Threshold strategies in optimal stopping problem for one-dimensional diffusion processes. *Theory of Probability and Its Applications*, 59, 2, 365–374 (in Russian).]
- Аркин В.И., Слостников А.Д.** (2020). Математическая модель частичной приватизации предприятия // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 3. С. 91–102. [**Arkin V.I., Slastnikov A.D.** (2020). Mathematical model of the firm's partial privatization. *Economics and Mathematical Methods*, 56, 3, 91–102 (in Russian).]
- Воронина Т.В., Гамбарян Р.Г.** (2023). Влияние инвестиций в НИОКР на объем высокотехнологичного экспорта // *Финансовые исследования*. № 1 (78). С. 132–142. [**Voronina T.V., Ghambaryan R.G.** (2023). The impact of R&D investments on the volume, of high-tech exports. *Financial Research*, 1 (78), 132–142 (in Russian).]
- Клавдиенко В.П.** (2021). Государственная поддержка НИОКР и инноваций в бизнес-секторе стран ЕС // *Инновации*. № 04 (270). С. 63–68. [**Klavdienko V.P.** (2021). State support of R&D and innovation in the business sector of the European Union's countries. *Innovations*, 04 (270), 63–68 (in Russian).]
- Кондратенко А.Н.** (2022). Вопросы методологии сопровождения, реализации и информационного обеспечения НИОКР, технологических работ и инвестиционных проектов // *Вестник «НПО «Техномаш»*. № 1. С. 28–42. [**Kondratenko A.N.** (2022). Issues of support methodology, implementation and information support of research and development technological work and investment projects. *NPO "Technomac Vestnik"*, 1, 28–42 (in Russian).]
- Леонтьева В.В.** (2020). Влияние неопределенности на инвестиции в НИОКР российских компаний. Магистерская диссертация. НИУ ВШЭ. Пермь. Режим доступа: <https://nauchkor.ru/pubs/vliyanie-neopredelennosti-na-investitsii-v-niokr-rossiyskih-kompaniy-5efa1fe3cd3d3e00013cd32a> [**Leonteva V.V.** (2020). The impact of uncertainty on investment of Russian companies into R&D. Master Thesis. HSE University, Perm. Available at: <https://nauchkor.ru/pubs/vliyanie-neopredelennosti-na-investitsii-v-niokr-rossiyskih-kompaniy-5efa1fe3cd3d3e00013cd32a> (in Russian).]

- Логинова Т.А.** (2022). Налоговое стимулирование расходов предприятий на НИОКР: особенности и проблемы регулирования // *Правоприменение*. Т. 6. № 1. С. 111–123. [**Loginova T.A.** (2022). Tax regulation of enterprise R&D expenditures: Special aspects and problems of regulation. *Law Enforcement Review*, 6, 1, 111–123 (in Russian).]
- Ширяев А.Н.** (1998). Основы стохастической финансовой математики. Т. 2. Теория. М.: ФАЗИС. 544 с. [**Shiryayev A.N.** (1999). Essentials of stochastic finance. Facts, models, theory. Singapore: World Scientific. First published in Russian in 1998 as “Fundamentals of Stochastic financial Mathematics”, Moscow: FAZIS. 544 p.]
- Abel A.B.** (1983). Optimal investment under uncertainty. *The American Economic Review*, 73 (1), 228–233.
- Abel A.B.** (1984). The effects of uncertainty on investment and the expected long-run capital stock. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 7, 1, 39–53.
- Aboody D., Lev B.** (2000). Information asymmetry, R&D, and insider gains. *The Journal of Finance*, 55, 6, 2747–2766.
- Agliardi E.** (2001). Taxation and investment decisions: A real options approach. *Australian Economic Papers*, 40, 1, 44–55.
- Alvarez L.H.R., Stenbacka R.** (2001). Adoption of uncertain multi-stage technology projects: A real options approach. *Journal of Mathematical Economics*, 35, 1, 71–97.
- Alvarez L.H.R., Stenbacka R.** (2004). Optimal risk adoption: A real options approach. *Economic Theory*, 23, 1, 123–147.
- Baker S.R., Bloom N., Davis S.J.** (2016). Measuring economic policy uncertainty. *The Quarterly Journal of Economics*, 131, 4, 1593–1636.
- Dixit A.K., Pindyck R.S.** (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton: Princeton University Press.
- Hartman R.** (1972). The effects of price and cost uncertainty on investment. *Journal of Economic Theory*, 5, 258–266.

### **Математический анализ экономических моделей**

Г.А. Хазиев, Т.В. Соколова **Прогнозирование доходности российских акций на основе анализа сентимента инвесторов в социальных сетях**

**Г.А. Хазиев,**

*НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: gakhaziev@hse.ru*

**Т.В. Соколова,**

*НИУ «Высшая школа экономики», Москва; e-mail: tv.sokolova@hse.ru*

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-002760,*

*<https://rscf.ru/project/22-18-00276/>*

**Аннотация.** В работе исследуется сентимент российских частных инвесторов в социальных сетях и его влияние на динамику доходности акций 78 компаний российского рынка в 2018–2022 г. Для учета сентимента при прогнозировании цен используется авторский индекс RSMI (Russian social media index), который строится на уникальной выборке сообщений из наиболее популярных у российских инвесторов социальных сетей — «Телеграм» и «Тинькофф Пульс». Индекс RSMI включает количественные (число публикаций в отношении каждой компании) и качественные (реакции инвесторов) характеристики, позволяющие определить реальное влияние той или иной публикации на инвесторов. С использованием индекса RSMI построены модели прогнозирования цен акций российских компаний методами регрессии «лассо» (lasso), «случайного леса», градиентного бустинга, экстремального градиентного бустинга, ансамблевого обучения и рекуррентной нейронной сетью (LSTM). Показано, что для акций широкой выборки индикаторы технического анализа и рыночные мультипликаторы играют большую роль в построении прогнозов изменения доходности акций на часовых данных. Хотя добавление индекса сентимента и позволяет улучшить результаты прогнозирования доходности для акций широкой выборки, это не дает значительного улучшения предсказательной

способности моделей и показывает разнонаправленные результаты. Наилучшие результаты добавление индекса сентимента в прогнозные модели показывает для топ-15 наиболее обсуждаемых российских компаний. Для отдельных моделей удалось добиться среднего снижения ошибок на 4,9%, а для отдельных компаний более чем на 10% уменьшить показатель ошибки MAE и на 20% MSE. Доказано, что на динамику доходности акций второго и третьего эшелона российского фондового рынка сентимент частных инвесторов на часовых данных не оказывает существенного влияния, а добавление индекса сентимента не позволяет улучшить результаты прогнозных моделей.

**Ключевые слова:** акции, фондовый рынок, машинное обучение, сентимент инвесторов.

**Классификация JEL:** E44, G12, G14.

**УДК:** 336.763.2.

Для цитирования: **Хазиев Г.А., Соколова Т.В.** (2025). Прогнозирование доходности российских акций на основе анализа сентимента инвесторов в социальных сетях // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 95–108. DOI: 10.31857/S0424738825010095

Поступила в редакцию 26.04.2024

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Теплова Т.В., Соколова Т.В., Томтосов А.Ф., Бучко Д.В., Никулин Д.Д.** (2022). Сентимент частных инвесторов в объяснении различий в биржевых характеристиках акций российского рынка // *Журнал Новой экономической ассоциации*. № 1 (53). С. 53–84. [Теплова Т.В., Sokolova T.V., Tomtosov A.F., Buchko D.V., Nikulin D.D. (2022). The sentiment of private investors in explaining the differences in the trade characteristics of the Russian market stocks. *Journal of the New Economic Association*, 1 (53), 53–84 (in Russian).]
- Agrawal T.J., Sehgal S., Vasishth V.** (2020). Firm attributes, corporate fundamentals and investment strategies: An empirical study for Indian stock market. *Management and Labour Studies*, 45 (3), 366–387. DOI: 10.1177/0258042X20927995
- Ahmed D., Neema R., Visqanadha N.** (2022). Analysis and prediction of healthcare sector stock price using machine learning techniques: Healthcare stock analysis. *International Journal of Information System Modeling and Design*, 13, 9, 1–15. DOI: 10.4018/IJISMD.303131
- Aslim M.F., Firmansyah G., Tjahjono B., Akbar H., Widodo A.M.** (2024). Utilization of LSTM (Long Short Term Memory) based sentiment analysis for stock price prediction. *Asian Journal of Social & Humanities*, 1, 12, 1241–1255. DOI: 10.59888/ajosh.v1i12.141
- Audrino F., Sigrist F., Ballinari D.** (2020). The impact of sentiment and attention measures on stock market volatility. *International Journal of Forecasting*, 36, 2, 334–357.
- Baker M., Wurgler J.** (2007). Investor sentiment in the stock market. *Journal of Economic Perspectives*, 21, 2, 129–152.
- Basu S.** (1983). The relationship between earnings yield, market value and return for NYSE Common Stocks. *Journal of Financial Economics*, 12, 129–156. DOI: 10.1016/0304-405X(83)90031-4
- Bui D.G., Kong D.-R., Lin C.-Y., Lin T.-C.** (2023). Momentum in machine learning: Evidence from the Taiwan stock market. *Pacific-Basin Finance Journal*, 82. Article 102178. DOI: 10.1016/j.pacfin.2023.102178
- Cai Y., Tang Z., Chen Y.** (2024). Can real-time investor sentiment help predict the high frequency stock returns? Evidence from a mixed-frequency-rolling decomposition forecasting method. *North American Journal of Economics & Finance*, 72. Article 102147. DOI: 10.1016/j.najef.2024.102147
- Chen S., Ge L.** (2019). Exploring the attention mechanism in LSTM-based Hong Kong stock price movement prediction. *Quantitative Finance*, 19, 9, 1507–1515.

- Chong E., Han C., Park F.C.** (2017). Deep learning networks for stock market analysis and prediction: Methodology, data representations, and case studies. *Expert Systems with Applications*, 83, 187–205.
- Fama E.F.** (1965). The behavior of stock-market prices. *Journal of Business*, 38, 34, Article 105.
- Gao B., Xie J.** (2020). Forecasting excess returns and abnormal trading, using investor sentiment: Evidence from Chinese stock index futures market. *Emerging Markets Finance and Trade*, 56, 3, 593–612.
- Gao Y., Zhao C., Sun B., Zhao W.** (2022). Effects of investor sentiment on stock volatility: New evidences from multi-source data in China's green stock markets. *Financial Innovation*, 8, Article 77.
- Gu C., Kurov A.** (2020). Informational role of social media: Evidence from Twitter sentiment. *Journal of Banking & Finance*, 121, Article 105969.
- Gupta R., Nel J., Pierdzioch C.** (2023). Investor confidence and forecastability of US stock market realized volatility: Evidence from machine learning. *Journal of Behavioral Finance*, 24, 1, 111–122.
- Li T., Chen H., Liu W., Yu G., Yu Y.** (2023). Understanding the role of social media sentiment in identifying irrational herding behavior in the stock market. *International Review of Economics & Finance*, 87, 163–179. DOI: 10.1016/j.iref.2023.04.016
- Li Y., Bu H., Li J., Wu J.** (2020). The role of text-extracted investor sentiment in Chinese stock price prediction with the enhancement of deep learning. *International Journal of Forecasting*, 36 (4), 1541–1562.
- Liang C., Tang L., Li Y., Wei Y.** (2020). Which sentiment index is more informative to forecast stock market volatility? Evidence from China. *International Review of Financial Analysis*, 71, Article 101552.
- Lin P., Ma S., Fildes R.** (2024). The extra value of online investor sentiment measures on forecasting stock return volatility: A large-scale longitudinal evaluation based on Chinese stock market. *Expert Systems with Applications*, 238, Article 121927. DOI: 10.1016/j.eswa.2023.121927
- Liu J.-X., Leu J.-S., Holst S.** (2023). Stock price movement prediction based on stocktwits investor sentiment using FinBERT and ensemble SVM. *PeerJ Computer Science*, 9, Article e1403. DOI: 10.7717/peerj-cs.1403
- Liu Q., Lee W.-S., Huang M., Wu Q.** (2023). Synergy between stock prices and investor sentiment in social media. *Borsa Istanbul Review*, 23, 1, 76–92. DOI: 10.1016/j.bir.2022.09.006
- Mili M., Sahut J.-M., Teulon F., Hikkerova L.** (2024). A multidimensional Bayesian model to test the impact of investor sentiment on equity premium. *Annals of Operations Research*, 334, 1–3, 919–39. DOI: 10.1007/s10479-023-05165-0
- Navratil R., Taylor S., Vecer J.** (2021). On equity market inefficiency during the COVID-19 pandemic. *International Review of Financial Analysis*, 77, Article 101820. DOI: 10.1016/j.irfa.2021.101820
- Neely C., Rapach D.E., Tu J., Zhou G.** (2014). Forecasting the equity risk premium: The role of technical indicators. *Management Science*, 60, 7, 1772–1791. DOI: 10.1287/mnsc.2013.1838
- Niu H., Pan Q., Xu K.** (2023). Hybrid deep learning models with multi-classification investor sentiment to forecast the prices of China's leading stocks. *PLOS ONE*, 18, 11, Article e0294460. DOI: 10.1371/journal.pone.0294460
- Ph H., Rishad A.** (2020). An empirical examination of investor sentiment and stock market volatility: evidence from India. *Financial Innovations*, 6, Article 34.
- Phuoc T., Anh P.T.K., Tam P.H., Nguyen C.V.** (2024). Applying machine learning algorithms to predict the stock price trend in the stock market – The case of Vietnam. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, Article 393. DOI: 10.1057/s41599-024-02807-x

- Sarkar A., Chakraborty S., Ghosh S., Naskar S.K.** (2022). Evaluating impact of social media posts by executives on stock prices. *FIRE '22: Proceedings of the 14th Annual Meeting of the Forum for Information Retrieval Evaluation*, 74–82. DOI: 10.1145/3574318.3574339
- Shiller R.J.** (2003). From efficient markets theory to behavioral finance. *Journal of Economic Perspectives*, 17, 83, Article 104.
- Tallboys J., Zhu Y., Rajasegarar S.** (2022). Identification of stock market manipulation with deep learning. In: *International Conference on Advanced Data Mining and Applications*, 408–420. Cham: Springer.
- Teplova T., Tomtosov A., Sokolova T.** (2022). A retail investor in a cobweb of social networks. *PLOS ONE*, 17, 12, Article e0276924.
- Uslu N.C., Akal F.** (2021). A machine learning approach to detection of trade-based manipulations in Borsa Istanbul. *Computational Economics*, 60, 1, 25–45.
- Wang G., Yu G., Shen X.** (2020). The effect of online investor sentiment on stock movements: An LSTM approach. *Complexity*, 1-11, Article 4754025.
- Xu L., Xue C., Zhang J.** (2024). The impact of investor sentiment on stock liquidity of listed companies in China. *Investment Management and Financial Innovations*, 21, 2, 1–14
- Xu Q., Wang L., Jiang C., Zhang X.** (2019). A novel UMIDAS-SVQR model with mixed frequency investor sentiment for predicting stock market volatility. *Expert Systems with Applications*, 132, 12–27.

\* \* \*

Э. Ахмедов, К.К. Фурманов **Измерение ранжирующей способности модели стохастической границы с усеченным нормальным распределением неэффективности**

Э. Ахмедов,  
ФИЦ ИУ РАН, Москва; e-mail: aheldar@mail.ru

К.К. Фурманов,  
ЦЭМИ РАН, Москва; e-mail: furmach@menja.net

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 24-21-00494) «Математическое моделирование планирования инвестиций с целью роста производства в условиях меняющейся конъюнктуры» (<https://rscf.ru/en/project/24-21-00494/>).

Работа Э. Ахметова над разделами «Модель стохастической границы и коэффициент Харрелла» и «Коэффициент Харрелла при усеченном нормальном распределении неэффективностей» поддержана Российского научного фонда (грант 24-21-00494).

**Аннотация.** Модель стохастической границы — регрессионная модель, в которой объясняемой величиной выступает выпуск предприятия или его издержки, а необъясненная вариация выпуска (издержек) разделяется на две составляющие: стохастический шок и неэффективность, моделируемые случайными величинами с разными законами распределения. Модель позволяет получить оценки неэффективности отдельных предприятий и отраслей в целом, очищенные от влияния стохастических шоков. В настоящий момент она является одним из основных эконометрических инструментов анализа эффективности и продуктивности. Рассматривается задача измерения точности оценок неэффективности предприятий, полученных с помощью модели стохастической границы с усеченным нормальным распределением неэффективности. В качестве характеристики точности используется коэффициент Харрелла, измеряющий согласованность ранжировок оцененных и истинных показателей неэффективности. Выводится формула для расчета асимптотического коэффициента Харрелла, в которой коэффициент согласованности ставится в зависимость от параметров распределения случайных ошибок модели: стохастических шоков и неэффективностей. На основании этой формулы исследователь может измерить ранжирующую способность модели стохастической границы, подставляя вместо неизвестных параметров модели их оценки. Результат расчетов легко интерпретируется: значение коэффициента Харрелла равно вероятности, с которой модель правильно выбирает более эффективное

предприятие из двух случайно отобранных. Применение формулы демонстрируется на исторических данных об эффективности хлопкоперерабатывающих заводов СССР. Полученный результат представляется полезным как для академических исследователей, так и для регулирующих органов.

**Ключевые слова:** стохастическая граница, ранжирование, неэффективность, коэффициент Харрелла.

**Классификация JEL:** C2, C52.

**УДК:** 51-77.

Для цитирования: **Ахмедов Э., Фурманов К.К.** (2025). Измерение ранжирующей способности модели стохастической границы с усеченным нормальным распределением неэффективности // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 109–117. DOI: 10.31857/S0424738825010107

Поступила в редакцию 03.06.2024

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айвазян С.А., Афанасьев М.Ю., Руденко В.А.** (2014). Оценка эффективности регионов РФ на основе модели производственного потенциала с характеристиками готовности к инновациям // *Экономика и математические методы*. Т. 50. № 4. С. 34–70. [Aivazian S.A., Afanasiev M.Yu., Rudenko V.A. (2014). Efficiency estimation of Russian regions based on the productive potential model including the characteristics of readiness to innovate. *Economics and Mathematical Methods*, 50, 4, 34–70 (in Russian).]
- Головань С.В.** (2006). Факторы, влияющие на эффективность российских банков // *Прикладная эконометрика*. Т. 2. С. 3–17. [Golovan S. (2006). Factors influencing the efficiency of Russian banks performance. *Applied Econometrics*, 2, 3–17 (in Russian).]
- Головань С.В., Карминский А.М., Пересецкий А.А.** (2008). Эффективность российских банков с точки зрения минимизации издержек с учетом факторов риска // *Экономика и математические методы*. Т. 44. № 4. С. 28–38. [Golovan S.V., Karminsky A.M., Peresetsky A.A. (2008). Cost efficiency of Russian banks, taking into account the risk factors. *Economics and Mathematical Methods*, 44, 4, 28–38 (in Russian).]
- Ипатов И.Б., Пересецкий А.А.** (2013). Техническая эффективность предприятий отрасли производства резиновых и пластмассовых изделий // *Прикладная эконометрика*. Т. 32. С. 71–92. [Ipatova I., Peresetsky A. (2013). Technical efficiency of Russian plastic and rubber production firms. *Applied Econometrics*, 32, 71–92 (in Russian).]
- Малахов Д.И., Пильник Н.П.** (2013). Методы оценки показателя эффективности в моделях стохастической производственной границы // *Экономический журнал ВШЭ*. Т. 17. № 4. С. 660–686. [Malakhov D., Pilnik N. (2013). Methods of estimating of the efficiency in stochastic frontier models. *HSE Economic Journal*, 17 (4), 660–686 (in Russian).]
- Матеров И.С.** (1981). К проблеме полной идентификации модели стохастических границ производства // *Экономика и математические методы*. Т. 17. № 4. С. 784–788. [Materov I.S. (1981). On full identification of the stochastic production frontier model. *Economics and Mathematical Methods*, 17, 4, 784–788 (in Russian).]
- Никольский И.М., Фурманов К.К.** (2023). Измерение точности ранжировок предприятий по эффективности в модели стохастической границы // *Прикладная эконометрика*. Т. 71. С. 128–142. DOI: 10.22394/1993-7601-2023-71-128-142 [Nikolskiy I.M., Furmanov K.K. (2023). Assessing the accuracy of efficiency rankings obtained from a stochastic frontier model. *Applied Econometrics*, 71, 128–142. DOI: 10.22394/1993-7601-2023-71-128-142 (in Russian).]
- Цветкова А.Н.** (2021). Динамика технической эффективности российских предприятий в 2013–2018 годах // *Прикладная эконометрика*. Т. 63. С. 91–116. DOI: 10.22394/1993-7601-2021-63-91-116 [Tsvetkova A. (2021). Technical efficiency trends of Russian firms

in 2013–2018. *Applied Econometrics*, 63, 91–116. DOI: 10.22394/1993-7601-2021-63-91-116 (in Russian).]

- Щетинин Е.И., Назруллаева Е.Ю.** (2012). Производственный процесс в пищевой промышленности: взаимосвязь инвестиций в основной капитал и технической эффективности // *Прикладная эконометрика*. Т. 28. С. 63–84. [**Shchetynin Ye.I., Nazrullaeva E.Yu.** (2012). Effects of fixed capital investments on technical efficiency in food industry. *Applied Econometrics*, 28, 63–84 (in Russian).]
- Aigner D., Lovell C.A.K., Schmidt P.** (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier function models. *Journal of Econometrics*, 6, 21–37.
- Aleskerov F.T., Belousova V.Yu., Petrushchenko V.V.** (2017). Models of data envelopment analysis and stochastic frontier analysis in the efficiency assessment of universities. *Automation and Remote Control*, 78 (5), 902–923. DOI: 10.1134/S0005117917050125
- Battese G.E., Coelli T.J.** (1988). Prediction of firm-level technical efficiencies: With a generalized frontier production function and panel data. *Journal of Econometrics*, 38, 387–399.
- Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.** (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6). 429–444. DOI: 10.1016/0377-2217(78)90138-8
- Danilin V.I., Materov I.S., Rosefielde S., Lovell C.A.K.** (1985). Measuring enterprise efficiency in the Soviet Union: A stochastic frontier analysis. *Economica*, 52 (206), 225–233.
- Farrell M.J.** (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society/ Series A (General)*, 120, 253–290.
- Greene W.H.** (1990). A gamma-distributed stochastic frontier model. *Journal of Econometrics*, 46, 141–163. DOI: 10.1016/0304-4076(90)90052-U
- Greene W.H.** (2002). *Econometric analysis*. 5<sup>th</sup> ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Haney A.B., Pollitt M.G.** (2013). International benchmarking of electricity transmission by regulators: A contrast between theory and practice. *Energy Policy*, 62, 267–281.
- Harrell F.E., Califf R.M., Pryor D.B., Lee K.L., Rosati R.A.** (1982). Evaluating the yield of medical tests. *Journal of the American Medical Association*, 247, 2543–2546.
- Horrace W.C., Schmidt P.** (1996). Confidence statements for efficiency estimates from stochastic frontier models. *Journal of Productivity Analysis*, 7, 257–282.
- Horrace W.C., Seth R.-S., Wright I.** (2015). Expected efficiency ranks from parametric stochastic frontier models. *Empirical Economics*, 48, 2, 829–848. DOI: 10.1007/s00181-014-0808-8
- Jamasb T., Pollitt M.** (2000). Benchmarking and regulation: International electricity experience. *Utilities Policy*, 9 (3), 107–130.
- Jondrow J., Lovell C.A.K., Materov I.S., Schmidt P.** (1982). On the estimation of technical inefficiency in stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics*, 19, 233–239.
- Kirjavainen T.** (2012). Efficiency of Finnish general upper secondary schools: An application of stochastic frontier analysis with panel data. *Education Economics*, 20 (4), 343–364.
- Meeusen W., Broeck J. van den** (1977). Efficiency estimation from Cobb–Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18 (2), 435–444.
- Newson R.** (2002). Parameters behind “nonparametric” statistics: Kendall’s tau, Somers’ D and median differences. *Stata Journal*, 2, 45–64.
- Stevenson R.E.** (1980). Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation. *Journal of Econometrics*, 13, 57–66.
- Winsten C.B.** (1957). Discussion on Mr. Farrell’s paper. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120, 282–284.

**И.А. Лесик, А.Г. Перевозчиков, П.А. Юдина Динамическая модель рынка разработки программного обеспечения на основе задачи о быстродействии без прерываний в теории расписаний**

**И.А. Лесик,**

ООО «Брейнхаб Групп», Тверь; e-mail: info@brainhub-group.ru

**А.Г. Перевозчиков,**

НПО «РусБИТех», Москва; e-mail: pere501@yandex.ru

**П.А. Юдина,**

НПО «РусБИТех», Тверь; e-mail: yud\_19@mail.ru

**Аннотация.** Предлагается постановка дискретной динамической модели рынка разработки программного обеспечения с последствием на основе задачи о быстродействии без прерываний в теории расписаний. В отличие от существующей задачи о быстродействии в нашей модели прерываний не допускаются. В результате такая задача становится NP-трудной даже в случае двух обслуживающих приборов, что приводит к необходимости использовать метод ветвей и границ в полученной дискретной динамической задаче с последствием в сочетании с точной формулой для наименьшего времени выполнения расписания с прерываниями для определения нижних оценок критерия в промежуточных узлах поискового орграфа. Известна теорема, что в задаче о рюкзаке эpsilon-версия метода ветвей и границ является полиномиальной со степенью полинома, обратно пропорциональной эpsilon. Возникает гипотеза, что это верно и для нашей задачи. Для проверки гипотезы проведен статистический эксперимент, когда параметры выбираются при помощи датчика случайных чисел, а размерность монотонно увеличивается. Кривизна графика числа раскрытых вершин от размерности в логарифмическом масштабе позволяет судить о полиномиальности или экспоненциальности эpsilon-версии метода ветвей и границ в нашей задаче. Показано, что хотя приближенный алгоритм как раз и оказался экспоненциальным, но относительное число раскрываемых вершин убывает очень быстро, что свидетельствует о его практической эффективности.

**Ключевые слова:** теория расписаний, задача о быстродействии, отсутствие прерываний, метод ветвей и границ, нижние оценки критерия.

**Классификация JEL:** O12, C51.

**УДК:** 519.7.

Для цитирования: **Лесик И.А., Перевозчиков А.Г., Юдина П.А.** (2024). Динамическая модель рынка разработки программного обеспечения на основе задачи о быстродействии без прерываний в теории расписаний // *Экономика и математические методы*. Т. 60. № 4. С. 118–124. DOI: 10.31857/S0424738825010119

Поступила в редакцию 20.03.2024

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- Васин А.А., Григорьева О.М., Цыганов Н.И.** (2017). Оптимизация транспортной системы энергетического рынка // *Доклады Академии наук*. Т. 475. № 4. С. 377–381. [**Vasin A.A., Grigor'eva O.M., Cyganov N.I.** (2017). Optimization of the transport system of the energy market. *Reports of the Russian Academy of Sciences (Doklady Akademii Nauk)*, 475, 4, 377–381 (in Russian).]
- Васин А.А., Морозов В.В.** (2005). *Теория игр и модели математической экономики*. М.: МАКС Пресс. [**Vasin A.A., Morozov V.V.** (2005). *Game theory and models of mathematical economics*. Moscow, MAKS Press (in Russian).]
- Кривулин Н.К.** (2009). *Методы идемпотентной алгебры в задачах моделирования и анализа сложных систем*. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та. 256 с. [**Krivulin N.K.** (2009). *Methods of idempotent algebra in problems of modeling and analysis of complex systems*. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University. 256 p. (in Russian).]

- Кривулин Н.К., Губанов С.А.** (2021). Алгебраическое решение задачи оптимального планирования сроков проекта в управлении проектами // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия*. Т. 8. Вып. 1. С. 73–87. [**Krivulin N.K., Gubanov S.A.** (2021). An algebraic solution to the problem of optimal planning of project deadlines in project management. *Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy*, 8, 1, 73–87 (in Russian).]
- Кривулин Н.К., Романовский И.В.** (2017). Решение задач математического программирования с использованием методов тропической оптимизации // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Математика. Механика. Астрономия*. Т. 4 (62). Вып. 3. С. 7–9. [**Krivulin N.K., Romanovsky I.V.** (2017). Solving problems of mathematical programming using methods of tropical optimization. *Vestnik of Saint Petersburg University. Mathematics. Mechanics. Astronomy*, 4 (62), 3, 7–9 (in Russian).]
- Перевозчиков А.Г., Лесик И.А.** (2014). Нестационарная модель инвестиций в основные средства предприятия // *Прикладная математика и информатика: труды факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова*. № 46. С. 76–88. Под ред. В.И. Дмитриева. М.: МАКС Пресс. [**Perevozchikov A.G., Lesik I.A.** (2014). Non-stationary model of investment in fixed assets of the enterprise. *Computational Mathematics and Informatics: Proceedings of the Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics at Lomonosov Moscow State University*, 46, 76–88. V.I. Dmitriev (ed.). Moscow: MAKS Press (in Russian).]
- Перевозчиков А.Г., Лесик И.А.** (2016). Определение оптимальных объемов производства и цен реализации в линейной модели многопродуктовой монополии // *Экономика и математические методы*. Т. 52. № 1. С. 140–148. [**Perevozchikov A.G., Lesik I.A.** (2016). Determination of optimal production volumes and sales prices in a linear model of a multi-product monopoly. *Economics and Mathematical Methods*, 52, 1, 140–148 (in Russian).]
- Перевозчиков А.Г., Лесик И.А.** (2020). Динамическая модель инвестиций в научные исследования олигополии // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 2. С. 101–113. [**Perevozchikov A.G., Lesik I.A.** (2020). A dynamic model of investment in scientific research of an oligopoly. *Economics and Mathematical Methods*, 56, 2, 101–113 (in Russian).]
- Перевозчиков А.Г., Лесик И.А.** (2021). Динамическая модель разработки программного обеспечения на основе задачи о назначении на узкие места // *Экономика и математические методы*. Т. 56. № 4. С. 108–116. [**Perevozchikov A.G., Lesik I.A.** (2021). A dynamic model of software development market based on the assignment problem on pain points. *Economics and Mathematical Methods*, 56, 4, 108–116 (in Russian).]
- Перевозчиков А.Г., Лесик И.А.** (2023). Сведение динамической модели рынка разработки программного обеспечения к блочной задаче выпуклого программирования // *Экономика и математические методы*. Т. 59. № 1. С. 119–130. [**Perevozchikov A.G., Lesik I.A.** (2023). Reducing the dynamic model of the software development market to a block problem of convex programming. *Economics and Mathematical Methods*, 59, 1, 119–130 (in Russian).]
- Танаев В.С., Гордон В.С., Шафранский Я.М.** (1984). *Теория расписаний. Одностадийные системы*. М.: Наука. [**Tanaev V.S., Gordon V.S., Shafransky Y.M.** (1984). *Scheduling theory. Single-stage systems*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струевич В.А.** (1989). *Теория расписаний. Многостадийные системы*. М.: Наука. [**Tanaev V.S., Sotskov Y.N., Strusevich V.A.** (1989). *Scheduling theory. Multistage systems*. Moscow: Nauka (in Russian).]
- Устюжанина Е.В., Дементьев В.Е., Евсюков С.Г.** (2021). Трансакционные цифровые платформы: задача обеспечения эффективности // *Экономика и математические методы*. Т. 57. № 1. С. 5–18. [**Ustyuzhanina E.V., Dementiev V.E., Evsyukov S.G.**

(2021). Digital transaction platforms: Ensuring their efficiency. *Economics and Mathematical Methods*, 57, 1, 5–18 (in Russian).]

**Ding X., K. Ding, P.Wang, Gibbons B., ZhangX.** (2012). BWS: Balanced work stealing for time-sharing multicores. *Proceedings of the 7<sup>th</sup> ACM European Conference on Computer Systems. EuroSys*, 12. N.Y., 365–378.

\* \* \*

**Т.Р. Кильматов** Динамическая модель экономического роста с учетом задержек между формированием и использованием человеческого капитала

**Т.Р. Кильматов,**

МГУ им. адмирала Г.И. Невельского; ДВФУ, Владивосток; e-mail: [talgat\\_k@mail.ru](mailto:talgat_k@mail.ru)

**Аннотация.** В рамках макроэкономической динамической модели типа Солоу с учетом накопленного человеческого капитала построена математическая модель, в которой учитывается временная задержка между формированием человеческого капитала (время обучения) и его выходом на рынок труда. Предполагается, что участвующий в настоящее время в экономике человеческий капитал сформирован в предшествующее время. Динамическая модель содержит дифференциальное уравнение с отклоняющимся аргументом, имитирующим временные задержки. Построены частные аналитические решения в приближении малого параметра. Анализ решений показывает, что экономический эффект временной задержки между формированием и вовлечением в экономику человеческого капитала меняет темпы роста интенсивных параметров экономического агента. Наиболее интересен обсуждаемый фактор по разности воздействия на развитые и развивающиеся страны вследствие их различия по параметрам динамики роста населения и прогресса технологий. Экономические агенты, имеющие опережающие темпы роста численности населения, при прочих равных условиях имеют худшие интенсивные показатели для накопления человеческого капитала. Одновременно, экономические агенты с более высоким уровнем технологий получают преимущество для формирования человеческого капитала. Таким образом, рассматриваемый временной эффект может являться дивергентным фактором в темпах технологического развития между развитыми и бедными странами, поскольку в развивающихся странах наблюдается ускоренный рост населения. Одновременно эти страны являются вторичными в разработке новых технологий.

**Ключевые слова:** макроэкономическая динамическая модель, человеческий капитал, временные задержки, дифференциальные уравнения с отклоняющимися переменными.

**Классификация JEL:** 531 CO2, C39.

**УДК:** 334.01.

Для цитирования: **Кильматов Т.Р.** (2025). Динамическая модель экономического роста с учетом задержек между формированием и использованием человеческого капитала // *Экономика и математические методы*. Т. 61. № 1. С. 125–128. DOI: 10.31857/S0424738825010122

Поступила в редакцию 03.05.2024

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**Бекларян Л.А.** (2007). *Введение в теорию функционально-дифференциальных уравнений. Групповой подход*. М.: Факториал Пресс. 288 с. [**Beklaryan L.A.** (2007). *The introduction to the theory of functional differential equations. Group approach*. Moscow: Factorial Press. 288 p. (in Russian).]

**Кильматов Т.Р.** (2013). Временной лаг как фактор потери устойчивости экономической системы // *Экономика и математические методы*. 2013. № 49 (3). С. 120–122. [**Kilmatov T.R.** (2013). Time lag and the instability of a business system. *Economics and Mathematical Methods*, 49 (3), 120–122 (in Russian).]

**Эльсгольц Л.Э., Норкин С.Б.** (1971). *Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом*. М.: Наука. 296 с. [**Elscolg L.E., Norkin S.B.** (1971).

*The introduction to the theory of differential equations with deviating argument.* Moscow: Nauka. 296 p. (in Russian).]

- Bellman R.** (1949). On the existence and boundedness of solutions differential-difference equations. *Annals of Mathematics*, 50, 2, 347–355. DOI: 10.2307/1969460
- Lucas R.E.** (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22, 1, 3–42.
- Mankiw G., Romer D., Weil D.** (1992). Contribution to the empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107, 2, 407–437. DOI: 10.2307/2118477
- Romer P.** (1989). Human capital and growth: Theory and evidence. *NBER Working paper*, 3173. DOI: 10.3386/w3173
- Romer P.** (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98, 5, 71–102.
- Solow R.M.** (1956). Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70, 1, 65–94.