

JOURNAL

of Applied Economic Research

Vol. **23** No. 3
2024

Journal of Applied Economic Research

Том 23, № 3

2024

Vol. 23, No. 3

Научно-аналитический журнал
Выходит 4 раза в год
Основан в 2002 г.

Scientific and Analytical Journal
Published 4 times per year
Founded in 2002

Учредитель и издатель журнала Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19)	Founder and publisher Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin (19 Mira St., 620002, Ekaterinburg, Russian Federation)
Адрес редакции 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, а/я 10 Тел. +7 (343) 375-97-20 E-mail: vestnikurfu@yandex.ru WEB-SITE: journalaer.ru	Contact information 19 Mira St., 620002, Ekaterinburg, Russian Federation Phone +7 (343) 375-97-20 E-mail: vestnikurfu@yandex.ru WEB-SITE: journalaer.ru
Сетевое издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл № ФС77-78058 от 13 марта 2020 г.	The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications (Roskomnadzor). Registration Certificate Эл № ФС77-78058 from March 13, 2020
В период 2002–2010 гг. журнал выходил с названием «Вестник УГТУ–УПИ. Серия экономика и управление» В период 2011–2019 гг. журнал выходил с названием «Вестник УрФУ. Серия экономика и управление»	In 2002–2010, it was published under the name: «Bulletin of Ural State Technical University. Series Economics and Management» In 2011–2019, it was published under the name: «Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management»
Журнал рекомендован ВАК России для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора экономических наук Журнал включен в Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science Журнал включен в ядро Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)	Approved by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia for publishing key research findings of PhD and Doctoral dissertations in economics Included in Russian Science Citation Index (RSCI) on Web of Science Platform Included in the core of the Russian Science Citation Index
Главной целью журнала является публикация оригинальных экономических исследований отечественных и зарубежных ученых с понятной исследовательской методологией и результатами, имеющими прикладной экономический характер	The main goal of the journal is to publish original economic research of domestic and foreign scientists with a clear research methodology and results that have an applied economic nature

Journal of Applied Economic Research

Том 23, № 3

2024

Vol. 23, No. 3

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Главный редактор

МАЙБУРОВ Игорь Анатольевич (д-р экон. наук, проф., Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия)

Заведующий редакцией

КАЛИНА Алексей Владимирович (канд. техн. наук, доц., Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия)

Члены редакционной коллегии

БАЛАЦКИЙ Евгений Всеволодович (д-р экон. наук, проф., Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия)

БЕЛОВ Андрей Васильевич (д-р экон. наук, проф., Университет префектуры Фукуи, г. Фукуи, Япония)

ВИСМЕТ Ханс Михаэль (PhD, проф., Дрезденский технический университет, г. Дрезден, Германия)

ГРИНБЕРГ Руслан Семенович (чл.-корр. РАН, д-р экон. наук, проф., Институт экономики РАН, г. Москва, Россия)

КАДОЧНИКОВ Сергей Михайлович (д-р экон. наук, проф., Высшая школа экономики, г. Санкт-Петербург, Россия)

КАУФМАНН Ханс Рудигер (PhD, проф., Высшая школа менеджмента, г. Манхайм, Германия; Университет Никосии, г. Никосия, Кипр)

КЛЕЙНЕР Георгий Борисович (чл.-корр. РАН, д-р экон. наук, проф., Центральный экономико-математический институт РАН, г. Москва, Россия)

КИРЕЕВА Елена Федоровна (д-р экон. наук, проф., Белорусский государственный экономический университет, г. Минск, Беларусь)

КРИВОРОТОВ Вадим Васильевич (д-р экон. наук, проф., Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия)

ЛАВРИКОВА Юлия Георгиевна (д-р экон. наук, проф., Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия)

МАГАРИЛ Елена Роменовна (д-р техн. наук, проф., Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия)

МУЛЕЙ Матиаж (д-р экон. наук, проф., Университет Марибора, г. Марибор, Словения)

ПОПОВ Евгений Васильевич (чл.-корр. РАН, д-р экон. наук, д-р физ.-мат. наук, проф., Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Екатеринбург, Россия)

ТОЛМАЧЕВ Дмитрий Евгеньевич (канд. экон. наук, доц., Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия)

ФАНЬ Юн (PhD, проф., Центральный университет экономики и финансов, г. Пекин, Китай)

ШАСТИТКО Андрей Евгеньевич (д-р экон. наук, проф., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия)

Journal of Applied Economic Research

Tom 23, № 3

2024

Vol. 23, No. 3

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief

Igor A. MAYBUROV, Doctor of Economics, Professor, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Head of the Publishing Office

Alexei V. KALINA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Members of Editorial Board

Evgeny V. BALATSKY, Doctor of Economics, Professor, The Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Andrey V. BELOV, Doctor of Economics, Professor, Fukui Prefectural University, Fukui, Japan

Yong FAN, PhD, Professor, Central University of Finance and Economics, Beijing, China

Ruslan S. GRINBERG, Corresponding Member of RAS, Doctor of Economics, Professor, Institute of Economics of RAS, Moscow, Russia

Sergei M. KADOCHNIKOV, Doctor of Economics, Professor, Higher School of Economics, Saint Petersburg, Russia

Hans R. KAUFMANN, PhD, Professor, Higher School of Management, Mannheim, Germany; University of Nicosia, Nicosia, Cyprus

Elena F. KIREEVA, Doctor of Economics, Professor, Belarus State Economic University, Minsk, Belarus

Georgy B. KLEYNER, Corresponding Member of RAS, Doctor of Economics, Professor, Central Economics and Mathematical Institute RAS, Moscow, Russia

Vadim V. KRIVOROTOV, Doctor of Economics, Professor, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Yulia G. LAVRIKOVA, Doctor of Economics, Professor, Institute of Economics, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

Elena R. MAGARIL, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Matjaz MULEJ, Doctor of Economics, Professor, University of Maribor, Maribor, Slovenia

Evgeny V. POPOV, Corresponding Member of RAS, Doctor of Economics, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Ekaterinburg, Russia

Andrei E. SHASTITKO, Doctor of Economics, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Dmitry E. TOLMACHEV, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Hans M. WIESMETH, PhD, Professor, Technical University of Dresden, Dresden, Germany

Содержание

MACROECONOMIC APPLIED RESEARCH

Факторы влияния на ожидаемую продолжительность жизни в странах с низким уровнем дохода: панельный анализ данных	
<i>Э. Т. Газилас</i>	580
Экономическая глобализация, возобновляемые источники энергии и выбросы CO₂ в отдельных странах с формирующейся рыночной экономикой	
<i>К. Шодрокова, А. Юлианита, А. Башир</i>	602
Оценка влияния инфраструктуры на налоговую структуру и улучшение экономических показателей: пример Нигерии	
<i>О. А. Оланийи, А. М. Адеканмби, С. А. Опадеджи, А. Д. Шалли</i>	623
Факторы энергоперехода компаний обрабатывающей промышленности с учетом их включенности в глобальные цепочки создания стоимости	
<i>М. Г. Кузык, Л. С. Ружанская</i>	642

MESOECONOMIC APPLIED RESEARCH

Прогнозирование экономического роста Свердловской области: сравнительный анализ машинного обучения, линейной регрессии и авторегрессионных моделей	
<i>Д. М. Балунгу, А. Кумар</i>	674
Комплексная эколого-экономическая оценка низкоуглеродных источников энергии	
<i>Д. Ю. Двинин, А. Ю. Даванков</i>	696
Моделирование функциональных связей региональных экономических систем по малым выборкам на основе байесовских интеллектуальных измерений	
<i>Р. А. Жуков, С. В. Прокопчина, М. А. Плинская, М. А. Желунчина</i>	721
Влияние межрегиональных пространственных эффектов на экономическое развитие регионов России	
<i>П. А. Попова, Т. В. Букина, Д. В. Кашин</i>	751
Оценка рисков банкротства развивающихся портовых отраслей Китая: моделирование и раннее предупреждение	
<i>Ван Ин, И. А. Майбуrows, Ю. В. Леонтьева</i>	776

MICROECONOMIC APPLIED RESEARCH

Компании с акциями разных типов: мировой опыт и российская практика	
<i>А. А. Муравьев, Н. С. Телятников</i>	801
Нематериальные активы и доходность акций США: анализ с использованием индексного метода, панельной регрессии и машинного обучения	
<i>А. Ханиев</i>	833
Влияние характеристик топ-менеджеров на инновационную активность ведущих мировых фармацевтических компаний	
<i>Н. А. Толстов, А. А. Князев</i>	855

Contents

MACROECONOMIC APPLIED RESEARCH

Factors Influencing Life Expectancy in Low-Income Countries: A Panel Data Analysis <i>Emmanouil Taxiarchis Gazilas</i>	580
Economic Globalization, Renewable Energy, and CO₂ Emissions in Selected Emerging Countries <i>Xenaneira Shodroкова, Anna Yulianita, Abdul Bashir</i>	602
Assessing the Impact of Infrastructure on Tax Structure and Improving Economic Performance: The Case of Nigeria <i>Oladimeji Abee Olaniyi, Adewale Mathew Adekanmbi, Samson Adegboyega Opadeji, Amos Dauda Shallie</i>	623
Factors of Energy Transition of Manufacturing Companies Regarding their Inclusion in Global Value Chains <i>Mikhail G. Kuzyk, Liudmila S. Ruzhanskaya</i>	642

MESOECONOMIC APPLIED RESEARCH

Forecasting The Economic Growth of Sverdlovsk Region: A Comparative Analysis of Machine Learning, Linear Regression and Autoregressive Models <i>Daniel Musafiri Balungu, Avinash Kumar</i>	674
Comprehensive Environmental and Economic Assessment of Low-Carbon Energy Sources <i>Dmitry Y. Dvinin, Alexey Y. Davankov</i>	696
Modeling of Functional Relationships of Regional Economic Systems Based on Small Samples Based on Bayesian Intelligent Measurements <i>Roman A. Zhukov, Svetlana V. Prokopchina, Maria A. Plinskaya, Maria A. Zhelunitsina</i>	721
Influence of Interregional Spatial Effects on the Economic Development of Russian Regions <i>Polina A. Popova, Tatiana V. Bukina, Dmitriy V. Kashin</i>	751
Assessing the Bankruptcy Risks of China's Emerging Port Industries: Modeling and Early Warning <i>Wang Ying, Igor A. Mayburov, Yulia V. Leontyeva</i>	776

MICROECONOMIC APPLIED RESEARCH

Dual Class Stock Companies: Global Experience and Russian Practice <i>Alexander A. Muravyev, Nikolay S. Telyatnikov</i>	801
Intangible Assets and US Stock Returns: An analysis using the Index Method, Panel Regression, and Machine Learning <i>Adil Haniev</i>	833
Influence of Top Management Characteristics on the Innovative Development of the World's Top Companies in the Pharmaceutical Industry <i>Nikita A. Tolstov, Andrey A. Knyazev</i>	855

Factors Influencing Life Expectancy in Low-Income Countries: A Panel Data Analysis

Emmanouil Taxiarchis Gazilas  

*University of Piraeus,
Piraeus, Greece*

 mgazilas@unipi.gr

Abstract. Understanding the factors influencing life expectancy in low-income countries is crucial for formulating effective health and economic policies. This study aims to explore the determinants of life expectancy in these countries by analyzing panel data from 2004 to 2021. The hypothesis posits that economic indicators, healthcare expenditure, and agricultural land significantly affect life expectancy, while high HIV prevalence negatively impacts it. The research procedure involved using Ordinary Least Squares (OLS) regression analysis with life expectancy at birth as the dependent variable and GDP per capita (PPP, constant 2021 international \$), government health expenditure per capita (current international \$), agricultural land (% of land area), HIV prevalence (% of population ages 15–49), and current health expenditure per capita (current international \$) as independent variables. The main results indicate that GDP per capita, government health expenditure, and agricultural land positively influence life expectancy, highlighting the importance of economic growth, healthcare investment, and food security. In contrast, HIV prevalence has a significant negative effect on life expectancy, underscoring the health burden of the epidemic. Statistical tests for heteroskedasticity and normality reveal some deviations, but the robustness of the analysis is maintained through appropriate econometric techniques. Theoretically, this study contributes to the literature by providing a nuanced understanding of how economic and health-related factors interact to affect life expectancy in low-income countries. Practically, the findings suggest that policies aimed at boosting economic growth, increasing healthcare spending, improving agricultural practices, and addressing HIV/AIDS are vital for enhancing life expectancy. This research offers valuable insights for policymakers in low-income countries striving to improve population health outcomes.

Key words: life expectancy; low-income countries; health expenditure; GDP per capita; HIV prevalence.

JEL O11, I15, H51, I31

1. Introduction

Life expectancy at birth serves as a critical indicator of a population's overall health and well-being, reflecting the average lifespan of individuals within a given country or region. In low-income countries, where health disparities and socioeconomic challenges are often pronounced, understanding the determinants of life expectancy is of paramount importance for policymakers, healthcare professionals, and

development practitioners. Improvements in life expectancy not only signify advancements in healthcare and public health interventions but also reflect broader socioeconomic progress and development.

This study investigates the factors influencing life expectancy at birth in 19 low-income countries over the period from 2004 to 2021. These countries represent diverse regions with varying levels of economic development, healthcare infrastructure,

and social conditions. By analyzing panel data encompassing variables such as GDP per capita, government and current health expenditures, agricultural land percentage, HIV prevalence, and others, this research aims to uncover the complex interplay between economic, health, and environmental factors that shape life expectancy outcomes. The importance of understanding the determinants of life expectancy in low-income countries cannot be overstated. These nations often face formidable challenges such as limited access to healthcare services, inadequate nutrition, high prevalence of infectious diseases, and socioeconomic inequalities. By identifying the key drivers of life expectancy improvements, policymakers can develop targeted interventions and policies to address these challenges effectively.

The central research questions guiding this study are:

RQ1: How do GDP per capita and healthcare expenditure impact life expectancy in low-income countries?

RQ2: What is the role of agricultural land in determining life expectancy?

RQ3: How does the prevalence of HIV affect life expectancy in these regions?

By addressing these questions, the study aims to provide empirical evidence that can inform policy decisions to enhance population health outcomes in low-income countries.

The purpose of this study is to identify and quantify the key determinants of life expectancy in low-income countries. Specifically, the research aims to investigate how economic factors, healthcare expenditures, agricultural practices, and disease prevalence influence life expectancy over time.

Research hypotheses:

H1: The higher GDP per capita, increased government health expenditure, and greater agricultural land area positively affect life expectancy, while higher HIV prevalence negatively impacts it.

H2: The economic growth and healthcare investments are critical for improving

life expectancy, whereas the health burden of HIV remains a significant challenge.

Structure of the article. This paper begins with a review of relevant literature, highlighting previous research on life expectancy determinants and the methodologies employed. Subsequently, the data and methodology section outline the panel dataset used in the analysis and describes the econometric techniques employed to assess the relationships between independent variables and life expectancy. The empirical results section presents the findings of the regression analysis, elucidating the significant determinants of life expectancy in low-income countries. Through this comprehensive analysis, this study aims to contribute to the ongoing discourse on population health and development in low-income countries, ultimately guiding efforts to improve life expectancy and well-being for all.

2. Literature review

A substantial body of literature establishes a strong positive correlation between economic performance, typically measured by GDP per capita, and life expectancy.

Preston [1] was among the first to demonstrate this relationship, showing that higher national income levels are generally associated with longer life spans. This connection is attributed to mechanisms such as improved access to healthcare, better nutrition, and enhanced living conditions that accompany higher income levels.

Bloom & Canning [2] emphasized that economic growth facilitates increased investments in health infrastructure and services, thereby improving health outcomes. Wealthier countries are better positioned to afford advanced medical technologies, comprehensive public health programs, and robust healthcare systems, all of which contribute to higher life expectancy. However, the marginal benefits of increased GDP on life expectancy tend to diminish as countries become wealthier, indicating that oth-

er factors also play significant roles in determining life expectancy.

Pritchett & Summers [3] further examined the relationship between wealth and health, suggesting that income is a powerful determinant of health outcomes. Their analysis indicated that a significant portion of the variance in life expectancy across countries could be explained by differences in income levels.

Deaton [4] echoed this sentiment, arguing that higher income not only improves health through direct spending on healthcare but also through improved living standards and reduced stress levels.

Government health expenditure is another critical determinant of life expectancy. Numerous studies indicate that higher public spending on health correlates with better health outcomes.

Gupta [5] analyzed the impact of public health expenditure on health indicators in developing countries and found that increased government spending significantly improved life expectancy. They suggested that government investment in health infrastructure, preventive care, and health education can substantially enhance population health. In low-income countries, where healthcare systems often suffer from underfunding and inefficiencies, government health expenditure becomes even more vital.

Sachs [6] highlighted the importance of public health investment in combating infectious diseases and reducing mortality rates. Targeted government spending on health programs, especially those focusing on maternal and child health, can lead to substantial improvements in life expectancy.

Bokhari [7] conducted a cross-country analysis that confirmed the positive impact of public health expenditure on health outcomes. They found that an increase in public health spending was associated with a decrease in child and maternal mortality, underscoring the critical role of government intervention in health.

This finding was supported by Anyanwu [8], who demonstrated that government health expenditure significantly reduced infant mortality rates in African countries.

Current health expenditure per capita, encompassing both public and private spending on health services, is a direct measure of resources devoted to healthcare. Studies consistently show that higher health expenditure is associated with better health outcomes and increased life expectancy.

Novigon et al. [9] conducted a cross-country analysis in sub-Saharan Africa and found that health expenditure significantly improved life expectancy and reduced mortality rates. They argued that increased spending on health services leads to better healthcare delivery, more effective disease prevention, and improved health infrastructure. However, the effectiveness of health expenditure depends on resource utilization efficiency.

Farag et al. [10] emphasized that merely increasing health spending is not sufficient; the quality of spending matters. Health expenditure should be targeted towards primary healthcare, preventive services, and health system strengthening to achieve optimal outcomes. In low-income countries, where healthcare systems are often strained, efficient resource allocation is crucial for maximizing the impact of health expenditure on life expectancy.

Wagstaff [11] emphasized the need for efficient use of health funds, arguing that resources should be allocated based on health needs rather than political considerations. They suggested that prioritizing cost-effective interventions, such as immunizations and maternal health services, can lead to significant improvements in life expectancy.

Rajkumar [12] also highlighted the importance of governance in determining the effectiveness of health expenditure, noting that countries with better governance struc-

tures tend to achieve better health outcomes from their health spending.

The percentage of agricultural land as part of total land area significantly influences life expectancy, particularly in low-income countries where agriculture is central to the economy and livelihoods. Agricultural land availability and utilization affect food security, nutrition, and overall health.

The World Bank [13] highlighted that agricultural productivity and food availability are closely linked to nutritional status, which in turn impacts health outcomes and life expectancy.

Maxwell & Smith [14] explored the relationship between agricultural land use and food security, arguing that access to sufficient and nutritious food is essential for maintaining good health and prolonging life expectancy. They noted that in many low-income countries, subsistence agriculture is a primary source of food, and fluctuations in agricultural productivity can have direct consequences on health and mortality rates. Moreover, the transition from subsistence to commercial agriculture has implications for health and nutrition.

Pingalli [15] discussed the “nutrition transition” in developing countries, where shifts in agricultural practices and diets can lead to improved or deteriorating health outcomes. Policies promoting sustainable agricultural practices, diversified diets, and food security are crucial for enhancing life expectancy in low-income countries.

Bezuneh et al. [16] emphasized that food security is a vital determinant of health, noting that agricultural policies that improve food availability and accessibility can have significant health benefits.

Sahn & Steifel [17] found that improvements in agricultural productivity and food security were associated with better nutritional status and lower mortality rates among children in African countries. Similarly, Alderman et al. [18] demonstrated that food security interventions, such as

school feeding programs and nutrition education, could substantially improve health outcomes and life expectancy.

HIV prevalence remains a significant determinant of life expectancy, particularly in sub-Saharan Africa, where the burden of the disease is highest. The HIV/AIDS epidemic has had a devastating impact on population health, reducing life expectancy and reversing health gains in many affected countries.

Unaid [19] reported that despite progress in combating HIV, the disease continues to pose a major public health challenge, particularly in low-income countries with limited healthcare resources.

Trickey et al. [20] showed that access to antiretroviral therapy (ART) significantly improves the survival of HIV-positive individuals, thereby enhancing life expectancy. They emphasized the importance of early diagnosis, timely treatment, and sustained access to ART in reducing HIV-related mortality and extending life expectancy. However, disparities in access to HIV treatment and healthcare services remain a challenge in many low-income countries, limiting the potential benefits of ART. Moreover, the impact of HIV on life expectancy extends beyond direct mortality. HIV/AIDS affects economic productivity, social stability, and healthcare systems, further exacerbating health disparities and reducing life expectancy.

De Walque [21] highlighted the socioeconomic consequences of HIV, including increased healthcare costs, loss of labor productivity, and heightened poverty levels, all of which contribute to lower life expectancy.

Fox & Rosen [22] discussed the broader implications of HIV on public health, noting that high prevalence rates can strain healthcare systems and divert resources away from other critical health services. They argued that comprehensive HIV programs that include prevention, treatment, and support services are essential for mitigating the impact of HIV on life expectancy.

Bor et al. [23] also emphasized the importance of integrating HIV services with other health programs to enhance overall health outcomes and extend life expectancy.

Anand & Ravallion [26] find that both private incomes and public services significantly improve human development indicators, including life expectancy, in poor countries, highlighting the crucial role of public health services in enhancing life outcomes even when private incomes are low.

Cutler et al. [27] reveal that economic improvements, reductions in infectious diseases, and advancements in medical technology are major determinants of declining mortality rates, with education and income also playing critical roles in increasing life expectancy.

Houweling et al. [28] demonstrate that using different economic indicators can lead to varying conclusions about health inequalities among children in developing countries, concluding that a multidimensional approach is necessary to accurately assess the impact of economic status on health outcomes, including life expectancy.

Jamison et al. [29] show that significant investments in health and economic policies can lead to a convergence in global health outcomes by 2035, identifying increased health expenditure and economic growth as critical factors for improving life expectancy in low-income countries.

O'Donnell et al. [30] provide robust methodologies for analyzing health equity and demonstrate the importance of household economic status in determining health outcomes, emphasizing that equitable distribution of health resources is essential for improving life expectancy.

Reyes & Cornia [31] find that structural adjustment policies in sub-Saharan Africa have often led to deteriorations in health outcomes, including reduced life expectancy, arguing that these policies can undermine health systems and economic stability.

Schultz [32] highlights that investments in health and education significantly enhance economic development and life expectancy in Africa, emphasizing the interdependence of health and education policies in achieving improved life outcomes.

Smith [33] demonstrates a strong, dual relationship between economic status and health, where better health leads to higher economic productivity and vice versa, concluding that improving economic conditions is crucial for enhancing life expectancy.

Strauss & Thomas [34] find that improved nutrition and health are key drivers of economic development, which in turn positively affect life expectancy, underscoring the importance of health and nutrition investments for sustained economic growth.

Wang [35] shows that maternal education, household wealth, and access to health-care are critical determinants of child mortality in low-income countries, suggesting that improving these factors can significantly enhance life expectancy in these regions.

In conclusion, the substantial body of literature highlights the multifaceted relationship between economic performance, public health expenditure, agricultural productivity, and HIV prevalence on life expectancy in low-income countries. Studies consistently demonstrate that higher GDP per capita and increased public health spending are positively correlated with improved health outcomes and longer life spans, attributed to better access to health-care, nutrition, and living conditions.

However, the diminishing marginal benefits of GDP growth in wealthier nations suggest the importance of efficient resource allocation and governance. Agricultural productivity and food security are also critical, as they directly impact nutrition and health, particularly in regions reliant on subsistence farming.

Furthermore, the high prevalence of HIV/AIDS remains a significant barrier to increasing life expectancy, with the need

for comprehensive prevention, treatment, and support programs being paramount. Effective policies must therefore focus on economic growth, healthcare investment, efficient resource utilization, agricultural development, and robust HIV/AIDS interventions to enhance life expectancy and overall health outcomes in low-income countries.

3. Research Data and Methodology

The econometric estimation was based on a balanced panel of 19 low-income countries covering the period 2004–2021 ($n = 19$ and $t = 18$)². The data collected from World Data Indicators website and the countries used for our analysis are Afghanistan, Burkina Faso, Burundi, Central African Republic, Chad, Congo, Ethiopia, Gambia, Guinea, Liberia, Madagascar, Malawi, Mali, Mozambique, Niger, Rwanda, Sierra Leone, Togo, Uganda

Our model includes several variables that represent different aspects of socio-economic development and healthcare provision (Table 1).

In this analysis, we employed an Ordinary Least Squares (OLS) regression

model to examine the relationship between life expectancy at birth and the set of the key independent variables in low-income countries. The OLS model allows us to estimate the linear association between life expectancy and the socio-economic and health-related factors.

$$\begin{aligned} LifeExp_{it} = & b_0 + b_1 \cdot GdpPc_{it} + \\ & + b_2 \cdot GovHealthExp_{it} + \\ & + b_3 \cdot ArgLand_{it} + b_4 \cdot Hiv_{it} + \\ & + b_5 \cdot HealthExp_{it} + e_{it}, \end{aligned} \quad (1)$$

Where: i is the country and t is the year ($i = 1, 2, 3, \dots, 19$ and $t = 1, 2, 3, \dots, 18$).

Summary statistics for the panel are presented in Table 2.

In this panel summary, the key variables show notable variation across countries and over time. The mean life expectancy of 58.085 years signifies the overall health status across the panel, with a notable variation from 46.038 to 66.774 years, indicating diversity in health outcomes among nations. Examining GDP per capita, which ranges from 860.9989 to 3054.452 constant 2021 international dollars, reflects the economic heterogeneity and potential disparities in resource allocation for healthcare.

Table 1. Variables

Variable Type	Variable Symbol	Variable Definition
Dependent Variable	LifeExp	Life expectancy at birth, total (years)
Independent Variable	GdpPc	GDP per capita, PPP (constant 2021 international \$)
	GovHealthExp	Domestic general government health expenditure per capita, PPP (current international \$)
	ArgLand	Agricultural land (% of land area)
	Hiv	Prevalence of HIV, total (% of population ages 15–49)
	HealthExp	Current health expenditure per capita, PPP (current international \$)

Table 2. Panel Summary Statistics

Variable		Mean	Std	Min	Max	Observations
LifeExp	overall	58.08532	4.40689	46.038	66.774	N = 342
	between		3.438821	50.62683	63.44689	n = 19
	within		2.860897	50.01298	63.67899	T = 18
GdpPc	overall	1803.258	541.1289	860.9989	3054.452	N = 342
	between		492.2519	949.5221	2614.764	n = 19
	within		250.1771	970.9818	2713.17	T = 18
GovHealthExp	overall	16.95455	10.68771	0.8824918	73.5307	N = 342
	between		7.650567	3.655804	35.22091	n = 19
	within		7.655973	-3.459767	55.26435	T = 18
ArgLand	overall	47.0661	21.07321	7.825291	81.89252	N = 342
	between		21.49536	7.888518	78.71698	n = 19
	within		2.250415	34.89548	54.40428	T = 18
Hiv	overall	2.895906	3.180307	0.1	12.6	N = 342
	between		3.223361	0.1	11.8	n = 19
	within		0.4922137	0.3625731	5.462573	T = 18
HealthExp	overall	88.26301	52.52018	20.54935	363.6112	N = 342
	between		39.21742	30.65338	198.9078	n = 19
	within		36.01441	-16.69177	281.3309	T = 18

Note: Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

Moreover, the considerable variability in government health expenditure, ranging from 0.8824918 to 73.5307 PPP (current international \$) per capita, underscores the differential prioritization of public health initiatives among these nations. The proportion of agricultural land, spanning from 7.825291 % to 81.89252 % of total land area, highlights the varying reliance on agriculture and its potential implications for food security and nutrition, vital factors influencing population health.

Additionally, the prevalence of HIV, ranging from 0.1 % to 12.6 % of the population aged 15–49, underscores the complex

interplay between disease burden and life expectancy.

The detailed summary statistics for the dependent variable, LifeExp (life expectancy at birth), offer a comprehensive snapshot of the distribution and variability of life expectancy across the panel of low-income countries (Table 3).

With a mean life expectancy of 58.08532 years and a median of 58.788 years, the data suggests a relatively stable average lifespan, albeit with notable variations among countries. The standard deviation of 4.40689 underscores the degree of dispersion around the mean, indicating diverse life expectancy outcomes within the dataset.

Table 3. Detailed Summary Statistics (Dependent Variables)

LifeExp				
Percentiles		Smallest		
1 %	47.426	46.038		
5 %	49.948	46.433		
10 %	52.044	46.851	N	342
25 %	55.025	47.426	Sum of Wgt.	342
50 %	58.788		Mean	58.08532
		Largest	Std. Dev.	4.40689
75 %	61.315	66.072		
90 %	63.136	66.251	Variance	19.42068
95 %	64.838	66.437	Skewness	−0.4494857
99 %	66.072	66.774	Kurtosis	2.665577

Note: Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

Examining percentiles reveals a range of values from 46.038 years at the 1st percentile to 66.072 years at the 99th percentile, highlighting the presence of outliers and extreme values. The negative skewness (−0.4494857) suggests a slight leftward skew in the distribution, while the positive kurtosis (2.665577) indicates a relatively peaked distribution with heavier tails.

Overall, these statistics paint a nuanced picture of life expectancy dynamics in low-income countries, showcasing both the central tendencies and the variability of outcomes across the panel.

Correlation Coefficients Formula is given in equation (2):

$$\rho = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

Positive correlations are observed between life expectancy and several variables, albeit with varying strengths. Notably, life expectancy exhibits moderate

positive correlations with GDP per capita (correlation coefficient = 0.4048) and government health expenditure per capita (correlation coefficient = 0.4624), indicating that higher economic prosperity and increased investment in public health are associated with longer life expectancies (Table 4).

Similarly, life expectancy also shows a moderate positive correlation with agricultural land (correlation coefficient = 0.4336), suggesting a potential link between agricultural productivity, food security, and population health outcomes. Conversely, a negative correlation is observed between life expectancy and HIV prevalence (correlation coefficient = −0.2090), indicating that higher prevalence rates of HIV are associated with lower life expectancies. This underscores the significant impact of infectious diseases on population health outcomes, particularly in low-income countries where HIV/AIDS remains a significant public health challenge.

Table 4. Correlation Coefficients and Significance

	LifeExp	GdpPc	GovHealthExp	ArgLand	Hiv	HealthExp
LifeExp	1					
GdpPc	0.4048*	1				
	0.0000					
GovHealthExp	0.4624*	0.3753*	1			
	0.0000	0.0000				
ArgLand	0.4336*	0.2920*	0.4534*	1		
	0.0000	0.0000	0.0000			
Hiv	-0.2090*	-0.1922*	-0.0087	0.1280*	1	
	0.0001	0.0003	0.8731	0.0179		
HealthExp	0.3613*	0.5091*	0.2981*	0.2568*	-0.1012	1
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0616	

Notes: * Coefficients below the Correlation Coefficients indicate the P-Value significance; Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

The correlation matrix also reveals positive correlations between life expectancy and current health expenditure per capita (correlation coefficient = 0.3613), highlighting the importance of healthcare investment in improving overall population health. However, the strength of this correlation is relatively weaker compared to GDP per capita and government health expenditure per capita.

4. Results

The results of the regression analysis by formula (1) are presented in Table 5.

GDP per capita (GdpPc) is positively and significantly associated with life expectancy, with a coefficient of 0.00101, significant at the 5 % level ($p < 0.05$). This suggests that economic prosperity plays a crucial role in enhancing population health. A higher GDP per capita indicates better living standards, improved access to healthcare, education, and nutri-

tion, all of which are essential for extending life expectancy.

Economic growth likely provides the resources needed for governments and individuals to invest in health-promoting activities and services, ultimately leading to longer lifespans. Government health expenditure per capita (GovHealthExp) emerges as a critical factor in improving life expectancy, with a highly significant coefficient of 0.103 ($p < 0.01$). This strong positive relationship underscores the importance of public health investment in enhancing population health outcomes.

Increased government spending on health can lead to better healthcare infrastructure, more comprehensive healthcare services, and greater accessibility to medical care for all segments of the population. These improvements are essential for preventing and treating diseases, reducing mortality rates, and promoting overall health, thereby extending life expectancy.

Table 5. Regression Analysis

VARIABLES	LifeExp
GdpPc	0.00101**
	(0.000434)
GovHealthExp	0.103***
	(0.0209)
ArgLand	0.0579***
	(0.0104)
Hiv	−0.284***
	(0.0621)
HealthExp	0.0111***
	(0.00426)
Constant	51.65***
	(0.752)
Observations	342
R-squared	0.376

Notes: LifeExp — Life expectancy at birth, total (years); GdpPc — GDP per capita, PPP (constant 2021 international \$); GovHealthExp — Domestic general government health expenditure per capita, PPP (current international \$); ArgLand — Agricultural land (% of land area); Hiv — Prevalence of HIV, total (% of population ages 15–49); HealthExp — Current health expenditure per capita, PPP (current international \$); Standard errors in parentheses — *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$; Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

The percentage of agricultural land (ArgLand) also shows a significant positive impact on life expectancy, with a coefficient of 0.0579, significant at the 1 % level ($p < 0.01$). This finding highlights the role of agricultural productivity and food security in determining population health. Greater agricultural land use can enhance food availability and nutrition, which are fundamental to maintaining good health and preventing malnutrition-related illnesses. Access to sufficient and nutritious food supports healthy growth and development, reduces the incidence of food-related diseases, and contributes to longer, healthier lives. Conversely, HIV prevalence (Hiv) has a negative and highly significant ef-

fect on life expectancy, with a coefficient of -0.284 ($p < 0.01$).

This negative relationship reflects the severe health burden posed by HIV/AIDS in low-income countries. High HIV prevalence is associated with increased morbidity and mortality, reducing life expectancy. The epidemic strains healthcare systems, diverts resources from other health priorities, and affects the most productive age groups, exacerbating its impact on population health. Addressing the HIV/AIDS epidemic through effective prevention, treatment, and care strategies is crucial for improving life expectancy in affected regions.

Current health expenditure per capita (HealthExp) positively influences life expectancy, with a coefficient of 0.0111, sig-

nificant at the 1 % level ($p < 0.01$). This variable captures the total resources allocated to healthcare services, including both public and private spending. Higher health expenditure per capita signifies more comprehensive and accessible healthcare services, better medical technology, and higher quality of care. Such investments are vital for preventing and managing diseases, promoting health, and ultimately increasing life expectancy.

The significant positive impact of health expenditure on life expectancy underscores the need for sustained and enhanced investment in healthcare systems to achieve better health outcomes. The constant term of 51.65, significant at the 1 % level, represents the baseline level of life expectancy when all independent variables are zero.

This baseline provides a reference point for understanding the additional contributions of each independent variable to life expectancy. The R-squared value of 0.376 indicates that approximately 37.6 % of the variability in life expectancy can be explained by the independent variables included in the model. While this suggests that other factors not captured by the model also play a role in determining life expectancy, the included variables provide a substantial and meaningful explanation of the differences in life expectancy across low-income countries.

The Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity is used to determine whether the variance of the errors in a regression model is constant, which is an important assumption of the Ordinary Least Squares (OLS) regression. The null hypothesis (H_0) for this test is that the variance of the errors is constant (homoscedasticity) (Table 6).

In the given results, the test statistic (chi-squared) is 3.25 with 1 degree of freedom. The p-value associated with this test statistic is 0.0714. Since the p-value (0.0714) is greater than the common significance level of 0.05, we do not reject the

null hypothesis of constant variance. This suggests that there is no strong evidence of heteroskedasticity in the regression model at the 5 % significance level.

Table 6. Heteroskedasticity Test

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
H_0 : Constant variance
Variables: fitted values of LifeExp
chi2(1) = 3.25
Prob > chi2 = 0.0714

Note: Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

However, it's worth noting that the p-value is relatively close to 0.05, indicating that heteroskedasticity might be an issue at a slightly less stringent significance level (e.g., 10 %).

The Breusch and Pagan Lagrangian Multiplier (LM) test for random effects provides critical information on whether a random effects model is more appropriate than a simple OLS regression model for the given dataset (Table 7).

The key aspect of this test is to determine if the variance of the random effects ($\text{Var}(u)$) is significantly different from zero. The null hypothesis (H_0) posits that the variance of the random effects is zero, implying that individual-specific effects are not significant and that a pooled OLS model would suffice.

In the provided results, the variance of life expectancy (LifeExp) is reported as 19.42068 with a standard deviation of 4.40689. The variance of the error term (e) is 2.339935 with a standard deviation of 1.529685, and the variance of the random effects (u) is 10.48759 with a standard deviation of 3.238455. These variances indicate the distribution and variability of the life expectancy data, the error term, and the random effects, respectively.

Table 7. **Test for Random Effects**

Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects		
	Var	sd = sqrt(Var)
LifeExp	19.42068	4.40689
e	2.339935	1.529685
u	10.48759	3.238455
	Test: Var(u) = 0	
		chibar2(01) = 1076.19
		Prob > chibar2 = 0.0000

Note: Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

The test statistic for the LM test is $\text{chibar2}(01) = 1076.19$, which is associated with a p-value of 0.0000. This extremely low p-value is highly significant and leads to the rejection of the null hypothesis that $\text{Var}(u) = 0$. The significant result indicates that the random effects model is indeed more appropriate than the pooled OLS model for this dataset.

This finding suggests that there are significant individual-specific effects that influence life expectancy, which need to be accounted for to improve the model's accuracy and fit. By rejecting the null hypothesis, the test confirms that the random effects model, which accommodates

individual-specific heterogeneity, is better suited for analyzing the determinants of life expectancy in these low-income countries.

The Variance Inflation Factor (VIF) analysis reveals important insights about the multicollinearity present in the regression model. Multicollinearity refers to the situation where independent variables are highly correlated, potentially compromising the stability and interpretability of the regression coefficients. In this analysis, the VIF values for the independent variables are relatively low, suggesting that multicollinearity is not a significant concern (Table 8).

Table 8. **Variance Inflation Factor (VIF) Test**

Variable	VIF	1/VIF
GdpPc	1.53	0.653619
HealthExp	1.39	0.721304
GovHealthExp	1.38	0.723847
ArgLand	1.34	0.744634
Hiv	1.08	0.925096
Mean VIF	1.34	

Note: Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

The highest VIF value in this model is 1.53 for GDP per capita, indicating only a mild degree of correlation with other variables. The reciprocal of the VIF ($1/\text{VIF}$) further confirms the absence of severe multicollinearity. Values closer to 1 indicate low multicollinearity, and in this case, the $1/\text{VIF}$ values range from 0.653619 for GDP per capita to 0.925096 for HIV prevalence.

These values suggest that the independent variables are sufficiently independent of one another, ensuring that the regression coefficients are stable, and the results of the model are reliable. The mean VIF is 1.34, reinforcing the overall conclusion that multicollinearity is not a significant Issue in this dataset.

This low mean VIF value indicates that, on average, the independent variables do not exhibit strong correlations with each

other, allowing for a clearer interpretation of their individual effects on life expectancy. In conclusion, the VIF analysis supports the robustness of the regression model by demonstrating that multicollinearity is not a problem.

The Figure 1 clearly illustrates a positive trend in life expectancy at birth, total (years) across all the low-income countries under study from 2004 to 2021.

This upward trajectory indicates significant improvements in public health, healthcare access, and overall living conditions over the period. Each country, despite its unique challenges and starting points, demonstrates a consistent rise in the average lifespan of its population. This trend highlights the effectiveness of health interventions, economic development, and policy measures aimed at enhancing health outcomes.

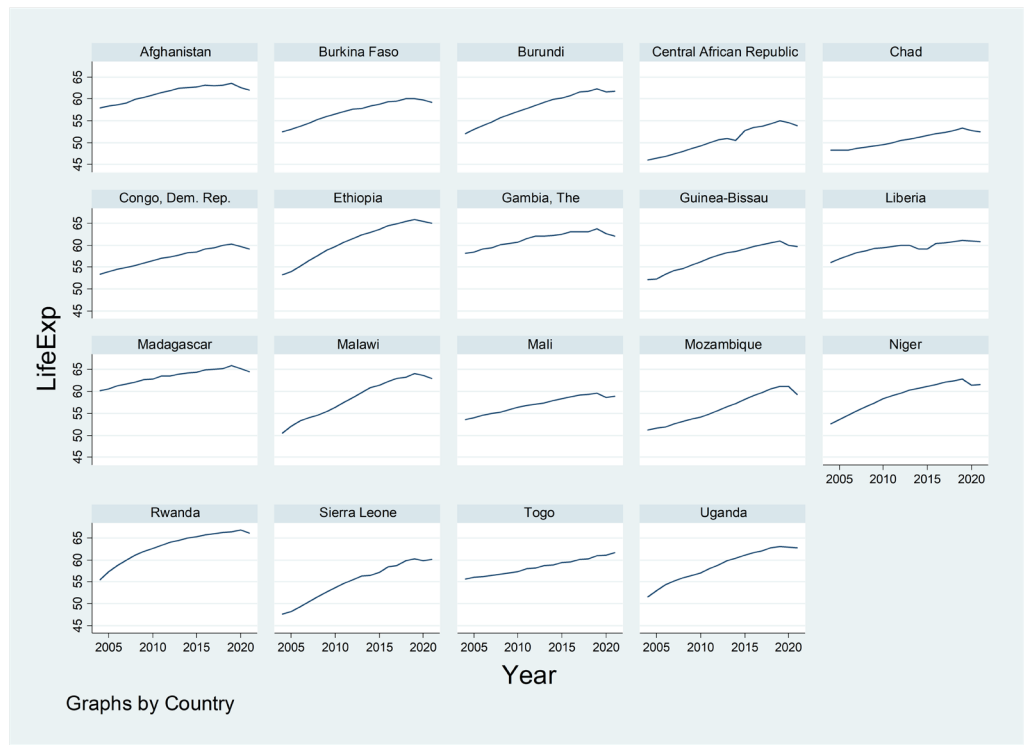


Figure 1. Life Expectancy-Years Diagram

Note: Provided by Author, Calculated in STATA 14.2

The consistent increase in life expectancy across diverse nations suggests a broader, regional improvement in health standards and quality of life, showcasing progress in combating diseases, improving nutrition, and expanding healthcare services. This figure underscores the critical importance of sustained efforts and investments in health and development sectors to continue this positive momentum in life expectancy.

5. Discussion

The analysis of life expectancy in low-income countries from 2004 to 2021 provides significant insights into the key factors that influence population health and longevity. The results of the regression analysis highlight the multifaceted nature of life expectancy determinants and align with existing literature on the topic. The positive relationship between GDP per capita (gdppc) and life expectancy underscores the importance of economic growth in improving health outcomes. Higher GDP per capita provides more resources for healthcare, better living conditions, and improved nutrition, all of which contribute to longer life expectancy.

This finding is consistent with previous studies that have shown economic prosperity to be a critical driver of health improvements Preston [1] and Bloom & Canning [2]. Both government health expenditure per capita (govhealthexp) and current health expenditure per capita (healthexp) are positively associated with life expectancy.

These results indicate that investments in healthcare are crucial for enhancing population health. Increased health expenditure translates to better healthcare services, more medical facilities, and improved access to treatments, which in turn reduce mortality rates and extend life expectancy. This is supported by literature emphasizing the role of health expenditure in improving

health outcomes Nixon & Ulmann [24] and Gupta & Verhoeven [5].

The percentage of agricultural land (ar_gland) also shows a positive association with life expectancy. This variable likely captures the importance of food security and nutrition. In low-income countries, where a significant portion of the population depends on agriculture for livelihood, a higher percentage of agricultural land can lead to better food availability and quality, thus improving health and longevity. Studies have highlighted the link between agriculture, food security, and health, corroborating this result Pongou et al. [25].

The negative impact of HIV prevalence (hiv) on life expectancy is significant and expected. High HIV prevalence rates are associated with increased mortality, particularly among the working-age population, thereby reducing the overall life expectancy. This finding is consistent with the extensive literature documenting the devastating effects of the HIV/AIDS epidemic on population health in many low-income countries Bor et al. [23].

The positive relationship between GDP per capita (gdppc) and life expectancy confirms that economic growth plays a crucial role in improving health outcomes. Higher income levels allow for better living conditions, improved nutrition, and greater access to healthcare services, contributing to longer life expectancy. This finding is consistent with previous studies that have demonstrated the impact of economic prosperity on health Bloom & Canning [2] and Preston [1].

The significant positive association between government health expenditure per capita (govhealthexp) and life expectancy underscores the importance of public investment in healthcare. Increased health expenditure ensures better healthcare services, more medical facilities, and improved access to treatments, which enhance population health and longevity. This aligns with

literature emphasizing the critical role of health expenditure in improving health outcomes (Nixon & Ulmann [24] and Gupta & Verhoeven [5]). The positive impact of the percentage of agricultural land (armland) on life expectancy highlights the importance of food security and nutrition.

In many low-income countries, agriculture is a primary source of livelihood, and higher agricultural productivity can lead to better food availability and quality, thereby improving health and extending life expectancy. Studies have highlighted the link between agriculture, food security, and health, corroborating this result Pongou [25].

The negative effect of HIV prevalence (hiv) on life expectancy is significant and expected. High HIV prevalence rates are associated with increased mortality, particularly among the working-age population, thereby reducing the overall life expectancy. This finding is consistent with extensive literature documenting the devastating effects of the HIV/AIDS epidemic on population health in many low-income countries Bor et al [23].

Thus, we make an exception for the complete fastening of hypotheses $H1$ and $H2$.

Overall, the findings of this study align with existing research and provide a comprehensive understanding of the factors influencing life expectancy in low-income countries. The results highlight the need for integrated and sustained efforts to enhance economic conditions, expand healthcare services, and combat infectious diseases to achieve better health outcomes and extend life expectancy in these regions.

6. Conclusions

The regression analysis underscores the significant positive impact of economic prosperity on life expectancy. GDP per capita emerges as a crucial determinant, highlighting how increased economic resources translate into better living condi-

tions, healthcare access, and overall health improvements. Similarly, both government health expenditure per capita and current health expenditure per capita are found to significantly enhance life expectancy, emphasizing the vital role of sustained investments in healthcare infrastructure and services.

Agricultural land percentage also shows a positive relationship with life expectancy, suggesting that agricultural productivity and food security are essential for improving health outcomes. This finding aligns with the understanding that adequate nutrition and food availability are fundamental for preventing malnutrition and related health issues, thereby contributing to longer lifespans.

Conversely, the prevalence of HIV negatively impacts life expectancy, reflecting the substantial health burden posed by the HIV/AIDS epidemic in these countries. The negative coefficient for HIV prevalence underscores the importance of continued efforts in HIV prevention, treatment, and care to mitigate its adverse effects on population health.

The Breusch and Pagan Lagrangian Multiplier test confirms the appropriateness of using a random effects model, indicating significant individual-specific effects across countries. This finding highlights the necessity of accounting for country-specific heterogeneity to obtain more accurate and reliable estimates of the factors affecting life expectancy. The analysis of variance inflation factors (VIF) reveals that multicollinearity is not a significant Issue in the model, ensuring the stability and reliability of the regression coefficients. The absence of high multicollinearity among the independent variables reinforces the robustness of the findings.

Theoretically, this research contributes to the existing body of literature by offering a nuanced understanding of how economic and health-related factors interplay

to influence life expectancy in low-income countries. It extends previous studies by integrating multiple determinants and employing a robust panel data approach, providing a more comprehensive picture of the factors driving life expectancy. The findings reinforce theories that link economic prosperity and health investment to improved health outcomes, and they illustrate the critical role of disease burden in shaping population health.

Practically, the study's findings have significant implications for policymakers in low-income countries. The positive impact of GDP per capita and government health expenditure on life expectancy suggests that policies aimed at boosting economic growth and increasing healthcare spending are essential for improving health outcomes. Enhancing agricultural productivity is also crucial, as it contributes to food

security and better nutrition, which are vital for population health. Furthermore, the negative effect of HIV prevalence on life expectancy highlights the need for continued efforts in HIV/AIDS prevention and treatment programs. By addressing these key areas, policymakers can formulate strategies that effectively enhance life expectancy and overall well-being in low-income countries.

Overall, the results demonstrate the multifaceted nature of life expectancy determinants in low-income countries. Economic development, health investments, agricultural productivity, and disease burden all play crucial roles in shaping life expectancy. Sustained efforts and investments in these areas are essential to continue the positive momentum in life expectancy improvements observed over the study period.

References

1. Preston, S.H. (1975). The changing relation between mortality and level of economic development. *Population Studies*, Vol. 29, Issue 2, 231–248. <https://doi.org/10.2307/2173509>
2. Bloom, D.E., Canning, D. (2000). The health and wealth of nations. *Science*, Vol. 287, No. 5456, 1207–1209. <http://dx.doi.org/10.1126/science.287.5456.1207>
3. Pritchett, L., Summers, L.H. (1996). Wealthier is healthier. *Journal of Human Resources*, Vol. 31, No. 4, 841–868. <http://dx.doi.org/10.2307/146149>
4. Deaton, A. (2013). *The Great Escape: Health, Wealth, and the Origins of Inequality*. Princeton University Press, 376 p. <https://doi.org/10.2307/j.ctt3fgxbm>
5. Gupta, S., Verhoeven, M. (2001). The efficiency of government expenditure: Experiences from Africa. *Journal of Policy Modeling*, Vol. 23, Issue 4, 433–467. [https://doi.org/10.1016/S0161-8938\(00\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0161-8938(00)00036-3)
6. Sachs, J.D. (2002). Macroeconomics and health: investing in health for economic development. *Revista Panamericana de Salud Pública*, Vol. 12, Issue 2, 143–144. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892002000800017>
7. Bokhari, F.A., Gai, Y., Gottret, P. (2007). Government health expenditures and health outcomes. *Health Economics*, Vol. 16, Issue 3, 257–273. <http://dx.doi.org/10.1002/hec.1157>
8. Anyanwu, J.C., Erhijakpor, A.E. (2009). Health expenditures and health outcomes in Africa. *African Development Review*, Vol. 21, Issue 2, 400–433. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8268.2009.00215.x>
9. Novignon, J., Olakojo, S.A., Nonvignon, J. (2012). The effects of public and private health care expenditure on health status in sub-Saharan Africa: New evidence from panel data analysis. *Health Economics Review*, Vol. 2, 22. <https://doi.org/10.1186/2191-1991-2-22>
10. Farag, M., Nandakumar, A.K., Wallack, S., Gaumer, G., Hodgkin, D., Erbil, C. (2013). Health expenditures, health outcomes and the role of good governance. *International Journal of Health Care Finance and Economics*, Vol. 13, 33–52. <https://doi.org/10.1007/s10754-012-9120-3>

11. Wagstaff, A., Claeson, M. (2004). *The Millennium Development Goals for Health: Rising to the Challenges*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-5767-0>
12. Rajkumar, A.S., Swaroop, V. (2008). Public spending and outcomes: Does governance matter? *Journal of Development Economics*, Vol. 86, Issue 1, 96–111. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2007.08.003>
13. World Bank. (2018). *World Development Indicators 2018*. Washington, DC: World Bank, 94 p. Available at: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/630671538158537244/pdf/The-World-Bank-Annual-Report-2018.pdf>
14. Maxwell, S., Smith, M. (1992). *Household Food Security: A Conceptual Review*. IFAD, 72 p.. Available at: <https://www.drcsc.org/resources/FoodSecurity-Concept%20of%20Food%20Security2.pdf>
15. Pingali, P. (2012). Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 109, No. 31, 12302–12308. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>
16. Bezuneh, M., Deaton, B.J., Norton, G.W. (1988). Food aid impacts in rural Kenya. *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 70, Issue 1, 181–191. <https://doi.org/10.2307/1241988>
17. Sahn, D.E., Stifel, D. (2002). Parental preferences for nutrition of boys and girls: Evidence from Africa. *Journal of Development Studies*, Vol. 39, Issue 1, 21–45. <https://doi.org/10.1080/00220380412331322651>
18. Alderman, H., Hoddinott, J., Kinsey, B. (2006). Long term consequences of early childhood malnutrition. *Oxford Economic Papers*, Vol. 58, Issue 3, 450–474. <https://doi.org/10.1093/oep/gpl008>
19. UNAIDS. (2019). *Global AIDS Update 2019*. Geneva, UNAIDS, 476 p. Available at: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/2019-UNAIDS-data_en.pdf
20. Trickey, A., May, M.T., Vehreschild, J.J., et al. (2017). Survival of HIV-positive patients starting antiretroviral therapy between 1996 and 2013: A collaborative analysis of cohort studies. *The Lancet HIV*, Vol. 4, Issue 8, e349–e356. [https://doi.org/10.1016/S2352-3018\(17\)30066-8](https://doi.org/10.1016/S2352-3018(17)30066-8)
21. De Walque, D. (2006). Who gets AIDS and how? The determinants of HIV infection and sexual behaviors in Burkina Faso, Cameroon, Ghana, Kenya, and Tanzania. *World Bank Policy Research Working Paper*. No. 3844. Washington, DC, World Bank, 51 p. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-3844>
22. Fox, M.P., Rosen, S. (2010). Patient retention in antiretroviral therapy programs up to three years on treatment in sub-Saharan Africa, 2007–2009: Systematic review. *Tropical Medicine & International Health*, Vol. 15, Issue s1, 1–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2010.02508.x>
23. Bor, J., Herbst, A.J., Newell, M.L., Barnighausen, T. (2013). Increases in adult life expectancy in rural South Africa: Valuing the scale-up of HIV treatment. *Science*, Vol. 339, No. 6122, 961–965. <https://doi.org/10.1126/science.1230413>
24. Nixon, J., Ulmann, P. (2006). The relationship between health care expenditure and health outcomes. *European Journal of Health Economics*, Vol. 7, 7–18. <http://dx.doi.org/10.1007/s10198-005-0336-8>
25. Pongou, R., Salomon, J.A., Ezzati, M. (2006). Health impacts of macroeconomic crises and policies: determinants of variation in childhood malnutrition trends in Cameroon. *International Journal of Epidemiology*, Vol. 35, Issue 3, 648–656. <https://doi.org/10.1093/ije/dyl016>
26. Anand, S., Ravallion, M. (1993). Human Development in Poor Countries: On the Role of Private Incomes and Public Services. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 7, No. 1, 133–150. <https://doi.org/10.1257/jep.7.1.133>
27. Cutler, D.M., Deaton, A.S., Lleras-Muney, A. (2006). The Determinants of Mortality. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 20, No. 3, 97–120. <https://doi.org/10.1257/jep.20.3.97>
28. Houweling, T.A., Kunst, A.E., Mackenbach, J.P. (2003). Measuring health inequality among children in developing countries: does the choice of the indicator of economic status matter? *International Journal for Equity in Health*, Vol. 2, 8. <https://doi.org/10.1186/1475-9276-2-8>

29. Jamison, D.T., Summers, L.H., Alleyne, G., et al. (2013). Global health 2035: a world converging within a generation. *The Lancet*, Vol. 382, No. 9908, 1898–1955. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62105-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62105-4)
30. O'Donnell, O., Van Doorslaer, E., Wagstaff, A., Lindelow, M. (2008). *Analyzing Health Equity Using Household Survey Data: A Guide to Techniques and Their Implementation*. Washington, D.C., World Bank, 221 p. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-6933-3>
31. Reyes, A.M., Cornia, G.A. (2020). The impact of structural adjustment policies on health outcomes in sub-Saharan Africa: 1980–2000. *Review of African Political Economy*, Vol. 47, Issue 163, 61–79. <https://doi.org/10.1080/03056244.2019.1653287>
32. Schultz, T.P. (1999). Health and schooling investments in Africa. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 13, No. 3, 67–88. <https://doi.org/10.1257/jep.13.3.67>
33. Smith, J.P. (1999). Healthy Bodies and Thick Wallets: The Dual Relation between Health and Economic Status. *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 13, No. 2, 145–166. <https://doi.org/10.1257/jep.13.2.145>
34. Strauss, J., Thomas, D. (1998). Health, Nutrition, and Economic Development. *Journal of Economic Literature*, Vol. 36, Issue 2, 766–817. <https://doi.org/10.2307/2565122>
35. Wang, L. (2002). Determinants of Child Mortality in LDCs: Empirical Findings from Demographic and Health Surveys. *Health Policy*, Vol. 65, Issue 3, 277–299. [https://doi.org/10.1016/S0168-8510\(03\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0168-8510(03)00039-3)

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Emmanouil Taxiarchis Gazilas

Academic Researcher, Economics Student, Department of Economics, School of Economics, Business & International Studies, University of Piraeus, Piraeus, Greece (Karaoli & Dimitriou 80, Piraeus 185 34, Greece); ORCID <https://orcid.org/0009-0003-0554-500X> e-mail: mgazilas@unipi.gr

FOR CITATION

Gazilas, E.T. (2024). Factors Influencing Life Expectancy in Low-Income Countries: A Panel Data Analysis. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 580–601. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.023>

ARTICLE INFO

Received June 3, 2024; Revised June 22, 2024; Accepted July 10, 2024.

Факторы влияния на ожидаемую продолжительность жизни в странах с низким уровнем дохода: панельный анализ данных

Э. Т. Газилас  

Университет Пирей,

г. Пирей, Греция

 mgazilas@unipi.gr

Аннотация. Понимание факторов, влияющих на ожидаемую продолжительность жизни в странах с низким уровнем дохода, имеет решающее значение для разработки эффективной политики в области здравоохранения и экономики. Данное исследование направлено на изучение детерминант ожидаемой продолжительности жизни в странах с низким уровнем дохода путем анализа панельных данных с 2004 по 2021 г. Гипотеза заключается в том, что экономические показатели, расходы на здравоохранение и сельскохозяйственные угодья существенно влияют на продолжительность жизни, в то время как высокая распространенность ВИЧ оказывает на нее негативное влияние. Процедура исследования включала в себя использование регрессионного анализа по методу наименьших квадратов (МНК) с ожидаемой продолжительностью жизни при рождении в качестве зависимой переменной и ВВП на душу населения (ППС, доллар в ценах 2021 г.), государственные расходы на здравоохранение на душу населения (в текущих ценах), сельскохозяйственные земли (процент от площади земель), распространенность ВИЧ (процент населения в возрасте от 15 до 49 лет) и текущие расходы на здравоохранение на душу населения (в текущих ценах) в качестве независимых переменных. Основные результаты показывают, что ВВП на душу населения, государственные расходы на здравоохранение и сельскохозяйственные угодья положительно влияют на ожидаемую продолжительность жизни, подчеркивая важность экономического роста, инвестиций в здравоохранение и продовольственной безопасности. Напротив, распространенность ВИЧ оказывает значительное негативное влияние на ожидаемую продолжительность жизни, подчеркивая бремя эпидемии для здоровья. Статистические тесты на гетероскедастичность и нормальность выявляют некоторые отклонения, но надежность анализа подтверждается с помощью соответствующих эконометрических методов. Теоретически исследование вносит вклад в литературу, обеспечивая детальное понимание того, как экономические факторы и факторы, связанные со здоровьем, взаимодействуют друг с другом, влияя на ожидаемую продолжительность жизни в странах с низким уровнем дохода. На практике полученные данные свидетельствуют о том, что политика, направленная на стимулирование экономического роста, увеличение расходов на здравоохранение, совершенствование методов ведения сельского хозяйства и борьбу с ВИЧ/СПИДом, имеет жизненно важное значение для увеличения продолжительности жизни. Это исследование дает ценную информацию для лиц, ответственных за разработку политики в странах с низким уровнем дохода, стремящихся улучшить показатели здоровья населения.

Ключевые слова: ожидаемая продолжительность жизни; страны с низким уровнем дохода; расходы на здравоохранение; ВВП на душу населения; распространенность ВИЧ-инфекции.

Список использованных источников

1. Preston S. H. The changing relation between mortality and level of economic development // Population Studies. 1975. Vol. 29, Issue 2. Pp. 231–248. <https://doi.org/10.2307/2173509>

2. Bloom D. E., Canning D. The health and wealth of nations // Science. 2000. Vol. 287, No. 5456. Pp. 1207–1209. <http://dx.doi.org/10.1126/science.287.5456.1207>
3. Pritchett L., Summer L. H. Wealthier is healthier // Journal of Human Resources. 1996. Vol. 31, No. 4. Pp. 841–868. <http://dx.doi.org/10.2307/146149>
4. Deaton A. The Great Escape: Health, Wealth, and the Origins of Inequality. Princeton University Press, 2013. 376 p. <https://doi.org/10.2307/j.ctt3fgxbm>
5. Gupta S., Verhoeven M. The efficiency of government expenditure: Experiences from Africa // Journal of Policy Modeling. 2001. Vol. 23, Issue 4. Pp. 433–467. [https://doi.org/10.1016/S0161-8938\(00\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0161-8938(00)00036-3)
6. Sachs J. D. Macroeconomics and health: investing in health for economic development // Revista Panamericana de Salud Pública. 2002. Vol. 12, Issue 2. Pp. 143–144. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892002000800017>
7. Bokhari F. A., Gai Y., Gottret P. Government health expenditures and health outcomes // Health Economics. 2007. Vol. 16, Issue 3. Pp. 257–273. <http://dx.doi.org/10.1002/hec.1157>
8. Anyanwu J. C., Erhijakpor A. E. Health expenditures and health outcomes in Africa // African Development Review. 2009. Vol. 21, Issue 2. Pp. 400–433. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8268.2009.00215.x>
9. Novignon J., Olakojo S. A., Nonvignon J. The effects of public and private health care expenditure on health status in sub-Saharan Africa: New evidence from panel data analysis // Health Economics Review. 2012. Vol. 2, 22. <https://doi.org/10.1186/2191-1991-2-22>
10. Farag M., Nandakumar A. K., Wallack S., Gaumer G., Hodgkin D. Erbil C. Health expenditures, health outcomes and the role of good governance // International Journal of Health Care Finance and Economics. 2013. Vol. 13. Pp. 33–52. <https://doi.org/10.1007/s10754-012-9120-3>
11. Wagstaff A., Claeson M. The Millennium Development Goals for Health: Rising to the Challenges. The World Bank, 2004. <https://doi.org/10.1596/0-8213-5767-0>
12. Rajkumar A. S., Swaroop V. Public spending and outcomes: Does governance matter? // Journal of Development Economics. 2008. Vol. 86, Issue 1. Pp. 96–111. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2007.08.003>
13. World Development Indicators 2018. Washington, DC: World Bank, 2018. 94 p. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/630671538158537244/pdf/The-World-Bank-Annual-Report-2018.pdf>
14. Maxwell S., Smith M. Household Food Security: A Conceptual Review. IFAD, 1992. 72 p. URL: <https://www.drcsc.org/resources/FoodSecurity-Concept%20of%20Food%20Security2.pdf>
15. Pingali P. Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. Vol. 109, No. 31. Pp. 12302–12308. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>
16. Bezuneh M., Deaton B. J., Norton G. W. Food aid impacts in rural Kenya // American Journal of Agricultural Economics. 1988. Vol. 70, Issue 1. Pp. 181–191. <https://doi.org/10.2307/1241988>
17. Sahn D. E., Stifel D. Parental preferences for nutrition of boys and girls: Evidence from Africa // Journal of Development Studies. 2002. Vol. 39, Issue 1. Pp. 21–45. <https://doi.org/10.1080/00220380412331322651>
18. Alderman H., Hoddinott J., Kinsey B. Long term consequences of early childhood malnutrition // Oxford Economic Papers. 2006. Vol. 58, Issue 3. Pp. 450–474. <https://doi.org/10.1093/oep/gpl008>
19. Global AIDS Update 2019. Geneva: UNAIDS, 2019. 476 p. URL: https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/2019-UNAIDS-data_en.pdf
20. Trickey A., May M. T., Vehreschild J. J., et al. Survival of HIV-positive patients starting antiretroviral therapy between 1996 and 2013: A collaborative analysis of cohort studies // The Lancet HIV. 2017. Vol. 4, Issue 8. Pp. e349–e356. [https://doi.org/10.1016/S2352-3018\(17\)30066-8](https://doi.org/10.1016/S2352-3018(17)30066-8)
21. De Walque D. Who gets AIDS and how? The determinants of HIV infection and sexual behaviors in Burkina Faso, Cameroon, Ghana, Kenya, and Tanzania // World Bank Policy

Research Working Paper. No. 3844. Washington, DC: World Bank, 2006. 51 p. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-3844>

22. Fox M. P., Rosen S. Patient retention in antiretroviral therapy programs up to three years on treatment in sub-Saharan Africa, 2007–2009: Systematic review // *Tropical Medicine & International Health*. 2010. Vol. 15, Issue s1. Pp. 1–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3156.2010.02508.x>

23. Bor J., Herbst A. J., Newell M. L., Barnighausen T. Increases in adult life expectancy in rural South Africa: Valuing the scale-up of HIV treatment // *Science*. 2013. Vol. 339, No. 6122. Pp. 961–965. <https://doi.org/10.1126/science.1230413>

24. Nixon J., Ulmann P. The relationship between health care expenditure and health outcomes // *European Journal of Health Economics*. 2006. Vol. 7. Pp. 7–18. <http://dx.doi.org/10.1007/s10198-005-0336-8>

25. Pongou R., Salomon J. A., Ezzati M. Health impacts of macroeconomic crises and policies: determinants of variation in childhood malnutrition trends in Cameroon // *International Journal of Epidemiology*. 2006. Vol. 35, Issue 3. Pp. 648–656. <https://doi.org/10.1093/ije/dyl016>

26. Anand S., Ravallion M. Human Development in Poor Countries: On the Role of Private Incomes and Public Services // *Journal of Economic Perspectives*. 1993. Vol. 7, No. 1. 133–150. <https://doi.org/10.1257/jep.7.1.133>

27. Cutler D. M., Deaton A. S., Lleras-Muney A. The Determinants of Mortality // *Journal of Economic Perspectives*. 2006. Vol. 20, No. 3. Pp. 97–120. <https://doi.org/10.1257/jep.20.3.97>

28. Houweling T. A., Kunst A. E., Mackenbach J. P. Measuring health inequality among children in developing countries: does the choice of the indicator of economic status matter? // *International Journal for Equity in Health*. 2003. Vol. 2. 8. <https://doi.org/10.1186/1475-9276-2-8>

29. Jamison D. T., Summers L. H., Alleyne G., et al. Global health 2035: a world converging within a generation // *The Lancet*. 2013. Vol. 382, No. 9908. Pp. 1898–1955. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)62105-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62105-4)

30. O'Donnell O., Van Doorslaer E., Wagstaff A., Lindelow M. Analyzing Health Equity Using Household Survey Data: A Guide to Techniques and Their Implementation. Washington, D.C., World Bank, 2008. 221 p. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-6933-3>

31. Reyes A. M., Cornia G. A. The impact of structural adjustment policies on health outcomes in sub-Saharan Africa: 1980–2000 // *Review of African Political Economy*. 2020. Vol. 47, Issue 163. Pp. 61–79. <https://doi.org/10.1080/03056244.2019.1653287>

32. Schultz T. P. Health and schooling investments in Africa // *Journal of Economic Perspectives*. 1999. Vol. 13, No. 3. Pp. 67–88. <https://doi.org/10.1257/jep.13.3.67>

33. Smith J. P. Healthy Bodies and Thick Wallets: The Dual Relation between Health and Economic Status // *Journal of Economic Perspectives*. 1999. Vol. 13, No. 2. Pp. 145–166. <https://doi.org/10.1257/jep.13.2.145>

34. Strauss J., Thomas D. Health, Nutrition, and Economic Development // *Journal of Economic Literature*. 1998. Vol. 36, Issue 2. Pp. 766–817. <https://doi.org/10.2307/2565122>

35. Wang L. Determinants of Child Mortality in LDCs: Empirical Findings from Demographic and Health Surveys // *Health Policy*. 2002. Vol. 65, Issue 3. Pp. 277–299. [https://doi.org/10.1016/s0168-8510\(03\)00039-3](https://doi.org/10.1016/s0168-8510(03)00039-3)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Газилас Эммануил Такснархис

Исследователь, студент кафедры экономики факультета экономики, бизнеса и международных исследований Пирейского университета, г. Пирей, Греция (Karaoli & Dimitriou 80, Piraeus 185 34, Greece); ORCID <https://orcid.org/0009-0003-0554-500X> e-mail: mgazilas@unipi.gr

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Газилас Э. Т. Факторы влияния на ожидаемую продолжительность жизни в странах с низким уровнем дохода: панельный анализ данных // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 580–601. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.023>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 3 июня 2024 г.; дата поступления после рецензирования 22 июня 2024 г.; дата принятия к печати 10 июля 2024 г.



Economic Globalization, Renewable Energy, and CO₂ Emissions in Selected Emerging Countries

Xenaneira Shodroкова  , Anna Yulianita , Abdul Bashir 

Sriwijaya University,
Prabumulih, Indonesia

 xenaneira12@gmail.com

Abstract. The phenomenon of economic globalization (EG) has a significant impact on CO₂ emissions in emerging countries. This research seeks to examine the influence of EG and renewable energy consumption (REC) on CO₂ emissions by utilizing secondary data from the World Bank spanning the years 2000 to 2022. The study hypothesizes that EG contributes to higher CO₂ emissions, whereas the REC leads to a reduction in CO₂ emissions. This study uses the Data Regression Results Panel with a Random Effect Model to analyze the data. The results show that EG contributes to economic growth accompanied by increased CO₂ emissions. Rapid increases in economic activity and industrialization, often driven by FDI and international trade, lead to increased use of fossil energy and CO₂ emissions. These findings support the pollution haven hypothesis that suggests that high-polluting production tends to move to countries with looser environmental regulations. However, the study also found that increased REC is associated with a decrease in CO₂ emissions. The theoretical significance of the results of this study shows that while EG can drive economic growth, it also has a negative impact on the environment. In practical terms, this research underscores the necessity for policies that promote the use of renewable energy, enhance energy efficiency, and enforce stringent environmental regulations to mitigate the adverse environmental effects of economic globalization. Measures such as the promotion of renewable energy, the transfer of green technologies, increasing public awareness of environmental sustainability, diversifying the economy into greener sectors, and developing green infrastructure are essential.

Key words: economic globalization; renewable energy; CO₂ emission; emerging countries.

JEL Q54, Q27

1. Introduction

In recent decades, emerging countries have been at the center of impressive economic growth [1]. This growth is mainly driven by the rapid industrialization process, rapid urbanization, and increased international trade activities as part of economic globalization [2]. However, behind this encouraging economic surge, there are consequences that cannot be ignored on the environment, especially the increase in carbon dioxide (CO₂) emissions.

Developing countries, in an effort to achieve rapid economic growth, often rely

on conventional energy sources such as coal and petroleum, which produce high CO₂ emissions [3]. Therefore, while enjoying the economic benefits of globalization, emerging markets are also faced with the challenge of reducing negative impacts on the environment, especially when it comes to CO₂ emissions that contribute to global climate change [4].

Economic globalization is a phenomenon in which a country's economic activities are increasingly connected with the economic activities of other countries through international trade, capital flows, and foreign investment [5]. These phenomena include the

removal of trade barriers, financial liberalization, and global market integration [6].

In general, economic globalization aims to improve market access, expand investment opportunities, and drive overall economic growth [7]. This is reflected in the increase in international trade, freer capital flows, and economic cooperation between countries. Economic globalization has been a key driver of economic growth in many developing countries, bringing significant economic benefits but also posing challenges related to economic inequality, environmental sustainability, and social impacts [8] which fully supports the contention that globalization has a strong integrated relationship with economic growth. Using panel fully-modified OLS (FMOLS).

Globalization is leading to a rise in the manufacturing of goods and services that frequently depend on fossil fuels, a primary contributor to CO₂ emissions [9]. In addition, the growth of the transportation sector resulting from the increase in international trade also contributed significantly, with motor vehicles mostly still using fossil fuels [10] courtesy of the significantly high pollutant emissions from this particular sector. Taking a cue from this, this paper follows sustainable development goals of the

United Nations, and investigates the impact of biomass energy consumption, fossil fuel energy consumption, and economic growth (GDP).

The adoption of technologies and inefficient production practices in foreign investment and technology transfer often exacerbate the situation, given that many recipient countries are not yet ready to implement more environmentally friendly technologies. Consequently, there is a rise in unsustainable energy use, resulting in an escalation of CO₂ emissions.

All of these factors pose serious challenges in climate change mitigation efforts, as globalization, while bringing economic benefits, also enlarges the global carbon footprint.

Energy has a crucial role in spurring the economic development process, especially in emerging countries that are experiencing rapid growth [11]. Nevertheless, many of these nations continue to rely heavily on traditional energy sources like coal, oil, and natural gas. This reliance has significantly contributed to CO₂ emissions. The situation is compounded by the fact that populous emerging economies such as China, Indonesia, India, Brazil, South Africa, and Russia are among the world's largest CO₂ emitters (Figure 1).

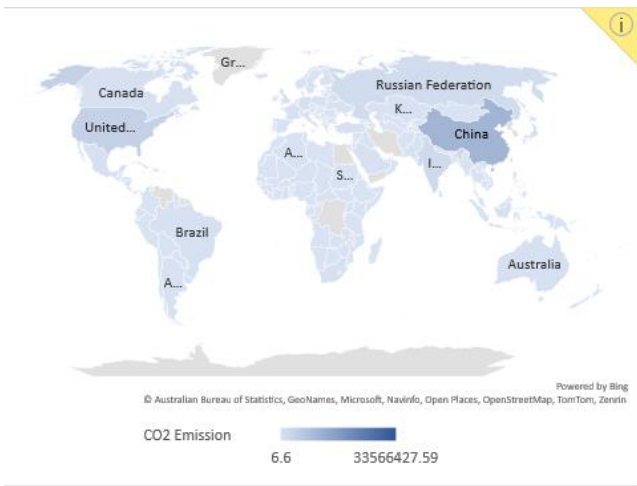


Figure 1. CO₂ Emission (kt) in the world

Source: World Bank, data processed (2024)

Various studies [12, 13] show that the increase in CO₂ emissions in emerging countries is largely due to the unsustainable growth of energy consumption in line with their economic growth. Thus, there is an urgent need for robust collaborative efforts to devise innovative solutions that can expedite the adoption of renewable energy and decrease reliance on fossil fuel sources in these countries.

In response to growing global awareness about the urgency of addressing climate change, developing nations are increasingly pressured to shift towards renewable energy sources. Renewable energies such as solar, wind, and hydroelectric power are seen as viable options to decrease CO₂ emissions while satisfying rising energy demands [14]. Embracing renewable energy in these countries not only offers significant environmental advantages but also enhances long-term energy security and economic stability [15]. Prior research has affirmed that expanding renewable energy use can effectively lower CO₂ emissions [16–18]. By accelerating the adoption of renewable energy, developing nations have the opportunity to reduce their reliance on fossil fuels, which are major contributors to CO₂ emissions.

Emerging markets encounter distinct challenges in maintaining a balance between economic growth and environmental sustainability. Effective and innovative policies are needed to ensure that economic globalization and the transition to renewable energy can go hand in hand to reduce CO₂ emissions without hindering economic growth. Further research is essential to comprehend the intricate relationships between renewable energy, economic globalization, and CO₂ emissions in emerging markets.

This study aims to analyze how the adoption of renewable energy and the process of economic globalization affect CO₂ emissions in developing countries.

The hypothesis of this research is that economic globalization increases CO₂ emissions, while renewable energy consumption lowers CO₂ emissions.

This research is expected to provide useful insights for policymakers in designing sustainable development strategies that integrate economic growth and environmental protection.

The structure of this research is as follows: Chapter 1 provides an introduction and background of the problem, Chapter 2 reviews the related literature, Chapter 3 explains the research methodology used, Chapter 4 presents the results of data analysis, and Chapter 5 presents conclusions and policy recommendations based on the findings of the research.

2. Literature Review

Research on economic globalization, renewable energy adoption, and CO₂ emissions in developing countries has become a major focus in the academic literature. Economic globalization, characterized by increased trade, foreign direct investment (FDI), and technology transfer, not only brings economic benefits such as increased global market access and higher exports, but also has a complex impact on the environment.

The results of research by Mirziyoyeva & Salahodjaev [19] show that renewable energy significantly reduces carbon emissions, while GDP per capita has an inverted U-shaped relationship with CO₂ emissions. This confirms the EKC hypothesis in countries with a high level of globalization.

Research results Pata [20] show a two-way relationship between agriculture and environmental degradation, as well as a one-way relationship from globalization to the ecological footprint and CO₂ emissions, and from renewable energy to ecological indicators. Renewable energy has proven important in reducing environmental pollution in Brazil and China.

Thus, while economic globalization brings the potential for significant economic growth for developing countries, it is also necessary to consider its impact on the environment, especially in the context of global warming and climate change that is increasingly real. Therefore, it is important to strengthen policies that encourage the adoption of renewable energy as part of a strategy to reduce CO₂ emissions globally.

FDI as one of the precursors of globalization has proven to be an important motor in the economic development of developing countries.

Study Osano & Koine [21] reveals that investment in the energy sector has fueled the development of new technologies and increased trade competition, ultimately increasing the efficiency and effectiveness of the industry through the transfer of knowledge to local investors. Trade openness encourages the transfer of new technology, technological progress, and increased productivity, with benefits depending on the level of economic openness [22].

Hille et al. [23] research shows that the influx of FDI simultaneously stimulates regional economic growth and reduces air pollution levels. However, the rapid industrialization process that is often caused by FDI can produce negative impacts on the environment if not balanced with strict environmental policies. Other studies have found that increased industrial activity can lead to increased CO₂ emissions and other pollutants, especially in countries that do not yet have adequate environmental regulations.

The Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis posits that during the initial stages of economic growth, environmental degradation and pollution levels rise in tandem with rapid industrialization [24]. However, upon reaching a specific level of economic development, further growth can enhance environmental quality due to heightened awareness and the implementation of cleaner technologies.

On the other hand, the Pollution Haven Hypothesis suggests that globalization allows developed countries to move more polluting industries to developing countries that have weaker environmental regulations, which can lead to an increase in environmental problems in those countries [25]. Both concepts offer valuable insights into how economic growth and globalization can impact the environment, either positively or negatively, based on the policies enacted by governments and the level of public awareness regarding environmental issues.

The concept of Technology Transfer, driven by globalization, plays a crucial role in introducing green technologies to developing countries.

The research by Pandey et al. [26] re-directs the conversation about international technology transfer (ITT) for sustainable development in developing countries by exploring ITT in the health, agriculture, and climate and energy sectors. Highlighting key elements for successful SDG implementation, this research proposes a more comprehensive «innovation cooperation» framework over «technology transfer». It emphasizes the importance of equitable partnerships and the development of local innovation capabilities, effectively helping developing countries achieve sustainable development.

Zhang et al. [27] emphasize the need for innovation in environmentally friendly technologies and effective technology transfer to developing countries to support the implementation of green economy initiatives. They highlight sustainable production efficiency and natural resource management as crucial for enhancing economic performance and reducing negative environmental impacts. The study underscores the importance of fair international cooperation in technology transfer to foster sustainable green economic development globally.

The study Umar et al. [28] contributes significantly by linking globalization with technology transfer in the context of CO₂ emissions in China. It finds that globalization positively impacts environmental quality, highlighting the importance of international interactions in advancing eco-friendly technologies. However, the study also reveals that globalization can increase CO₂ emissions through rapid economic growth, emphasizing the need for sustainable technology transfer to mitigate long-term environmental impacts. Globalization facilitates the transfer of advanced technology through foreign direct investment (FDI) from developed countries to those with lower technological capabilities. This underscores globalization's crucial role in enhancing economic growth by fostering technological innovation and investment in these countries.

The study by Khan et al. [29] highlights that countries like Bangladesh experience significant positive impacts on CO₂ emissions and environmental degradation due to the use of non-renewable energy and globalization indices.

The adoption of renewable energy in developing countries is influenced by a variety of factors, including economic incentives, technological advancements, and increasing environmental awareness.

Fatima et al. [30] highlight significant challenges in developing renewable energy generation (REG) in countries like Pakistan. Their research aims to identify critical factors influencing REG development through multi-aspect analysis and partial least squares structural modeling. Findings indicate that poor governance, adaptation of renewable energy, and government energy policies are major barriers, while available resources, electricity production approaches, and demand for renewable energy drive REG

development. Public acceptance is also identified as a key contributor to promoting REG. The adoption of renewable energy in developing countries, such as India, is influenced by various factors including economic incentives, technological advancements, and increasing environmental awareness.

Luthra et al. [31] identified 28 major barriers to implementing renewable and green energy technologies in India. Using the Analytical Hierarchy Process (AHP), researchers ranked these barriers based on inputs from experts in academia and industry, and conducted sensitivity analysis to ensure stable prioritization of barriers in promoting broader adoption of renewable energy in India.

The declining costs of renewable energy technologies such as solar and wind make them more affordable and appealing to developing countries. These measures not only reduce dependence on fossil fuels but also decrease CO₂ emissions from the energy sector, especially in countries experiencing rapid industrialization [32]. However, the lack of infrastructure challenges and regulatory barriers remain significant obstacles in the implementation of renewable energy in many developing countries [33]. Therefore, achieving the full potential of renewable energy in reducing CO₂ emissions requires a combination of solid policies, investment in adequate infrastructure, and sustained support from the government and the private sector [31].

Overall, the literature shows that economic globalization has significant potential in influencing CO₂ emissions in developing countries through technology transfer and increased economic activity. While technology transfer can introduce effective clean energy solutions, the increase in economic activity induced by globalization can also increase energy consumption and CO₂

emissions, especially in countries with weak environmental regulations. The adoption of renewable energy has proven to be a crucial strategy in reducing dependence on fossil fuels and reducing the global carbon footprint. The declining cost of technologies such as solar and wind has made renewable energy increasingly affordable and attractive to developing countries.

However, the lack of infrastructure challenges and regulatory barriers remain serious obstacles that need to be overcome to facilitate wider adoption of renewable energy around the world. Thus, achieving the goal of reducing CO₂ emissions globally requires a combination of solid policies, investment in adequate infrastructure, and sustained support from governments and the private sector. This is an important step in promoting sustainable economic growth and maintaining the sustainability of the global environment.

3. Data and Methods

3.1. Variable Operational Definition

This study examines economic globalization and renewable energy consumption as independent variables, while CO₂ emissions as dependent variables.

The sample of this study uses Brazil, China, Indonesia, India, the Russian Federation, and South Africa which represent emerging countries. These countries were chosen because of their rapid economic growth, large population, industrialization, wealth of natural resources, foreign investment, economic reforms, and improved infrastructure, making them important in the global economy despite the challenges.

The operational description of the variables is explained in Table 1.

This research utilizes secondary data sourced from the World Bank covering the period from 2000 to 2022. The study employs panel data regression analysis, incorporating common, fixed, and random effects models.

Table 1. Variable Operational Definition

Variable	Description	Unit	Source
CO ₂ Emission (CO ₂)	Carbon dioxide emissions stem from the burning of fossil fuels and the production of cement. This includes CO ₂ released during the use of solid, liquid, and gaseous fuels, as well as from gas combustion	CO ₂ emissions (kt)	World Bank
Economic Globalization (EG)	A measurement instrument used to evaluate a country's degree of economic integration with the global economy usually includes indicators concerning international trade, foreign direct investment (FDI), labor mobility, technology and innovation, and international business relations	Index	World Bank
Renewable energy consumption (REC)	Renewable energy consumption constitutes a portion of the overall final energy consumption obtained from renewable energy sources	% of total final energy consumption	World Bank

Source: EViews, data processed (2024).

The choice of the most suitable model is determined through tests such as the Chow, Hausman, and LM test. The regression equation model used in this study is outlined as follows:

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 EG_{it} + \beta_2 REC_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

Where: CO_2 is CO_2 emission, EG is Economic Globalization, REC is Renewable energy consumption, i is cross section, t is time series, ε is error term.

3.2. Variable Movement Analysis

Brazil, China, Indonesia, India, Russia, and South Africa are the countries with the highest levels of CO_2 emissions in the world. Based on Figure 2, China shows the highest increase in CO_2 emissions, followed by India which also experienced a significant increase. Russia is in third place with fairly high emissions, although not as high as China and India. Meanwhile, Indonesia, Brazil, and South Africa have relatively lower CO_2 emission levels compared to China and India, but still contribute significantly to total global emissions. The emissions from these countries underscore their significant role in the global economy and highlight the substantial

challenges they face in mitigating the impacts of climate change.

China, as the world's largest consumer of energy, also holds the top position as the largest emitter of CO_2 . The country has established ambitious targets to reach a peak in CO_2 emissions by 2030 and to reduce carbon intensity by 60–65 percent compared to 2005 levels.

Moreover, China has committed to achieving carbon neutrality by 2060. Over the past four decades, China has undergone a rapid transition from an agricultural economy to an industrialized one — a transformation that typically spans longer periods in developed nations. This rapid economic expansion has been propelled by industrialization and substantial investments, resulting in heightened energy consumption and CO_2 emissions [34]. National energy demand has seen a significant upsurge. Consequently, since 2007, China has held the distinction of being the world's foremost emitter of CO_2 , contributing to nearly 30 % of global emissions. Additionally, according to research [35], sustained economic growth and a burgeoning population are anticipated to further drive the long-term increase in CO_2 emissions in China.

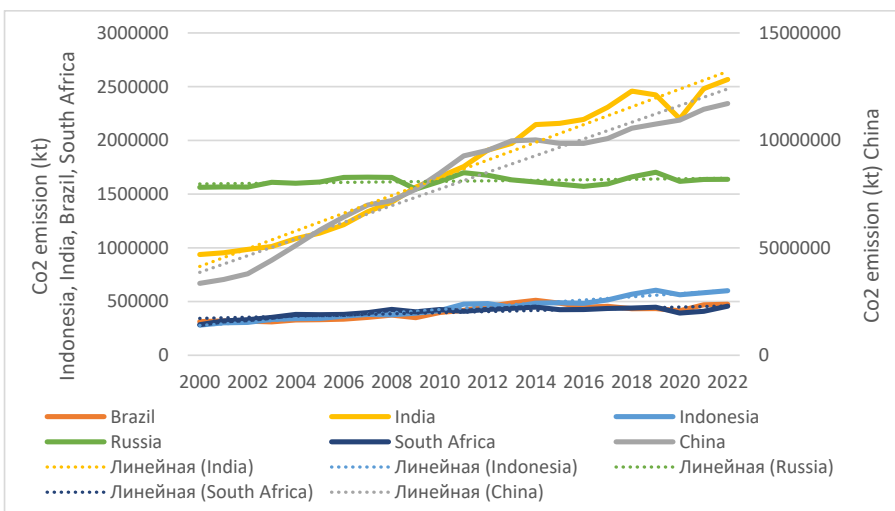


Figure 2. CO_2 Emissions in Selected Emerging Countries

Source: World Bank, (2024)

India ranks among the leading global consumers of coal and possesses a densely populated demographic [36]. By 2019, per capita CO₂ emissions in India had reached approximately 2 tons per individual, positioning it as the third-largest emitter of CO₂ after China and the United States. In 2016, the energy sector alone contributed to around 83 % of India's total greenhouse gas (GHG) emissions, including emissions from land use, land-use change, and forestry. This underscores the significant role of the energy sector in CO₂ emissions and highlights substantial potential for decarbonization [37]. Several studies have investigated India's shift towards low-carbon energy, exploring various pathways for sustainable economic growth under current trends and scenarios. These pathways are informed by national carbon budget allocations and advancements in technology.

Economic globalization, characterized by heightened interaction among businesses, governments, and institutions globally, is widely perceived to stimulate international trade, FDI, industrial efficiency, capital flow, and innovation [38]. India, Brazil, China, and Russia are showing an increase

in economic globalization. Meanwhile, Indonesia and South Africa showed a decline (Figure 3).

Globalization impacts the environment through income effects, engineering effects, and composition effects. The income effect demonstrates that globalization stimulates economic production and trade, resulting in heightened environmental degradation due to increased carbon emissions [39]. Additionally, economic globalization contributes to environmental harm by often unsustainable exploitation of natural resources in developing countries [40]. One example is the increasing demand for agricultural products resulting in widespread deforestation.

India and China have seen substantial annual increases in their globalization index over recent decades. This heightened globalization, coupled with expanded investment prospects, is anticipated to attract foreign direct investment from multinational corporations. As a result, these multinational companies will bring the latest technologies that are more energy-efficient to these developing countries [39].

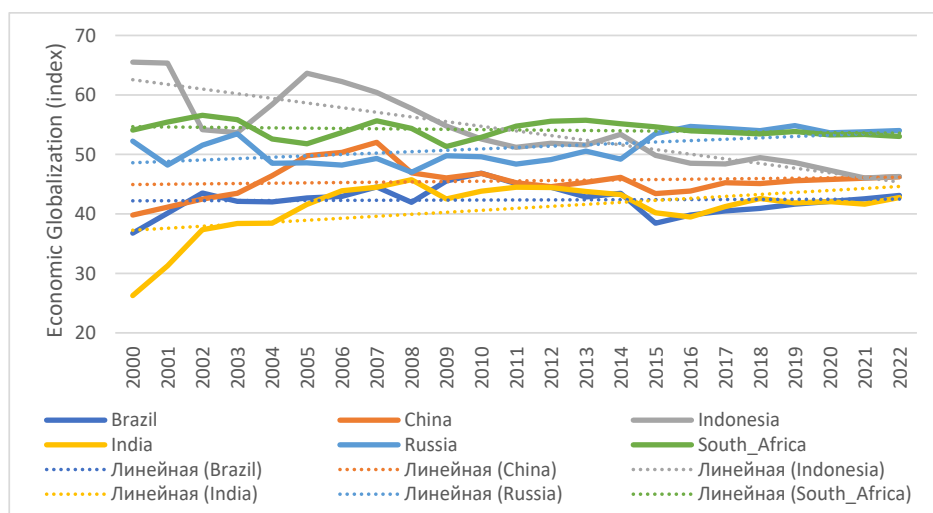


Figure 3. Economic Globalization in Selected Emerging Countries

Source: World Bank, (2024)

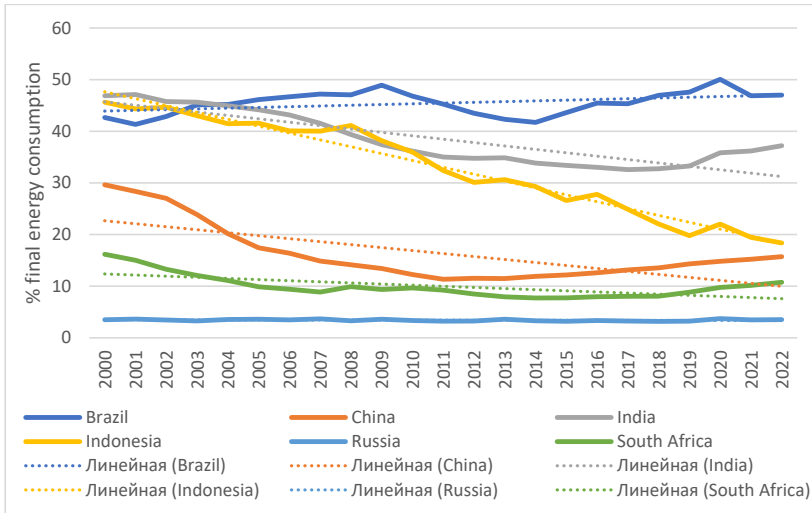


Figure 4. Renewable energy consumption in Selected Emerging Countries

Source: World Bank, (2024)

REC in emerging markets has attracted significant attention due to its potential to mitigate environmental degradation and address energy security concerns. As depicted in Figure 4, only Brazil showed an increase in REC, whereas the other emerging markets (China, Indonesia, India, Russia, and South Africa) exhibited a decrease.

Several factors contribute to this decline, including a prioritization of economic growth over environmental sustainability, as indicated by the prevailing ecosystem development scenario. Moreover, household-level reliance on non-renewable energy resources also plays a role, particularly given the large populations in these countries. To address these challenges, it is imperative to integrate Sustainable Development Goals (SDGs) [41].

4. Results

The Chow test outcome of 0.0000 indicates that the Fixed Effect Model (FEM) is more suitable than the Common Effect Model (CEM) due to the significant difference observed between groups of countries. Conversely, the Hausman test result of 0.1013, with a p-value exceeding 0.05, suggests that the Random Effect Model (REM) is preferable over the FEM, as the

disparity between fixed and random estimates is not statistically significant.

However, the LM test yielding a result of 0.0000 demonstrates that the REM is more appropriate than the CEM, given the significant variation observed between countries. In summary, these findings collectively indicate that the REM is the most suitable choice for this analysis, as it accommodates specific country-level variations while maintaining estimation efficiency (Table 2).

The results of the estimation model in this study are described in equation (2):

CO_{2it} = 13.0007 – 0.3999EG_{it} + 0.6732REC_{it} + ε_{it}. (2)

The regression results suggest that REC and EG exert a notable influence on CO₂ emissions in developing countries. An intercept coefficient of 13.001 suggests that when both REC and EG are zero, the predicted average CO₂ emissions stand at 13.00073 units. Renewable energy consumption exhibits a coefficient of –0.039 with a highly significant, indicating that a one-unit increase in REC reduces CO₂ emissions by 0.0399 units.

Table 2. Regression Results

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	13.00073	0.997485	13.03352	0.0000***
EG	0.473245	0.239942	1.972328	0.0506*
REC	−0.039997	0.003735	−10.70976	0.0000***
R-squared	0.454979	Mean dependent var		0.651231
F-statistic	56.348***	Durbin-Watson stat		0.857936
Chow	0.0000			
Hausman test	0.1013			
LM test	0.0000			
Cross Section Effect				
_Brazil	−0.066506			
_China	1.685538			
_Indonesian	−0.594231			
_India	0.991603			
_Russia	−0.426120			
_SouthAfrica	−1.590285			

Source: EViews, data processed (2024)

This underscores the significant potential of renewable energy in mitigating CO₂ emissions. In contrast, EG shows a coefficient of 0.4732 and is significant at the 5 percent (p-value 0.0506), indicating that a one-unit increase in EG increases CO₂ by 0.4732 units. This highlights the role of EG in contributing to CO₂ emissions in emerging markets.

The coefficients between individuals in the random effects model show how each country deviates from the mean intercept. Countries like China and India have higher-than-average CO₂ emissions, while countries like Brazil, Indonesia, Russia, and especially South Africa have lower-than-average CO₂ emissions after considering other variables in the model. This shows that there are specific variations between countries that need to be considered in the analysis and policy of reducing CO₂ emissions.

5. Discussion

This research indicates that economic globalization has a substantial and statistically significant impact on CO₂ emissions in emerging markets. Economic globalization, characterized by enhanced global economic integration through increased international trade, FDI flows, and technology transfer, has significantly bolstered economic growth in emerging markets.

Empirical studies show that economic globalization often has an impact on increasing CO₂ emissions, in line with studies by [42–44]. The main causes include increased economic activity, rapid industrialization, infrastructure development, and changes in consumption patterns. Increased economic activity, often propelled by FDI and international trade, stimulates industrial sector expansion and greater mobility,

leading to increased reliance on fossil fuels and subsequent CO₂ emissions.

The impact of globalization on energy consumption and environmental outcomes aligns with the «pollution haven hypothesis». This theory posits that industries with high pollution levels in developed countries, constrained by stringent environmental regulations, tend to relocate to developing countries with more relaxed environmental laws [45]. This study provides support for this hypothesis.

In addition, FDI tends to go to industrial sectors that require a lot of energy, and often still use less efficient technologies in energy use. This can increase the intensity of CO₂ emissions per unit of production. Rapid infrastructure development also requires the use of large amounts of energy, both in construction and operation, which contributes to CO₂ emissions.

Conversely, shifts in consumption patterns driven by economic globalization also contribute to rising CO₂ emissions. Enhanced access to global consumer goods like electronics and clothing can escalate energy demands for their production and transportation, thereby increasing CO₂ emissions. Addressing the adverse environmental impacts of economic globalization requires effective policy interventions. These measures include promoting renewable energy adoption, enhancing energy efficiency, enforcing stringent environmental regulations, and fostering the dissemination of green technologies. Moreover, raising public awareness about the significance of environmental sustainability is crucial to fostering more environmentally friendly consumption patterns.

Studies indicate that higher levels of REC correlate with reduced CO₂ emissions, indicating a statistically significant negative relationship between the two variables. These findings align with earlier hypotheses and research conducted by [46, 47] the emission–growth–renewables nexus for

a global panel of 120 countries and four income-based subpanels over the period 1995–2015 is examined. Fully considering the potential cross-sectional dependence and slope heterogeneity, a series of econometric techniques allowing for cross-sectional dependence and slope heterogeneity is utilised. Cross-sectional dependence and slope heterogeneity are confirmed for the global panel as well as for all four subpanels. Only for the global panel, high-income subpanel and upper-middle-income subpanel is the environmental Kuznets curve (EKC. As developing countries increase their utilization of renewable energy sources like solar, wind, and biomass, there tends to be a corresponding decrease in CO₂.

This underscores the effectiveness of adopting renewable energy as a solution to mitigate the carbon footprint of developing nations. Embracing renewable energy not only contributes to reducing CO₂ emissions but also yields long-term economic benefits such as job creation, enhanced energy security, and reduced reliance on non-renewable fossil fuels. Therefore, policies aimed at promoting the development and adoption of renewable energy in emerging markets can serve as a robust strategy to achieve global climate change mitigation goals while bolstering economic and energy resilience at the national level.

Countries with high CO₂ emissions such as China, India, Indonesia, Russia, South Africa, and Brazil are facing serious challenges related to environmental impact [47]. They have begun to switch to renewable energy as part of a solution to reduce CO₂ emissions. China and India, the world's two largest economies, have increased their renewable energy capacity, especially solar and wind, to offset their energy needs [48]. Indonesia, with its large renewable energy potential, is also trying to increase the contribution of renewable energy in its energy mix [49]. Russia, as a ma-

jor energy producer, is starting to invest more in renewable energy such as wind and solar. While South Africa and Brazil, despite facing infrastructure and financial challenges, have also shown a commitment to developing renewable energy as part of their strategies for environmental sustainability. Thus, efforts to increase renewable energy are key for emerging markets in reducing their carbon footprint and achieving sustainable economic growth.

In evaluating the results of this study, it is necessary to recognize several limitations that can affect the interpretation of the findings. First, the use of secondary data from available sources may limit the ability to conduct in-depth analyses of more specific or dynamic variables in the context of the relationship between economic globalization and CO₂ emissions. In addition, the complexity of factors such as political dynamics and environmental policies in developing countries can exert significant influences that cannot be fully included in the framework of this analysis. A deeper understanding will require further research to better explore these dynamics.

However, the implications of this study emphasize the importance of strengthening policies and strategies that support the transition to a more sustainable economy. Measures such as the promotion of renewable energy, improved energy efficiency, and the implementation of strict environmental regulations can play a crucial role in reducing the negative impact of economic globalization on the environment.

In addition, public awareness of the importance of sustainability also needs to be increased to change consumption patterns towards a more environmentally friendly lifestyle. These implications underscore that this research is not only relevant for academic understanding, but also has direct application in formulating policies that are responsive to current global environmental challenges.

6. Conclusion

This research indicates that economic globalization exerts a positive and significant impact on CO₂ in emerging countries. Globalization, characterized by increased international trade, FDI, and technology transfers, has driven economic expansion but has also led to heightened CO₂ emissions. The increased economic activity and industrialization associated with globalization necessitate greater energy consumption, often sourced from fossil fuels, thereby increasing CO₂ emissions.

The findings of this study align with the pollution haven hypothesis, which suggests that high-polluting production tends to relocate to countries with less stringent environmental regulations. Moreover, shifts in global consumption patterns and rapid infrastructure development further contribute to rising CO₂ emissions.

However, the study also reveals that an increase in renewable energy consumption correlates with a reduction in CO₂ emissions. This underscores the potential of adopting renewable energy sources such as solar, wind, and biomass as effective measures to mitigate the carbon footprint of emerging markets.

Theoretically, this research adds to the understanding of how economic globalization affects CO₂ emissions in emerging countries, supports the pollution haven hypothesis, and strengthens the argument that the transition to renewable energy can reduce negative environmental impacts. These findings make an important contribution to the literature on economic globalization and environmental sustainability, by showing that the relationship between globalization and CO₂ emissions is complex and can be mitigated through appropriate policies.

In practical terms, this study emphasizes the need for comprehensive policy implementation to address the negative impact of economic globalization on CO₂

emissions in developing countries. Policies that encourage the adoption of renewable energy, such as solar, wind, and biomass energy, are critical to reducing the carbon footprint and achieving climate change mitigation goals. In addition, improving energy efficiency in the industrial and infrastructure sectors should be a priority, with the introduction of stricter energy efficiency standards and training programs for industry players.

Stricter environmental regulations, including carbon taxes and emission limits, must be implemented and enforced to control CO₂ emissions from economic and industrial activities. The transfer of green technology from developed countries through international cooperation and technical assistance programs will accelerate

the adoption of green technology in developing countries. Increasing public awareness of the importance of environmental sustainability through educational campaigns and community programs will help change consumption patterns to be more environmentally friendly.

In addition, economic diversification by encouraging more environmentally friendly sectors and the development of green infrastructure that is efficient in energy use will reduce dependence on high-emission industrial sectors. The implementation of these measures will result in significant reductions in CO₂ emissions, support sustainable economic growth, improve energy security, and create long-term social and economic benefits for communities in developing countries.

References

1. Li, J., Lin, B. (2019). The sustainability of remarkable growth in emerging economies. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol. 145, 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.036>
2. Kaya, Y. (2010). Globalization and Industrialization in 64 Developing Countries, 1980–2003. *Social Forces*, Vol. 88, Issue 3, 1153–1182. <https://doi.org/10.1353/sof.0.0300>
3. Shahsavari, A., Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 90, 275–291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>
4. Filho, W.L., Balogun, A.-L., Olayide, O.E., et al. (2019). Assessing the impacts of climate change in cities and their adaptive capacity: Towards transformative approaches to climate change adaptation and poverty reduction in urban areas in a set of developing countries. *Science of The Total Environment*, Vol. 692, 1175–1190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.227>
5. Coulibaly, S.K., Erbao, C., Metuge Mekongcho, T. (2018). Economic globalization, entrepreneurship, and development. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 127, 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.028>
6. Siddiqui, K. (2015). Trade Liberalization and Economic Development: A Critical Review. *International Journal of Political Economy*, Vol. 44, Issue 3, 228–247. <https://doi.org/10.1080/08911916.2015.1095050>
7. Grossman, G.M., Helpman, E. (2015). Globalization and Growth. *Gospodarka Narodowa. The Polish Journal of Economics*, Vol. 280, No. 6, 131–139. <https://doi.org/10.33119/GN/100840>
8. Vlahinić Lenz, N., Fajdetić, B. (2021). Globalization and GHG Emissions in the EU: Do We Need a New Development Paradigm? *Sustainability*, Vol. 13, Issue 17, 9936. <https://doi.org/10.3390/su13179936>
9. Ibrahiem, D.M., Hanafy, S.A. (2020). Dynamic linkages amongst ecological footprints, fossil fuel energy consumption and globalization: an empirical analysis. *Management of Environmental Quality*, Vol. 31, Issue 6, 1549–1568. <https://doi.org/10.1108/MEQ-02-2020-0029>
10. Umar, M., Ji, X., Kirikkaleli, D., Alola, A.A. (2021). The imperativeness of environmental quality in the United States transportation sector amidst biomass-fossil energy consump-

tion and growth. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 285, 124863. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124863>

11. Wu, L., Broadstock, D.C. (2015). Does economic, financial and institutional development matter for renewable energy consumption? Evidence from emerging economies. *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*, Vol. 8, No. 1, 20–39. <https://doi.org/10.1504/IJEPEE.2015.068246>

12. Mensah, J.T. (2014). Carbon emissions, energy consumption and output: A threshold analysis on the causal dynamics in emerging African economies. *Energy Policy*, Vol. 70, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.038>

13. Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., Filis, G. (2017). Energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth: An ethical dilemma. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 68, Part 1, 808–824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105>

14. Razmjoo, A., Gakenia Kaigutha, L., Vaziri Rad, M.A., Marzband, M., Davarpanah, A., Denai, M. (2021). A Technical analysis investigating energy sustainability utilizing reliable renewable energy sources to reduce CO₂ emissions in a high potential area. *Renewable Energy*, Vol. 164, 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.042>

15. Movsessian, M.M. (2020). Of Renewable Energy, Energy Democracy, and Sustainable Development: A Roadmap to Accelerate the Energy Transition in Developing Countries. *Energy Research & Social Science*, Vol. 70, 101716. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101716>

16. Bilgili, F., Koçak, E., Bulut, Ü. (2016). The dynamic impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 54, 838–845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>

17. Waheed, R., Chang, D., Sarwar, S., Chen, W. (2018). Forest, agriculture, renewable energy, and CO₂ emission. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 172, 4231–4238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>

18. Dong, K., Sun, R., Hochman, G. (2017). Do natural gas and renewable energy consumption lead to less CO₂ emission? Empirical evidence from a panel of BRICS countries. *Energy*, Vol. 141, 1466–1478. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.092>

19. Mirziyoyeva, Z., Salahodjaev, R. (2023). Renewable energy, GDP and CO₂ emissions in high-globalized countries. *Frontiers in Energy Research*, Vol. 11, 1123269. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1123269>

20. Pata, U.K. (2021). Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO₂ emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective. *Renewable Energy*, Vol. 173, 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.125>

21. Osano, H.M., Koine, P.W. (2016). Role of foreign direct investment on technology transfer and economic growth in Kenya: A case of the energy sector. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, Vol. 5, 31. <https://doi.org/10.1186/s13731-016-0059-3>

22. Zahonogo, P. (2017). Trade and economic growth in developing countries: Evidence from sub-Saharan Africa. *Journal of African Trade*, Vol. 3, Issue 1, 5. <https://doi.org/10.1016/j.joat.2017.02.001>

23. Hille, E., Shahbaz, M., Moosa, I. (2019). The impact of FDI on regional air pollution in the Republic of Korea: A way ahead to achieve the green growth strategy? *Energy Economics*, Vol. 81, 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.04.004>

24. Isik, C., Ongan, S., Özdemir, D. (2019). The economic growth/development and environmental degradation: evidence from the US state-level EKC hypothesis. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 26, 30772–30781. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06276-7>

25. Singhania, M., Saini, N. (2021). Demystifying pollution haven hypothesis: Role of FDI. *Journal of Business Research*, Vol. 123, 516–528. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.007>

26. Pandey, N., de Coninck, H., Sagar, D. (2022). Beyond technology transfer: Innovation cooperation to advance sustainable development in developing countries. *WIREs Energy and Environment*, Vol. 11, Issue 2, e422. <https://doi.org/10.1002/wene.422>

27. Zhang, L., Xu, M., Chen, H., Li, Y., Chen, S. (2022). Globalization, Green Economy and Environmental Challenges: State of the Art Review for Practical Implications. *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 10, 870271. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.870271>
28. Umar, M., Ji, X., Kirikkaleli, D., Shahbaz, M., Zhou, X. (2020). Environmental cost of natural resources utilization and economic growth: Can China shift some burden through globalization for sustainable development? *Sustainable Development*, Vol. 28, Issue 6, 1678–1688. <https://doi.org/10.1002/sd.2116>
29. Khan, M.B., Saleem, H., Shabbir, M. S., Huobao, X. (2022). The effects of globalization, energy consumption and economic growth on carbon dioxide emissions in South Asian countries. *Energy & Environment*, Vol. 33, Issue 1, 107–134. <https://doi.org/10.1177/0958305X20986896>
30. Fatima, N., Li, Y., Ahmad, M., Jabeen, G., Li, X. (2021). Factors influencing renewable energy generation development: a way to environmental sustainability. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 28, 51714–51732. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14256-z>
31. Luthra, S., Kumar, S., Garg, D., Haleem, A. (2015). Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 41, 762–776. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.077>
32. Abdmouleh, Z., Alammari, R., Gastli, A. (2015). Review of policies encouraging renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 45, 249–262. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.035>
33. Ghosn, F., Zreik, M., Awad, G., Karouni, G. (2024). Energy transition and sustainable development in Malaysia: Steering towards a greener future. *International Journal of Renewable Energy Development*, Vol. 13, No. 3, 362–374. <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.60110>
34. Wen, H., Chen, Z., Yang, Q., Liu, J., Nie, P. (2022). Driving forces and mitigating strategies of CO₂ emissions in China: A decomposition analysis based on 38 industrial sub-sectors. *Energy*, Vol. 245, 123262. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123262>
35. Shi, H., Chai, J., Lu, Q., Zheng, J., Wang, S. (2022). The impact of China's low-carbon transition on economy, society and energy in 2030 based on CO₂ emissions drivers. *Energy*, Vol. 239, 122336. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122336>
36. Ahmed, M., Shuai, C., Ahmed, M. (2022). Influencing factors of carbon emissions and their trends in China and India: a machine learning method. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 29, 48424–48437. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18711-3>
37. Vats, G., Mathur, R. (2022). A net-zero emissions energy system in India by 2050: An exploration. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 352, 131417. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131417>
38. Liu, F., Sim, J., Sun, H., Edziah, B.K., Adom, P.K., Song, S. (2023). Assessing the role of economic globalization on energy efficiency: Evidence from a global perspective. *China Economic Review*, Vol. 77, 101897. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2022.101897>
39. Hrahman, H.U., Zaman, U., Górecki, J. (2021). The Role of Energy Consumption, Economic Growth and Globalization in Environmental Degradation: Empirical Evidence from the BRICS Region. *Sustainability*, Vol. 13, Issue 4, 1924. <https://doi.org/10.3390/su13041924>
40. Nugroho, A.D., Bhagat, P.R., Magda, R., Lakner, Z. (2021). The impacts of economic globalization on agricultural value added in developing countries. *PLoS One*, Vol. 16, Issue 11, e0260043. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260043>
41. Sharma, R., Sinha, A., Kautish, P. (2021). Does renewable energy consumption reduce ecological footprint? Evidence from eight developing countries of Asia. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 285, 124867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124867>
42. Muhammad, B., Khan, S. (2021). Understanding the relationship between natural resources, renewable energy consumption, economic factors, globalization and CO₂ emissions in developed and developing countries. *Natural Resources Forum*, Vol. 45, Issue 2, 138–156. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12220>
43. Le, H.P., Ozturk, I. (2020). The impacts of globalization, financial development, government expenditures, and institutional quality on CO₂ emissions in the presence of environmental

Kuznets curve. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 27, 22680–22697. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08812-2>

44. Kalayci, C., Hayaloglu, P. (2018). The Impact of Economic Globalization on CO₂ Emissions: The Case of NAFTA Countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 9, No. 1, 356–360. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.7233>

45. Gozgor, G., Mahalik, M.K., Demir, E., Padhan, H. (2020). The impact of economic globalization on renewable energy in the OECD countries. *Energy Policy*, Vol. 139, 111365. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111365>

46. Dong, K., Dong, X., Jiang, Q. (2020). How renewable energy consumption lower global CO₂ emissions? Evidence from countries with different income levels. *World Economy*, Vol. 43, Issue 6, 1665–1698. <https://doi.org/10.1111/twec.12898>

47. Anser, M.K., Ali, S., Mansoor, A., et al. (2024). Deciphering the dynamics of human-environment interaction in China: Insights into renewable energy, sustainable consumption patterns, and carbon emissions. *Sustainable Futures*, Vol. 7, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100184>

48. Li, L., Lin, J., Wu, N., et al. (2022). Review and outlook on the international renewable energy development. *Energy and Built Environment*, Vol. 3, Issue 2, 139–157. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.002>

49. Simanjuntak, J.P., Al-attab, K.A., Daryanto, E., Tambunan, B.H., Eswanto. (2022). Bioenergy as an Alternative Energy Source: Progress and Development to Meet the Energy Mix in Indonesia. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, Vol. 97, No. 1, 85–104. <https://doi.org/10.37934/arfmts.97.1.85104>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Xenaneira Shodroкова

S.E, Master of Economics Student, Faculty of Economics, Sriwijaya University, Prabumulih, Indonesia (Jl. Palembang, Ogan Ilir Regency, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Prabumulih City, South Sumatra 30862, Indonesia); ORCID <https://orcid.org/0009-0003-8034-6617> e-mail: xenaneira12@gmail.com

Anna Yulianita

S.E., M.Si, Lecturer and Coordinator of the Master of Economics Study Program, Faculty of Economics, Sriwijaya University, Prabumulih, Indonesia (Jl. Palembang, Ogan Ilir Regency, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Prabumulih City, South Sumatra 30862, Indonesia); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8744-3274> e-mail: annayulia@unsri.ac.id

Abdul Bashir

S.E., M.Si, Lecturer in Development Economics, Faculty of Economics, Sriwijaya University, Prabumulih, Indonesia (Jl. Palembang, Ogan Ilir Regency, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Prabumulih City, South Sumatra 30862, Indonesia); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4771-1366> e-mail: abd.bashir@unsri.ac.id

FOR CITATION

Shodroкова, X., Yulianita, A., Bashir, A. (2024). Economic Globalization, Renewable Energy, and CO₂ Emissions in Selected Emerging Countries. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 602–622. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.024>

ARTICLE INFO

Received June 14, 2024; Revised July 9, 2024; Accepted July 16, 2024.

Экономическая глобализация, возобновляемые источники энергии и выбросы CO₂ в отдельных странах с формирующейся рыночной экономикой

К. Шодрокова , А. Юлианита , А. Башир 

Университет Шривиджайя,
г. Прабумулих, Индонезия

 xenaneira12@gmail.com

Аннотация. Явление экономической глобализации оказывает значительное влияние на выбросы CO₂ в развивающихся странах. Используя вторичные данные Всемирного банка за период с 2000 по 2022 г., это исследование рассматривает влияние экономической глобализации и потребления возобновляемых источников энергии на выбросы CO₂. В исследовании выдвигается гипотеза, что экономическая глобализация способствует более высоким выбросам CO₂, в то время как потребление возобновляемых источников энергии приводит к сокращению выбросов CO₂. В исследовании для анализа данных используется панель результатов регрессии данных с моделью случайных эффектов. Результаты показывают, что экономическая глобализация способствует экономическому росту, сопровождаемому увеличением выбросов CO₂. Быстрый рост экономической активности и индустриализации, часто обусловленный прямыми иностранными инвестициями и международной торговлей, приводят к расширению использования ископаемых видов топлива и выбросов CO₂. Эти результаты подтверждают гипотезу о загрязнении, которая предполагает, что производство с высоким уровнем загрязнения имеет тенденцию перемещаться в страны с более мягкими экологическими нормами. Исследование также показало, что увеличение потребления возобновляемых источников энергии связано со снижением выбросов CO₂. Теоретическая значимость результатов исследования показывает, что, хотя экономическая глобализация может стимулировать экономический рост, он также оказывает негативное влияние на окружающую среду. В практическом плане исследование подчеркивает необходимость политики, способствующей использованию возобновляемых источников энергии, повышению энергоэффективности и обеспечению соблюдения строгих экологических норм для смягчения неблагоприятных экологических последствий экономической глобализации. Такие меры, как продвижение возобновляемых источников энергии, передача зеленых технологий, повышение осведомленности общественности об экологической устойчивости, диверсификация экономики в более зеленые сектора и развитие зеленой инфраструктуры, имеют важное значение.

Ключевые слова: экономическая глобализация; возобновляемая энергетика; выбросы CO₂; развивающиеся страны.

Список использованных источников

1. Li J., Lin B. The sustainability of remarkable growth in emerging economies // Resources, Conservation & Recycling. 2019. Vol. 145. Pp. 349–358. <https://doi.org/10.1016/j.rescon-rec.2019.01.036>
2. Kaya Y. Globalization and Industrialization in 64 Developing Countries, 1980–2003 // Social Forces. 2010. Vol. 88, Issue 3. Pp. 1153–1182. <https://doi.org/10.1353/sof.0.0300>

3. *Shahsavari A., Akbari M.* Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 90. Pp. 275–291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.065>
4. *Filho W. L., Balogun A.-L., Olayide O. E., et al.* Assessing the impacts of climate change in cities and their adaptive capacity: Towards transformative approaches to climate change adaptation and poverty reduction in urban areas in a set of developing countries // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 692. Pp. 1175–1190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.227>
5. *Coulibaly S. K., Erbao C., Metuge Mekongcho T.* Economic globalization, entrepreneurship, and development // *Technological Forecasting and Social Change*. 2018. Vol. 127. Pp. 271–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.028>
6. *Siddiqui K.* Trade Liberalization and Economic Development: A Critical Review // *International Journal of Political Economy*. 2015. Vol. 44, Issue 3. Pp. 228–247. <https://doi.org/10.1080/08911916.2015.1095050>
7. *Grossman G. M., Helpman E.* Globalization and Growth // *Gospodarka Narodowa. The Polish Journal of Economics*. 2015. Vol. 280, No. 6. Pp. 131–139. <https://doi.org/10.33119/GN/100840>
8. *Vlahinić Lenz N., Fajdetić B.* Globalization and GHG Emissions in the EU: Do We Need a New Development Paradigm? // *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Issue 17. 9936. <https://doi.org/10.3390/su13179936>
9. *Ibrahiem D. M., Hanafy S. A.* Dynamic linkages amongst ecological footprints, fossil fuel energy consumption and globalization: an empirical analysis // *Management of Environmental Quality*. 2020. Vol. 31, Issue 6. Pp. 1549–1568. <https://doi.org/10.1108/MEQ-02-2020-0029>
10. *Umar M., Ji X., Kirikkaleli D., Alola A. A.* The imperativeness of environmental quality in the United States transportation sector amidst biomass-fossil energy consumption and growth // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 285. 124863. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124863>
11. *Wu L., Broadstock D. C.* Does economic, financial and institutional development matter for renewable energy consumption? Evidence from emerging economies // *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*. 2015. Vol. 8, No. 1. Pp. 20–39. <https://doi.org/10.1504/IJEPEE.2015.068246>
12. *Mensah J. T.* Carbon emissions, energy consumption and output: A threshold analysis on the causal dynamics in emerging African economies // *Energy Policy*. 2014. Vol. 70. Pp. 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.03.038>
13. *Antonakakis N., Chatziantoniou I., Filis G.* Energy consumption, CO₂ emissions, and economic growth: An ethical dilemma // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 68, Part 1. Pp. 808–824. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.105>
14. *Razmjoo A., Gakenia Kaigutha L., Vaziri Rad M. A., Marzband M., Davarpanah A., Denai M.* A Technical analysis investigating energy sustainability utilizing reliable renewable energy sources to reduce CO₂ emissions in a high potential area // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 164. Pp. 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.042>
15. *Movsessian M. M.* Of Renewable Energy, Energy Democracy, and Sustainable Development: A Roadmap to Accelerate the Energy Transition in Developing Countries // *Energy Research & Social Science*. 2020. Vol. 70. 101716. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101716>
16. *Bilgili F., Koçak E., Bulut Ü.* The dynamic impact of renewable energy consumption on CO₂ emissions: A revisited Environmental Kuznets Curve approach // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 54. Pp. 838–845. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.080>
17. *Waheed R., Chang D., Sarwar S., Chen W.* Forest, agriculture, renewable energy, and CO₂ emission // *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 172. Pp. 4231–4238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.287>
18. *Dong K., Sun R., Hochman G.* Do natural gas and renewable energy consumption lead to less CO₂ emission? Empirical evidence from a panel of BRICS countries // *Energy*. 2017. Vol. 141. Pp. 1466–1478. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.092>

19. Mirziyoyeva Z., Salahodjaev R. Renewable energy, GDP and CO₂ emissions in high-globalized countries // *Frontiers in Energy Research*. 2023. Vol. 11. 1123269. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1123269>
20. Pata U. K. Linking renewable energy, globalization, agriculture, CO₂ emissions and ecological footprint in BRIC countries: A sustainability perspective // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 173. Pp. 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.03.125>
21. Osano H. M., Koine P. W. Role of foreign direct investment on technology transfer and economic growth in Kenya: A case of the energy sector // *Journal of Innovation and Entrepreneurship*. 2016. Vol. 5. 31. <https://doi.org/10.1186/s13731-016-0059-3>
22. Zahanogo P. Trade and economic growth in developing countries: Evidence from sub-Saharan Africa // *Journal of African Trade*. 2017. Vol. 3, Issue 1. 5. <https://doi.org/10.1016/j.joat.2017.02.001>
23. Hille E., Shahbaz M., Moosa I. Toward to economic growth without emission growth: The role of urbanization and industrialization in China and India // *Energy Economics*. 2019. Vol. 81. Pp. 308–326. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.04.004>
24. Isik C., Ongan S., Özdemir D. The economic growth/development and environmental degradation: evidence from the US state-level EKC hypothesis // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. Pp. 30772–30781. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06276-7>
25. Singhanian M., Saini N. Demystifying pollution haven hypothesis: Role of FDI // *Journal of Business Research*. 2021. Vol. 123. Pp. 516–528. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.10.007>
26. Pandey N., de Coninck H., Sagar D. Beyond technology transfer: Innovation cooperation to advance sustainable development in developing countries // *WIREs Energy and Environment*. 2022. Vol. 11, Issue 2. e422. <https://doi.org/10.1002/wene.422>
27. Zhang L., Xu M., Chen H., Li Y., Chen S. Globalization, Green Economy and Environmental Challenges: State of the Art Review for Practical Implications // *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. 870271. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.870271>
28. Umar M., Ji X., Kirikkaleli D., Shahbaz M., Zhou X. Environmental cost of natural resources utilization and economic growth: Can China shift some burden through globalization for sustainable development? // *Sustainable Development*. 2020. Vol. 28, Issue 6. Pp. 1678–1688. <https://doi.org/10.1002/sd.2116>
29. Khan M. B., Saleem H., Shabbir M. S., Huobao X. The effects of globalization, energy consumption and economic growth on carbon dioxide emissions in South Asian countries // *Energy & Environment*. 2022. Vol. 33, Issue 1. Pp. 107–134. <https://doi.org/10.1177/0958305X20986896>
30. Fatima N., Li Y., Ahmad M., Jabeen G., Li X. Factors influencing renewable energy generation development: a way to environmental sustainability // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. Pp. 51714–51732. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14256-z>
31. Luthra S., Kumar S., Garg D., Haleem A. Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 41. Pp. 762–776. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.077>
32. Abdmouleh Z., Alammari R., Gastli A. Review of policies encouraging renewable energy integration // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 45. Pp. 249–262. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.035>
33. Ghosn F., Zreik M., Awad G., Karouni G. Energy transition and sustainable development in Malaysia: Steering towards a greener future // *International Journal of Renewable Energy Development*. 2024. Vol. 13, No. 3. Pp. 362–374. <https://doi.org/10.61435/ijred.2024.60110>
34. Wen H., Chen Z., Yang Q., Liu J., Nie P. Driving forces and mitigating strategies of CO₂ emissions in China: A decomposition analysis based on 38 industrial sub-sectors // *Energy*. 2022. Vol. 245. 123262. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123262>
35. Shi H., Chai J., Lu Q., Zheng J., Wang S. The impact of China's low-carbon transition on economy, society and energy in 2030 based on CO₂ emissions drivers // *Energy*. 2022. Vol. 239. 122336. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122336>

36. Ahmed M., Shuai C., Ahmed M. Influencing factors of carbon emissions and their trends in China and India: a machine learning method // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. Pp. 48424–48437. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18711-3>
37. Vats G., Mathur R. A net-zero emissions energy system in India by 2050: An exploration // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 352. 131417. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131417>
38. Liu F., Sim J., Sun H., Edziah B. K., Adom P. K., Song S. Assessing the role of economic globalization on energy efficiency: Evidence from a global perspective // *China Economic Review*. 2023. Vol. 77. 101897. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2022.101897>
39. Hrahman H. U., Zaman U., Górecki J. The Role of Energy Consumption, Economic Growth and Globalization in Environmental Degradation: Empirical Evidence from the BRICS Region // *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Issue 4. 1924. <https://doi.org/10.3390/su13041924>
40. Nugroho A. D., Bhagat P. R., Magda R., Lakner Z. The impacts of economic globalization on agricultural value added in developing countries // *PLoS One*. 2021. Vol. 16, Issue 11. e0260043. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260043>
41. Sharma R., Sinha A., Kautish P. Does renewable energy consumption reduce ecological footprint? Evidence from eight developing countries of Asia // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 285. 124867. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124867>
42. Muhammad B., Khan S. Understanding the relationship between natural resources, renewable energy consumption, economic factors, globalization and CO₂ emissions in developed and developing countries // *Natural Resources Forum*. 2021. Vol. 45, Issue 2. Pp. 138–156. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12220>
43. Le H. P., Ozturk I. The impacts of globalization, financial development, government expenditures, and institutional quality on CO₂ emissions in the presence of environmental Kuznets curve // *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. Pp. 22680–22697. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08812-2>
44. Kalayci C., Hayaloglu P. The Impact of Economic Globalization on CO₂ Emissions: The Case of NAFTA Countries // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2018. Vol. 9, No. 1. Pp. 356–360. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.7233>
45. Gozgor G., Mahalik M. K., Demir E., Padhan H. The impact of economic globalization on renewable energy in the OECD countries // *Energy Policy*. 2020. Vol. 139. 111365. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111365>
46. Dong K., Dong X., Jiang Q. How renewable energy consumption lower global CO₂ emissions? Evidence from countries with different income levels // *World Economy*. 2020. Vol. 43, Issue 6. Pp. 1665–1698. <https://doi.org/10.1111/twec.12898>
47. Anser M. K., Ali S., Mansoor A., et al. Deciphering the dynamics of human-environment interaction in China: Insights into renewable energy, sustainable consumption patterns, and carbon emissions // *Sustainable Futures*. 2024. Vol. 7. 100184. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100184>
48. Li L., Lin J., Wu N., et al. Review and outlook on the international renewable energy development // *Energy and Built Environment*. 2022. Vol. 3, Issue 2. Pp. 139–157. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.002>
49. Simanjuntak J. P., Al-attab K. A., Daryanto E., Tambunan B. H., Eswanto. Bioenergy as an Alternative Energy Source: Progress and Development to Meet the Energy Mix in Indonesia // *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2022. Vol. 97, No. 1. Pp. 85–104. <https://doi.org/10.37934/arfmts.97.1.85104>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шодрокова Ксенанейра

S.E., студент магистратуры по экономике экономического факультета Университета Шривиджайя, г. Прабумулих, Индонезия (Jl. Palembang, Ogan Ilir Regency, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Prabumulih City, South Sumatra 30862, Indonesia); ORCID <https://orcid.org/0009-0003-8034-6617> e-mail: xenaneira12@gmail.com

Юлианита Анна

S.E., M.Si, преподаватель и координатор учебной программы магистратуры по экономике экономического факультета Университета Шривиджайя, г. Прабумулих, Индонезия (Jl. Palembang, Ogan Ilir Regency, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Prabumulih City, South Sumatra 30862, Indonesia); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8744-3274> e-mail: annayulia@unsri.ac.id

Башир Абдул

S.E., M.Si, преподаватель кафедры экономики экономического факультета Университета Шривиджайя, г. Прабумулих, Индонезия (Jl. Palembang, Ogan Ilir Regency, Indralaya Indah, Kec. Indralaya, Prabumulih City, South Sumatra 30862, Indonesia); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4771-1366> e-mail: abd.bashir@unsri.ac.id

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Шодрокова К., Юлианита А., Башир А. Экономическая глобализация, возобновляемые источники энергии и выбросы CO₂ в отдельных странах с формирующейся рыночной экономикой // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 602–622. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.024>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 14 июня 2024 г.; дата поступления после рецензирования 9 июля 2024 г.; дата принятия к печати 16 июля 2024 г.



Assessing the Impact of Infrastructure on Tax Structure and Improving Economic Performance: The Case of Nigeria

*Oladimeji Abeeb Olaniyi¹ , Adewale Mathew Adekanmbi² ,
Samson Adegboyega Opadeji² , Amos Dauda Shallie³ *

¹University of Ilesa,

Ilesa, Nigeria

²Dominion University,

Ibadan, Nigeria

³ University of Maiduguri,

Maiduguri, Nigeria

 olaniyioladimeji1857@gmail.com

Abstract. The relevance of this study is to establish the interactive role of infrastructure on tax composition in stimulating long-term economic performance in Nigeria. However, empirical evidence showed that greater emphasis was placed on studies relating to the impact of taxation on the performance of the economy. The purpose of this study is to examine the impact of infrastructure on tax structure and improving economic performance in Nigeria. The hypothesis – the interactive role of infrastructure on tax composition and the economic performance nexus in Nigeria – was estimated with the Ridge Regression (RR) technique to take care of the incidence of multicollinearity that existed among the study variables using the dataset covering 1993–2022. Also, the study utilized the Barro growth model, which emphasized investment in infrastructure enhanced through taxes as the core endogenous factor that drives growth. The findings revealed that with the presence of infrastructure; value added tax, company tax, customs and excise duties and petroleum profit tax has a positive and significant relationship with economic performance while personal income tax has a positive but insignificant relationship with economic performance in Nigeria within the study period. The study thus concluded that with the presence of infrastructure, tax composition significantly contributed to economic performance in Nigeria within the study period. Based on this finding, this study recommends that policymakers should focus on measures such as tax education and enlightenment to encourage voluntary tax compliance to generate substantial revenue to fund infrastructural development, thus, improving the level of economic performance in Nigeria.

Key words: tax structure; infrastructure; economic performance; multicollinearity; ridge regression.

JEL H21, H54, O4

1. Introduction

The essential aim of developing countries is to boost their economic growth rates to an equivalent level of the developed nations as regards per capita real income. Attaining this goal depends on the ability of the government in providing essential facilities, especially the health, transportation and education sectors. Also, the capi-

tal formation rate must be high in the private or public sectors or both. Economic growth depends on resource transfer and improved utilisation, not only the circulation of money in the economy. Tax is a significant fiscal tool for transferring funds to the government from the private and public sectors, while providing a steady and dependable fiscal condition to encourage

development and fund their infrastructural demands.

The economic resources generated and within a country's control used to meet its daily expenditure and to finance infrastructural needs is a major determinant of the nation's economic performance.

Infrastructure is a tool for measuring the success of a nation with the rest of the world and a fundamental determinant of nationhood. Through productivity effects, it contributes directly to the performance of the economy and indirectly through adjustment costs, private capital, and labour productivity [1, 2].

However, taxation has both positive and adverse effects on the growth of an economy as distortionary taxes affects both human and physical capital accumulation, technology advancement as well as improving factor inputs. Thus, increased distortionary taxes discourage economic activities and, as a result, lowers the economic performance rate [3]. The worth of an economy as well as its capacity to convert those resources into economic development are important to the extent that property is secured, infrastructure is provided while domestic tranquillity is insured. Thus, taxation above this threshold may reduce economic performance [4].

The Neoclassical and Keynesian models predict an inverse relationship between taxes and economic activities. They argued that reducing the tax rate will transfer greater spending power to the individuals, allowing for increased consumption expenditure, savings and investment opportunities. However, the Ricardians argued that tax reduction will make government increase borrowing to attain a balanced budget in the short-run. Both points of view, however, suggest that tax policy is not revenue neutral. Fiscal variables such as taxation and government spending temporarily affect the output but not the long-run economic growth [5]. Long-run growth, on the

other hand, would be affected by productive spending and taxation [6].

The importance of taxes cannot be underated. Aside serving as a revenue generator, it also helps the government in achieving both its monetary and fiscal macroeconomic objectives particularly in emerging nations like Nigeria. However, it is worrisome that Nigerians have a negative attitude to taxation as many people would choose to avoid paying tax provided they were given the opportunity because the role of taxation has not been felt by them. Due to the disastrous evasion and avoidance habit, the economy keeps losing tremendous amount of revenue. This revenue loss impedes funding for growth and development in many economies, particularly in emerging countries like Nigeria [3, 7].

In Nigeria, it is imperative to state that oil revenue has recently been unpredictable due to the volatility in the global oil prices. Thus, an urgent need is to focus on tax revenue, as the most significant component of non-oil government earnings. In addition to other forms of revenue, the government must generate enough earnings through taxes to fund the country's ever-increasing infrastructure deficit [8].

In the past, the government attempted to increase tax revenue by enacting measures such as the implementation of value added tax in 1994 and the registration of firms and corporations under the FIRS. Nevertheless, these efforts have resulted in little or no increase in government tax revenue. This is due to a failure in tax administration in Nigeria, which has been attributed to ineffectiveness and inefficiency such as; disobedience to tax laws and regulations, inadequate tax awareness, poor tax regulation and management, government policies, paucity of reliable data, and corrupt practices [9, 10].

In 2008, the Federal Government of Nigeria introduced the Taxpayers Identification Number (TIN) and imple-

mented an automated system of tax to boost the overall tax revenue and keep taxpayers and tax officials in check. As a result, FIRS (2019) tax statistics showed that actual tax collection has increased beyond the targeted level each year since 2009.

However, the poor state of infrastructure in most emerging nations like Nigeria has led to continued interest in examining whether tax revenue spent on infrastructural development has positive economic effect overtime. The deplorable state of most infrastructural facilities and its poor maintenance as experienced by the residents affect the country's performance potentials [1, 11].

Infrastructure provides social comfort to citizens, thus, its deficit worsens workers' conditions, lowers their overall productivity and in turn reduces the performance of the economy.

Also, the tendency of variables to be linearly related to one another is very high, resulting in an inaccurate estimation of the regression coefficients. The Issue of multicollinearity among variables is very important and it has not been taken care of by previous studies as they shy away from it by not reporting the correlation matrix to reflect the presence of multicollinearity [11–15]. Thus, it is pertinent to find out by utilizing the ridge regression estimation technique developed by [16] as one of the appropriate estimation techniques to ascertain if the study variables that are multicollinear affect economic performance in Nigeria.

The purpose of the study is to examine the impact of infrastructure on tax structure and improving economic performance in Nigeria.

Research Hypothesis H1: Infrastructure has an interactive role on tax structure and economic performance in Nigeria

The rest of this study is structured as follows. Section 2 shows the review of relevant literatures; section 3 explains the method employed for this study as well as

the theoretical framework and model specification. Section 4 presents the results of the study; section 5 gives a detailed discussion of findings while section 6 presents the conclusion and policy recommendations.

2. Literature Review

A tax is an obligatory payment made to the government by private citizens, organizations, or institutions. It is a mandatory tax that the government levies on the earnings, profits, or assets of private citizens, social groups, and business entities [7]. Taxation helps to promote income redistribution, economic stabilization, resource allocation, and fund government expenditure to enhance economic performance.

Taxes can be progressive, indicating the percentage rate stays constant as the tax base expands, regressive, indicating the tax rate decreases as the tax base increases, or progressive, indicating the percentage of the tax paid increases as the taxpayer's income increases [9]. When the outcome of tax is lower than another investment structure with the same goals, it is said to be tax efficient. Thus, tax efficiency is an arrangement that allows a firm or an individual to pay no or less tax than usual and attempts to minimize tax liability when given many different financial decisions [14].

However, the Nigerian tax system faces significant obstacles, such as a lack of tax statistics, giving priority to tax efforts, inadequate tax administration, tax multiplicity, and regulatory issues.

Infrastructure is the physical components of interrelated systems which provide essential services for enabling and sustaining a good living condition for the citizens. As an essential facility and service that can be funded by government, private individuals, or by public-private partnerships, supports economic activities and boosts the economic performance of a nation [1].

The role of infrastructure in an economy cannot be underestimated. It facilitates

productivity through the provision of road networks, utilities and also performs some several social roles such as, poverty reduction and improvement in standard of living.

Taxes have an impact on economic performance by influencing labor productivity, savings, and investment. The investment is made up of both public and private savings, and investing in both physical and human capital increases an economy's production. As a result, improved productivity leads to increased economic production. Thus, every factor influencing investment will impact economic success [17].

High tax rates on employee salaries may discourage labor effort, human capital accumulation, and private savings. Similarly, high taxes on profits dissuade the spirit of entrepreneurship and investment, hence reduces economic output. Contrarily, the low rate of tax will increase savings and investment thereby improving the overall productivity of the economy.

Infrastructure is also a crucial requirement of better economic performance. Though it does not directly generate goods and services but enables production in primary, secondary and tertiary economic activities by generating external economies. It improves the quality of life by developing facilities, supplying consumption goods (transportation, energy, and communication services), and promoting macroeconomic stability. It is widely acknowledged that infrastructure development has a direct impact on a country's economic performance. Nigeria, in particular, suffers from traffic congestion, power outages in major cities, poor road quality, insufficient telecommunications services, and a lack of drinking, irrigation, and industrial water, all of which point to the region's inadequate infrastructure.

Infrastructure has a direct positive impact on economic performance through capital accumulation, as well as indirectly through increases in total factor produc-

tivity. Infrastructure development increases production capacity by providing an atmosphere that encourages investment for private companies.

Raising funds for public infrastructure investment, a government priority, can be accomplished through taxation or borrowing; however, in the latter case, government debt may crowd out private companies and individuals from money markets by raising interest rates, affecting inflation and productivity. Taxation as a means of funding infrastructure generates expenses at multiple levels. In my perspective, general taxation is the most equitable way to fund infrastructure because the benefits of such infrastructure are widely distributed.

Due to the distortionary nature of taxation, empirical evidence has shown that taxation effect on economic growth can either be positive or negative. Ekeocha et al. [2] utilized the dynamic system GMM in their study on African Economy. Rahman & Sarkar [12] in their study on Bangladesh found that total tax revenue has a significant positive effect on economic growth within the study period. Tendengu et al. [17] established a positive significant relationship between fiscal policy instruments and economic growth in South Africa between 1988–2018. Ogbonna & Amah [18] found a positive relationship between taxation and economic growth in their study on Nigeria. Etim et al. [19] employed the ECM technique and found that taxation impacts positively on Nigerian economic growth between 1980 and 2018.

However, Oto & Wayas [13] in their study on Nigeria found a negative relationship between taxation and the economy. Maganya [14] utilized the ARDL technique and found a negative relationship between taxation and economic growth in Tanzania. Gashi et al. [20] found that direct taxes are negatively correlated with economic growth in the study conducted on six East-European countries. Stoilova [21] uti-

lized the panel regression on 19 European Countries and found a negative and persistent relationship between taxes and real GDP.

Nedozi et al. [22] used simultaneous analysis to analyze infrastructural development and economic growth, building on the empirical research on the infrastructure-economic growth nexus. The study discovered that infrastructure is an important component of Nigerian economic progress. Undermining infrastructure, thus, undermines positive economic performance. This result is similar to the study of Ekeocha et al. [2] on African Economy and Owolabi-Merus [24] which investigated infrastructure development and economic growth in Nigeria. This result is contradicting the findings of Aworinde & Akintoye [25] which utilized the bond testing approach in their study on Nigeria and Anderu & Tosin [26] which found that infrastructure spending impacts negatively on economic growth of Nigeria.

Following the studies on the joint impact of taxation and infrastructure on economic growth, Almeida & Mendonca [27] found that between 1976 and 2011, core public infrastructure has contributed positively to the enhancement of economic growth. However, Ayeni & Afolabi [11] utilized the vector autoregressive approach and found that, while tax revenue effects economic growth and infrastructure, infrastructure has a major impact on tax revenue collected, but not on economic growth. Based on these backdrops in empirical literature, it is pertinent to re-investigate the effect tax structure on the performance of Nigeria economy while laying emphasis on the interactive role of infrastructure.

3. Methods

3.1. Theoretical framework

Barro [6]'s theory of endogenous growth in public policy used a novel approach in which the restricted measure of

infrastructure was relaxed in determining both the level of output and the steady state growth rate. The hypothesis proposed that public investment in infrastructure, enhanced by taxes, complements private investment as the primary endogenous driver of growth. It stressed that when tax revenue is used to fund infrastructure projects like as roads, highways, and telephones, private production increases, which improves economic performance. This growth occurs despite the fact that taxation discourages private capital accumulation, which partially offsets the favorable effect of increased productive government expenditures on growth.

Barro [6] explained his model by engaging two components which includes a production function with a constant return to scale and an equation that captures the consumer's optimization pattern. $\emptyset$

In doing so, he presents his model as follows:

$$y = \emptyset(k, g) = k \cdot \emptyset\left(\frac{g}{k}\right). \quad (1)$$

Where y represents output per worker; k is the capital per worker, g is the quantity of per capita government purchases on goods and service and $\emptyset$ is the condition for positive or diminishing marginal products. The Barro [6] model assumes that the government does not engage in production nor own capital and rather purchase outputs for example: services of highways, telecommunication, and other infrastructures from the private sector. Therefore, the payments (g) for these services constitute the inputs to the private production.

The second component of the model is the consumption growth rate equation which is obtained by maximizing the household overall utility function. Barro [6] presented it as:

$$\begin{aligned} \text{The growth rate of consumption} = \\ = \frac{1}{\sigma}(f' - \rho). \end{aligned} \quad (2)$$

Where, f' is the marginal product of capital p which is > 0 represents the constant rate of time preference and σ is the reciprocal of the intertemporal elasticity of substitution.

The model further opined that these government spending on infrastructure (g) is financed by the tax rate, such that:

$$g = T = \tau y = \tau k \theta \left(\frac{g}{k} \right). \quad (3)$$

Where T is the government revenue which is determined by tax rate (τ) on. Equation (2) constrains the government to run a balanced budget. Explicitly, the government cannot fund deficits through debt Issue or generate surpluses through asset accumulation. Given this, the production function in equation (1) indicates the marginal product of capital as:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial k} &= \theta \left(\frac{g}{k} \right) \cdot \left(1 - \theta' \frac{g}{y} \right) = \\ &= \theta \left(\frac{g}{k} \right) \cdot (1 - \psi). \end{aligned} \quad (4)$$

Where, ψ is the elasticity of y with respect to g (for a value of k), such that $0 < \psi < 1$. Since the tax is exerted on income to provide for public infrastructures, Barro modified equation (2) as:

$$y = \frac{1}{\sigma} \left[(1 - \tau) \theta \left(\frac{g}{k} \right) (1 - \psi) - \rho \right]. \quad (5)$$

Finally, if government sets g and T to grow at the same rate as y , g/k and ψ , thus, y will be constant and this puts the economy in a steady state. per capita consumption, output and capital which is a positive function of the marginal product of capital will have the same growth rate.

Barro [6] demonstrated that investment in infrastructure can contribute to long-term economic growth by increasing the marginal product of private capital, resulting in sustained per capita growth. However, if the tax isn't regulated it may damage the steady state because increas-

ing public infrastructure finance through income taxes diminishes per capita growth.

The above thus suggest that to optimize the nation's growth and welfare, a long run positive economic performance is hinged on the modification of the tax rate and the level of infrastructure. This study presents this in a baseline model as:

$$y = f(TTR, INFR). \quad (6)$$

Where the long is run growth; TTR is the tax rate; $INFR$ is infrastructure.

3.2. Model specification

This study follows the multiple regression model of [16] specified as:

$$Y = X\varphi + e. \quad (7)$$

Where X is $(n \times p)$ and of rank p , φ is $\{p \times 1\}$ and unknown, $E\{e\} = 0$ and $E\{ee'\} = \sigma^2 I_n$.

They presented ridge estimators as an alternative to the least squares estimator for utilization in the presence of multicollinearity. This seeks to reduce standard error by introducing bias into regression estimations.

The ridge estimator is given as:

$$\varphi = \{X^T X + KI\}^{-1} X^T Y. \quad (8)$$

Where I denotes an identity matrix, and K is a positive number of a suitable function of Y .

In order to address the severe multicollinearity problem that can arise as a result of the inclusion of disaggregated tax variables in the model, the model follows the ridge regression model by Hoerl & Kennard [16] stated above. The variables are more likely to be linearly related to one another, resulting in an erroneous estimation of the regression coefficients, see Solarin & Bello [28], Pourmohammadi et al. [29], Zhang & Yuan [35]. However, this is informed by the theoretical framework as in (6).

The model is re-stated as:

$$RGDP = f(TC, INFR). \quad (9)$$

Where $RGDP$ = Real Gross Domestic Product; TC = Tax composition; $INFR$ = Infrastructure.

The model is thus specified in a linear form as:

$$RGDP = \beta_0 + \beta_1 PPT_t + \beta_2 CP_t + \beta_3 CES_t + \beta_4 VAT_t + \beta_5 PIT_t + \beta_6 INFR_t + \beta_7 GCF_t + U_t. \quad (10)$$

In this model, Real GDP was used to measure economic performance for it is a better tool for judging long-term national economic performance as it takes into consideration the actual change in a country's economic output Ekeocha et al. [2], Dedrick et al. [30], Ogbuabor et al. [31].

Thus, it was measured with data on the Real GDP in Nigeria for the period under observation. However, tax composition was disaggregated into the various direct and indirect taxes {Petroleum Profit Tax (PPT), Company Income Tax (CP), Custom and Excise Duties (CES), Value added tax (VAT) and Personal Income Tax (PIT)} so as to avoid the problem of omitted variables due to their importance; infrastructure ($INFR$) is measured by infrastructural investment; while Gross Capital Formation (GCF) is included as a control variable because it is an important contributor to a positive economic performance. However, this study utilized annual data set between 1993 and 2002, sourced from the Central Bank of Nigeria¹ and World Bank World Development Indicators².

¹ Central Bank of Nigeria (2023). Central Bank of Nigeria. Annual report and statement of account, Abuja. Statistical bulletin, retrieved from <http://www.cbn.gov.ng>

² World Bank, (2021). World development indicators. World Bank Publications. Retrieved from <http://data.worldbank.org.com>

To account for the heteroskedastic characteristic of variables through variance in measurement and errors Gujarati & Porter [32], as well as to capture the interactive role of infrastructure on tax composition and economic performance, the variables were transformed into the log-log model and re-specified.

The model is informed by equation (9) and (10) above and re-specified as:

$$\begin{aligned} \ln RGDP = & \beta_0 + \beta_1 \ln PPT_t + \beta_2 \ln CP_t + \beta_3 \ln CED_t + \\ & + \beta_4 \ln VAT_t + \beta_5 \ln PIT_t + \beta_6 \ln INFR_t + \beta_7 \ln GCF_t + \\ & + \beta_8 \ln PPT \cdot INFR_t + \beta_9 \ln CP \cdot INFR_t + \beta_{10} \ln CED \cdot INFR_t + \\ & + \beta_{11} \ln VAT \cdot INFR_t + \beta_{12} \ln PIT \cdot INFR_t + \beta_{13} \ln GCF + U_{it}. \end{aligned} \quad (11)$$

Where $\beta_0, \dots, \beta_{13}$ are the parameter estimates; $\ln PPT_t$, $\ln CP_t$, $\ln CED_t$, $\ln VAT_t$, $\ln PIT_t$, $\ln INFR_t$, $\ln GCF_t$ are log of dependent variables as defined in equations (9) and (10); $\ln PPT \cdot INFR_t$, $\ln CP \cdot INFR_t$, $\ln CED \cdot INFR_t$, $\ln VAT \cdot INFR_t$, $\ln PIT \cdot INFR_t$ represents the interaction term between each tax composition and infrastructure.

3.3. Model Estimation Technique

Due to the interaction terms of the input model variables in equations (11), the model is faced with severe problem of multicollinearity, which violates the unbiasedness condition for OLS. The matrix $(X^T X)^{-1}$ will be close to singular due to the correlation of the model terms and if there is an approximate linear relationship among the columns of the design matrix X .

This results in larger variance due to the high sensitivity of the least-squares estimate to the observed response Y :

$$\beta = \{X^T X\}^{-1} X^T Y. \quad (12)$$

Table 1. **Definition, measurement and sources of variables**

Variables	Definition and Measurement	A priori Sign	Source
RGDP	Annual Real Gross Domestic Product measured at constant prices		WDI
PPT	Total annual tax revenue from petroleum products and royalties in Billion Naira	Negative	CBN
CP	Total annual tax revenue from company income measured in Billion Naira	Negative	CBN
CED	Total annual tax revenue from custom and excise duties in Billion Naira	Negative	CBN
VAT	Total annual tax revenue from value-added tax generated in Billion Naira	Negative	CBN
PIT	Annual personal income tax collectible yearly in Billion Naira	Negative	CBN
PPT*INFR	The interaction term between petroleum profit tax and infrastructure investment	Positive	Constructed
CP*INFR	The interaction term between company income tax and infrastructure investment	Positive	Constructed
CED*INFR	The interaction term between custom and excise duties and infrastructure investment	Positive	Constructed
VAT*INFR	The interaction term between value added tax and infrastructure investment	Positive	Constructed
PIT*INFR	The interaction term between personal income tax and infrastructure investment	Positive	Constructed
INFR	Investment in infrastructure	Positive	WDI
GCF	Gross Fixed Capital Formation (% of GDP)	Positive	WDI

Source: Author, 2024

The problem of multicollinearity can be solved by ignoring the traditional least-squares method and instead using biased estimation techniques. Hoerl & Kennard [16] introduced ridge regression as one of the biased estimating methods for the aforementioned purpose by introducing a penalty parameter k (see eqn 8) that lowers the standard error while also improving the predictive ability of the model when two or more variables are highly linearly related.

4. Results

In examining how the presence of infrastructure would impact the tax composition-economic performance relationship, the presence of multicollinearity among the variables in preliminary estimates was observed and these results are presented in Table 2, see variance inflation factor (*VIF*) in Table 4.

Table 2 shows a high correlation between real GDP and value-added tax; real GDP and personal income tax; real GDP and company income tax; real GDP and customs and excise duties; value-added tax

and personal income tax; value-added tax and customs and excise duties; value-added tax and company income tax; personal income tax and customs and excise duties; personal income tax and company income tax; petroleum profit tax and infrastructure; customs and excise The correlation coefficients of this pair of variables are greater than 0.90. This led to the use of the ridge regression approach, which is one of the most effective estimate techniques for addressing multicollinearity in a multiple regression model Pourmohammadi et al. [29], Wen & Shoa [36], Yoantika & Susiswo [37].

Table 3 shows the estimated results of infrastructure’s interactive effect on the tax composition-economic performance relationship. Specifically, the results show that value added tax has no major impact on economic performance in Nigeria, but the availability of infrastructure contradicts this. As a result, when complemented by infrastructure, the impact of value-added tax on economic performance became significant, rising from 0.048 to 0.139, indicating 189.6 percent rise. In summary, a one-unit increase in the interaction between value added tax and infrastructure raises economic performance by 0.14 units. This is because value added tax contributed to the mobilization of resources for infrastructure

development, resulting in positive economic performance.

In contrast, while personal income tax will not significantly increase economic performance, the interaction with infrastructure is not capable of reversing this stance to become a significant determinant of economic performance in Nigeria. This implies that the proceeds from personal income tax are not channeled towards the development of infrastructure which in turn reduces the performance of the economy.

However, in the presence of infrastructure, company income tax will lead to higher economic performance. In magnitude, a 1 unit increase in the interaction of company income tax and infrastructure will raise economic performance by 0.07 units.

In similitude to the result of the interaction of value added tax and infrastructure, petroleum profit tax does not significantly impact economic performance in Nigeria. However, the presence of infrastructure in the model reverses this position which made petroleum profit tax’s impact on economic performance became more visible and it increases from a magnitude of –0.027 to 0.093. In essence, a 1 unit increase in the interaction of value added tax with infrastructure will raise economic performance by 0.093 units.

Table 2. Correlation Matrix

Correlation	RGDP	VAT	PIT	PPT	CES	CP	INFR	GCF
RGDP	1							
VAT	0.987	1						
PIT	0.934	0.961	1					
PPT	0.899	0.897	0.878	1				
CES	0.946	0.943	0.911	0.880	1			
CP	0.974	0.992	0.951	0.863	0.936	1		
INFR	0.859	0.834	0.826	0.805	0.856	0.786	1	
GCF	–0.888	–0.859	–0.804	–0.844	0.878	0.816	0.853	1

Source: Author, 2024

Table 3. **Interactive role of infrastructure in tax composition and economic performance in Nigeria**

Dependent Variable: Economic Performance (LNReal GDP)				
Variables	Co-efficient	Standard Er	t-Stat	Probability
Constant	9.0109730	0.2368358	38.047343	0.000
LNINFR	-0.4598428	0.1003569	-4.582074	0.000 *
LNVAT	0.0483597	0.0681088	0.710036	0.488
LN PIT	0.0052753	0.0100765	0.523525	0.606
LNCP	0.3029008	0.0524786	5.771891	0.000*
LN PPT	-0.0274879	0.0175731	-1.564203	0.136
LN CES	-0.0967175	0.0520047	-1.859783	0.080***
VAT x INFR	0.1390745	0.0525728	2.645369	0.017**
PIT x INFR	0.0071501	0.0064592	1.106963	0.282
CP x INFR	0.0687096	0.0276176	2.487891	0.024**
PPT x INFR	0.0930040	0.0372075	2.499603	0.022**
CES x INFR	0.2071357	0.0721251	2.871894	0.011**
LN GCF	0.1272266	0.0451938	2.815133	0.012**
K — Value	0.150			
Adjusted R ²	0.821			
F-statistic	8.908			
Probability	0.000*			
F-statistic				

Note: * $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, *** $P < 0.10$; INFR is infrastructure; VAT x INFR; PIT x INFR; CP x INFR; PPT x INFR; and CES x INFR are respectively the interaction of infrastructure with value added tax, personal income tax, company income tax, petroleum profit tax, and custom & excise duties.

Source: Author, 2024

The interaction of custom & excise duties with infrastructure also shows that the presence of infrastructure can significantly overturn the negative and insignificant impact of custom & excise duties on economic performance. An increase in magnitude from -0.097 (without infrastructure) to 0.207 (with infrastructure) signifies that infrastructure is responsible for about 313.4 per cent incremental change in the relationship between customs and excise duties and economic performance.

Table 4 shows the variance inflation factor (*VIF*) of both the OLS and the Ridge Regression. *VIF* greater than 10 indicates a severe multicollinearity case Gujarati & Porter [32], Marquardt & Snee [33]. The *VIF* of the OLS ranges from 15.98 to 1323.37 which indicate the existence of high collinearity among the variables of this study has been addressed in the Ridge Regression *VIF* result which ranges from 4.704 to 6.631.

Table 4. Variance Inflation Factor

Ridge Regression VIF	OLS VIF
6.410	167.75
6.528	331.57
5.584	34.31
6.431	181.34
5.637	36.44
5.821	45.96
6.614	840.61
5.787	43.85
6.539	335.21
6.439	190.46
6.631	1323.37
4.704	15.98

Source: Author, 2024

However, the ridge trace informs the optimum value of parameter k for which the OLS estimators' mean squared error (MSE) is greater than the ridge regression estimator. It depicts the change of the parameters with regard to various k values, with the parameters stabilizing at a specific k value. The optimum value of k is

obtained when the parameter estimations stabilize. We present the ridge trace plot (Fig. 1) as a result of the estimation and investigation of multi-collinearity where 0.150 as the ridge parameter which is the value that the coefficient stabilizes.

5. Discussion

The result shows that the interaction of value added tax with infrastructure makes it a significant predictor of economic performance. In contrast, the interaction of personal income tax with infrastructure is not a significant determinant of economic performance in Nigeria. This result suggests that infrastructure is not necessary for the removal of challenges plaguing the administration and utilisation of personal income tax in Nigeria.

For company income tax, the result of its interaction with infrastructure shows that it is positively related to economic performance. This result implies that in the presence of infrastructure, company income tax will lead to higher economic performance. Similar to the result of company income tax, the result of the interaction of petroleum profit tax and infrastructure also exhibits a significant direct and positive interrelation with economic performance.

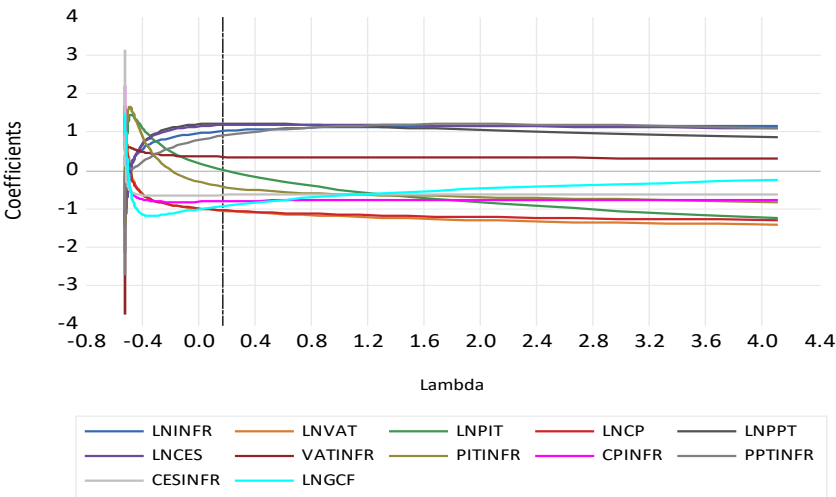


Figure 1. Ridge Plot for the interactive role of Infrastructure on tax composition and economic performance in Nigeria

Lastly, the interaction of custom & excise duties with infrastructure also shows that the presence of infrastructure can positively and significantly impact on economic performance.

These results suggest that if petroleum profit tax and custom & excise duties are to significantly raise economic performance, the role of infrastructure should be fixed. This study suggests that the presence of infrastructure can aid the administration and compliance as well as limit the evasion of petroleum profit tax and custom & excise duties. Therefore, hypothesis *H1* can be considered fully confirmed.

This positive result thereby agrees with the findings of Ekeocha et al. [2], Almeida & Mendona [27], Canning & Pedroni [34] but contradicts the findings of Ayeni & Afolabi [11], Aworinde & Akintoye [25], Anderu & Tosin [26]. The literature on the interaction of tax composition with infrastructure on economic performance is scanty; hence, the explanation of the results in relation to the previous studies is limited.

This study, like other empirical studies, has some limitations. This study used annual aggregate time-series data on tax composition, infrastructure, and economic performance. However, the study would have benefited more and presented a more robust finding about the economic sector that requires immediate tax reforms if disaggregated data on sectoral tax composition and infrastructure were available. As a result, one of the limitations of this study is the lack of disaggregated data on Nigeria's sectoral tax composition. Further, understanding the actual threshold of infrastructure needed for the tax to impact economic performance would have offered a more definite recommendation; however, this methodology is beyond the scope of this study. These limitations, however, do not understate the study's validity, reliability, and relevance.

6. Conclusion

This study examined the interactive role of infrastructure in the effect of tax

composition on economic performance in Nigeria from 1993 to 2022. The theoretical underpinning for the study was the Barro endogenous growth model, while empirical models were developed to explain how the study variables are related utilizing an *ex post facto* research approach that employs the ridge regression estimation technique. The ridge regression estimation technique's validity was demonstrated using credible indices such as adjusted R^2 , *t*-tests, *F* tests, and *lambda k* values.

This study concludes that while tax may be important in raising economic performance in Nigeria, the presence of infrastructure significantly improves the positive impact of tax on economic performance. Only personal income remains insignificant even in the presence of infrastructural development.

Based on the findings, the study recommended that public policymakers focus on policies that strengthen the tax administration system in order to broaden tax income, as well as tax education to ensure voluntary tax compliance, which will go a long way toward increasing tax revenue for the government. Furthermore, any tax reform aimed at improving economic performance ought to embrace infrastructure development.

The theoretical significance of the study lies in the use of Barro's [6] endogenous growth model which emphasized infrastructure development, which is mainly enhanced through taxation as the core endogenous factor that drives growth. This makes it the most appropriate theory for conducting this study.

The practical significance of the study is for policymakers and the government to boost economic performance through public policies like the use of taxes and improved infrastructure. However, an increase in taxation may be necessary to enable the expansion of infrastructure, which can therefore enhance economic performance.

References

1. Opadeji, S.O., Olaniyi, O.A., Adekanmbi, A.M., Olubitan, J.O. (2023). Gross capital formation, infrastructure and economic development in Nigeria. *Asian Journal of Economics, Business and Accounting*, Vol. 23, Issue 22, 275–285. <https://doi.org/10.9734/ajebea/2023/v23i221152>
2. Ekeocha, D., Ogbuabor, E., Orji, A. (2022). Public infrastructural development and economic performance in Africa: A new evidence from panel data analysis. *Economic Change and Restructuring*, Vol. 55, 931–950. <https://doi.org/10.1007/s10644-021-09334-8>
3. Azzimonti, M., Sarte, P., Soares, J. (2009). Distortionary taxes and public investment when government promises are not enforceable. *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol. 33, Issue 9, 1662–1681. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2009.03.003>
4. Adeniran, B., Uguru, L. (2020). Granger causality effect of taxation and economic growth in Nigeria. *International Journal of Accounting and Taxation*, Vol. 8, Issue 1, 20–26. <https://doi.org/10.15640/ijat.v8n1a3>
5. Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, Issue 1, 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
6. Barro, R. (1990). Government spending in a simple model of endogenous growth. *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, Part 2, 103–126. <https://doi.org/10.1086/261726>
7. Adekanmbi, A.M., Shallie, A.D., Olaniyi, O.A. (2022). Tax Revenue and Sustainable Development in Nigeria: A Disaggregated Analysis. *Global Journal of Arts, Humanities and Social Sciences*, Vol. 10, No. 3, 43–54. <https://doi.org/10.37745/gjahss.2013/vol10no3pp.43-54>
8. Omodero, C.O. (2023). Modeling the Economic Impact of Value Added Tax Reforms in Nigeria. *Journal of Tax Reform*, Vol. 9, No. 2, 217–232. <https://doi.org/10.15826/jtr.2023.9.2.138>
9. Osho, A., Adeyeye, M., Adeniran, T. (2019). The effect of Value Added Tax on Investment, Social and Economic Development of Nigeria. *Science Park Journals*, Vol. 1, Issue 4, 182–203. <http://dx.doi.org/10.14412/IJBFER2019.203>
10. Onakoya, A., Afintinni, O. (2016). Taxation and economic growth in Nigeria. *Asian Journal of Economic Modelling*, Vol. 4, No. 4, 199–210. <http://dx.doi.org/10.18488/journal.8/2016.4.4/8.4.199.210>
11. Ayeni, O., Afolabi, O. (2020). Tax Revenue, Infrastructural Development and Economic Growth in Nigeria. *MPRA Paper. No. 99464*. University Library of Munich, 16 p. Available at: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/99464/1/MPRA_paper_99464.pdf
12. Rahman, Z., Sarkar, S. (2021). Role of value added tax (VAT) on the economic growth of Bangladesh. *IOSR Journal of Business and Management*, Vol. 23, Issue 2, 12–27. <http://dx.doi.org/10.9790/487X-2302071227>
13. Oto, T.E., Wayas, S. (2024). Value Added Tax and Economic Growth of Nigeria (2003–2022). *FUDMA Journal of Accounting and Finance Research*, Vol. 2, No. 1, 16–30. <https://doi.org/10.33003/fujafjr-2024.v2i1.74.16-30>
14. Maganya, M. (2020). Tax revenue and economic growth in developing country: an autoregressive distribution lags approach. *Central European Economic Journal*, Vol. 7, Issue 54, 205–217. <http://dx.doi.org/10.2478/ceej-2020-0018>
15. Tanchev, S. (2021). Long-run equilibrium between personal income tax and economic growth in Bulgaria. *Journal of Tax Reform*, Vol. 7, No. 1, 55–67. <http://dx.doi.org/10.15826/jtr.2021.7.1.090>
16. Hoerl, A., Kennard, R. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, Vol. 12, Issue 1, 55–67. <https://doi.org/10.2307/1267351>
17. Tendengu, S., Kapingura, F.M., Tsegaye, A. (2022). Fiscal Policy and Economic Growth in South Africa. *Economies*, Vol. 10, Issue 9, 204. <https://doi.org/10.3390/economies10090204>
18. Ogbonna, G., Amah, C. (2021). Taxation and economic growth in Nigeria. *International Journal on Economics, Finance and Sustainable Development*, Vol. 3, 63–79. <http://doi.org/10.31149/ijefsd.v3i8.2090>

19. Etim, E., Nweze, A., Umoffong, N. (2020). Petroleum profits tax, company income tax and economic growth in Nigeria. *Journal of Accounting, Finance and Auditing Studies*, Vol. 6, Issue 4, 164–187. <http://dx.doi.org/10.32602/jafas.2020.034>
20. Gashi, B., Asllani, G., Boqolli, L. (2018). The Effect of Tax Structure on Economic Growth. *International Journal of Economics and Business Administration*, Vol. 6, Issue 2, 56–67. <https://doi.org/10.35808/ijeba/157>
21. Stoilova, D. (2023). The Impact of Tax Structure on Economic Growth: New Empirical Evidence from Central and Eastern Europe. *Journal of Tax Reform*, Vol. 9, No. 2, 181–196. <https://doi.org/10.15826/jtr.2023.9.2.136>
22. Nedozi, F., Jude, O., Ighata, J. (2014). Infrastructural development and economic growth in Nigeria: Using simultaneous equation. *Journal of Economics*, Vol. 5, Issue 3, 325–332. <http://dx.doi.org/10.1080/09765239.2014.11885008>
23. Javid, M. (2019). Public and private infrastructure investment and economic growth in Pakistan: An aggregated and disaggregated analysis. *Sustainability*, Vol. 11, Issue 12, 3359. <https://doi.org/10.3390/su11123359>
24. Owolabi-Merus, O. (2015). Infrastructure development and economic growth nexus in Nigeria. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, Vol. 5, Issue 1, 376–382. <https://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v5-i1/1439>
25. Aworinde, O., Akintoye, I. (2019). Institutions, infrastructure and economic growth in Nigeria. *Economica*, Vol. 15, No. 3, 205–216. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(02\)00105-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(02)00105-0)
26. Anderu, K.S., Tosin, K.O. (2023). Public expenditure on infrastructural development and economic growth: Evidence from Nigeria. *Jurnal Perspektif Pembiayaan Dan Pembangunan Daerah*, Vol. 11, No. 2, 129–142. <https://doi.org/10.22437/ppd.v11i2.21064>
27. Almeida, J., Mendonca, H. (2019). The impact of infrastructure and taxation on economic growth; new empirical assessment. *Journal of Economic Studies*, Vol. 46, Issue 5, 1065–1082. <https://doi.org/10.1108/JES-03-2018-0105>
28. Solarin, S., Bello, M. (2021). Output and substitution elasticity estimates between renewable and non-renewable energy: implications for economic growth and sustainability in India. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 28, 65313–65332. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15113-9>
29. Pourmohammadi, P., Strager, M., Dougherty, M., Adjeroh, D. (2021). Analysis of Land Development Drivers Using Geographically Weighted Ridge Regression. *Remote Sensing*, Vol. 13, Issue 7, 1307. <https://doi.org/10.3390/rs13071307>
30. Dedrick, J., Gurbaxani, V., Kraemer, K. (2003). Information technology and economic performance: A critical review of the empirical evidence. *ACM Computing Surveys*, Vol. 35, Issue 1, 1–28. <https://doi.org/10.1145/641865.641866>
31. Ogbuabor, J., Onuigbo, F., Orji A., Anthony-Orji, O. (2020). Institutional quality and economic performance in Nigeria: A new evidence. *International Journal of Economics and Statistics*, Vol. 8, 38–49. <http://dx.doi.org/10.46300/9103.2020.8.7>
32. Gujarati, D., Porter, D. (2009). *Basic Econometrics*. 5th Edition. New York, McGraw Hill Inc., 922 p. Available at: https://cbpbu.ac.in/userfiles/file/2020/STUDY_MAT/ECO/1.pdf
33. Marquardt, D., Snee, R., (1970). Generalized in inverses, ridge regression, biased linear estimation. *Tecchnometrics*, Vol. 12, No. 3, 591–612. <http://dx.doi.org/10.2307/1267205>
34. Canning, D., Pedroni, P. (2008). Infrastructure, long-run economic growth and causality tests for cointegrated panels. *The Manchester School*, Vol. 76, Issue 5, 504–527. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9957.2008.01073.x>
35. Zhang, B., Yuan, S. (2018). Analysis of Affecting Factors of Proportion of Tertiary Industry Based on Ridge Regression. *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Management, Education and Social Science (ICMESS 2018)*. Series: *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, Vol. 176. Atlantis Press, 293–296. <https://doi.org/10.2991/icmess-18.2018.66>

36. Wen, L., Shao, H. (2019). Analysis of influencing factors of the carbon dioxide emissions in China's commercial department based on the STIRPAT model and ridge regression. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol. 26, Issue 4, 27138–27147. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05929-x>

37. Yoantika, A., Susiswo. (2021). Comparing the Principal Regression Analysis Method with Ridge Regression Analysis in Overcoming Multicollinearity on Human Development Index (HDI) Data in Regency/City of East Java in 2018. *Journal of Physics, Conference Series*, Vol. 1872, 012024. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1872/1/012024>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Oladimeji Abeeb Olaniyi

PhD, Lecturer, Department of Economics, University of Ilesa, Ilesa, Nigeria (JP32+WRV, Ilesa, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3487-0755> e-mail: olaniyioladimeji1857@gmail.com

Adewale Mathew Adekanmbi

PhD, Lecturer, Department of Management Science, Dominion University Ibadan, Ibadan, Nigeria (Lagos-Ibadan Expy, Olonde/Aba-Nla 110108, Oyo, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0009-0006-2028-708X> e-mail: adekbi@yahoo.com

Samson Adegboyega Opadeji

Lecturer, Department of Management Science, Dominion University Ibadan, Ibadan, Nigeria (Lagos-Ibadan Expy, Olonde/Aba-Nla 110108, Oyo, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0009-0009-6823-9724> e-mail: s.opadeji@dominionuniversity.edu.ng

Amos Dauda Shallie

Business Support Assistant, UN-World Food Program, Maiduguri Station, University of Maiduguri, Maiduguri, Nigeria (Maiduguri 600282, Borno, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0009-0007-7099-517X> e-mail: Shallieamos@yahoo.com

FOR CITATION

Olaniyi, O.A., Adekanmbi, A.M., Opadeji, S.A., Shallie, A.D. (2024). Assessing the Impact of Infrastructure on Tax Structure and Improving Economic Performance: The Case of Nigeria. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 623–641. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.025>

ARTICLE INFO

Received June 2, 2024; Revised June 21, 2024; Accepted July 10, 2024.

Оценка влияния инфраструктуры на налоговую структуру и улучшение экономических показателей: пример Нигерии

О. А. Оланийи¹  , А. М. Адеканмби² , С. А. Опадеджи² , А. Д. Шалли³ 

¹Университет Илеса,

г. Илеса, Нигерия

²Университет Доминиона в Ибадане,

г. Ибадан, Нигерия

³Университет Майдугури,

г. Майдугури, Нигерия

 olaniyioladimeji1857@gmail.com

Аннотация. Актуальность данного исследования заключается в установлении интерактивной роли инфраструктуры в формировании налоговой структуры и в стимулировании долгосрочных экономических показателей в Нигерии. Эмпирические данные показали, что больший акцент был сделан на исследованиях, связанных с влиянием налогообложения на показатели экономики. Целью данного исследования является изучение влияния уровня развития инфраструктуры на налоговую структуру и улучшение экономических показателей в Нигерии. Гипотеза о взаимосвязи между налоговой структурой и экономическими показателями в Нигерии была оценена с помощью метода ридж-регрессии (RR) для учета частоты мультиколлинеарности, которая существовала среди исследуемых переменных, с использованием набора данных, охватывающего 1993–2022 гг. Кроме того, в исследовании использовалась модель роста Барро, в которой акцент делался на инвестициях в инфраструктуру, усиленных за счет налогов, в качестве основного эндогенного фактора, стимулирующего экономический рост. Результаты показали, что при наличии развитой инфраструктуры налог на добавленную стоимость, налог на предприятия, таможенные и акцизные сборы, а также налог на прибыль в нефтяной промышленности имеют положительную и значимую связь с экономическими показателями, в то время как подоходный налог с физических лиц имеет положительную, но незначимую связь с экономическими показателями в Нигерии за исследуемый период. Таким образом в исследовании был сделан вывод о том, что при наличии инфраструктуры налоговая структура в значительной степени способствовала экономическим показателям Нигерии в течение исследуемого периода. Основываясь на этом выводе, данное исследование рекомендует директивным органам сосредоточиться на таких мерах, как налоговое просвещение и просвещение для поощрения добровольного соблюдения налогового законодательства для получения существенных доходов для финансирования инфраструктурного развития, тем самым повышая уровень экономических показателей в Нигерии.

Ключевые слова: налоговая структура; инфраструктура; экономические показатели; мультиколлинеарность; ридж-регрессия.

Список использованных источников

1. Opadeji S. O., Olaniyi O. A., Adekanmbi A. M., Olubitan J. O. Gross capital formation, infrastructure and economic development in Nigeria // Asian Journal of Economics, Business and Accounting. 2023. Vol. 23, Issue 22. Pp. 275–285. <https://doi.org/10.9734/ajebe/2023/v23i221152>
2. Ekeocha D., Ogbuabor E., Orji A. Public infrastructural development and economic performance in Africa: A new evidence from panel data analysis // Economic Change and Restructuring. 2022. Vol. 55. Pp. 931–950. <https://doi.org/10.1007/s10644-021-09334-8>

3. *Azzimonti M., Sarte P., Soares J.* Distortionary taxes and public investment when government promises are not enforceable // *Journal of Economic Dynamics & Control*. 2009. Vol. 33, Issue 9. Pp. 1662–1681. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2009.03.003>
4. *Adeniran B., Uguru L.* Granger causality effect of taxation and economic growth in Nigeria // *International Journal of Accounting and Taxation*. 2020. Vol. 8, Issue 1. Pp. 20–26. <https://doi.org/10.15640/ijat.v8n1a3>
5. *Solow R.* A contribution to the theory of economic growth // *The Quarterly Journal of Economics*. 1956. Vol. 70, Issue 1. Pp. 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
6. *Barro R.* Government spending in a simple model of endogenous growth // *Journal of Political Economy*. 1990. Vol. 98, No. 5, Part 2. Pp. 103–126. <https://doi.org/10.1086/261726>
7. *Adekanmbi A. M., Shallie A. D., Olaniyi O. A.* Tax Revenue and Sustainable Development in Nigeria: A Disaggregated Analysis // *Global Journal of Arts, Humanities and Social Sciences*. 2022. Vol. 10, No. 3. Pp. 43–54. <https://doi.org/10.37745/gjahss.2013/vol10no3pp.43-54>
8. *Omodero C. O.* Modeling the Economic Impact of Value Added Tax Reforms in Nigeria // *Journal of Tax Reform*. 2023. Vol. 9, No. 2. Pp. 217–232. <https://doi.org/10.15826/jtr.2023.9.2.138>
9. *Osho A., Adeyeye M., Adeniran T.* The effect of Value Added Tax on Investment, Social and Economic Development of Nigeria // *Science Park Journals*. 2019. Vol. 1, Issue 4. Pp. 182–203. <http://dx.doi.org/10.14412/IJBFER2019.203>
10. *Onakoya A., Afintinni O.* Taxation and economic growth in Nigeria // *Asian Journal of Economic Modelling*. 2016. Vol. 4, No. 4, Pp. 199–210. <http://dx.doi.org/10.18488/journal.8/2016.4.4/8.4.199.210>
11. *Ayeni O., Afolabi O.* Tax Revenue, Infrastructural Development and Economic Growth in Nigeria // MPRA Paper. No. 99464. University Library of Munich, 2020. 16 p. URL: https://mpa.ub.uni-muenchen.de/99464/1/MPRA_paper_99464.pdf
12. *Rahman Z., Sarkar S.* Role of value added tax (VAT) on the economic growth of Bangladesh // *IOSR Journal of Business and Management*. 2021. Vol. 23, Issue 2. Pp. 12–27. <http://dx.doi.org/10.9790/487X-2302071227>
13. *Oto T. E., Wayas S.* Value Added Tax and Economic Growth of Nigeria (2003–2022) // *FUDMA Journal of Accounting and Finance Research*. 2024. Vol. 2, No. 1. Pp. 16–30. <https://doi.org/10.33003/fujaf-2024.v2i1.74.16-30>
14. *Maganya M.* Tax revenue and economic growth in developing country: an autoregressive distribution lags approach // *Central European Economic Journal*. 2020. Vol. 7, Issue 54. Pp. 205–217. <http://dx.doi.org/10.2478/ceej-2020-0018>
15. *Tanchev S.* Long-run equilibrium between personal income tax and economic growth in Bulgaria // *Journal of Tax Reform*. 2021. Vol. 7, No. 1. Pp. 55–67. <http://dx.doi.org/10.15826/jtr.2021.7.1.090>
16. *Hoerl A., Kennard R.* Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems // *Technometrics*. 1970. Vol. 12, Issue 1. Pp. 55–67. <https://doi.org/10.2307/1267351>
17. *Tendengu S., Kapingura F. M., Tsegaye A.* Fiscal Policy and Economic Growth in South Africa // *Economies*. 2022. Vol. 10, Issue 9. 204. <https://doi.org/10.3390/economies10090204>
18. *Ogbonna G., Amah C.* Taxation and economic growth in Nigeria // *International Journal on Economics, Finance and Sustainable Development*. 2021. Vol. 3. Pp. 63–79. <http://doi.org/10.31149/ijefsd.v3i8.2090>
19. *Etim E., Nweze A., Umoffong N.* Petroleum profits tax, company income tax and economic growth in Nigeria // *Journal of Accounting, Finance and Auditing Studies*. 2020. Vol. 6, Issue 4. Pp. 164–187. <http://dx.doi.org/10.32602/jafas.2020.034>
20. *Gashi B., Asllani G., Boqolli L.* The Effect of Tax Structure on Economic Growth // *International Journal of Economics and Business Administration*. 2018. Vol. 6, Issue 2. Pp. 56–67. <https://doi.org/10.35808/ijeba/157>

21. *Stoilova D.* The Impact of Tax Structure on Economic Growth: New Empirical Evidence from Central and Eastern Europe // *Journal of Tax Reform*. 2023. Vol. 9, No. 2. Pp. 181–196. <https://doi.org/10.15826/jtr.2023.9.2.136>
22. *Nedozi F., Jude O., Ighata J.* Infrastructural development and economic growth in Nigeria: Using simultaneous equation // *Journal of Economics*. 2014. Vol. 5, Issue 3. Pp. 325–332. <http://dx.doi.org/10.1080/09765239.2014.11885008>
23. *Javid M.* Public and private infrastructure investment and economic growth in Pakistan: An aggregated and disaggregated analysis // *Sustainability*. 2019. Vol. 11, Issue 12. 3359. <https://doi.org/10.3390/su11123359>
24. *Owolabi-Merus O.* Infrastructure development and economic growth nexus in Nigeria // *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*. 2015. Vol. 5, Issue 1. Pp. 376–382. <https://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v5-i1/1439>
25. *Aworinde O., Akintoye I.* Institutions, infrastructure and economic growth in Nigeria // *Economica*. 2019. Vol. 15, No. 3. Pp. 205–216. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(02\)00105-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(02)00105-0)
26. *Anderu K. S., Tosin K. O.* Public expenditure on infrastructural development and economic growth: Evidence from Nigeria // *Jurnal Perspektif Pembiayaan Dan Pembangunan Daerah*. 2023. Vol. 11, No. 2. Pp. 129–142. <https://doi.org/10.22437/ppd.v11i2.21064>
27. *Almeida J., Mendonca H.* The impact of infrastructure and taxation on economic growth; new empirical assessment // *Journal of Economic Studies*. 2019. Vol. 46, Issue 5. Pp. 1065–1082. <https://doi.org/10.1108/JES-03-2018-0105>
28. *Solarin S., Bello M.* Output and substitution elasticity estimates between renewable and non-renewable energy: implications for economic growth and sustainability in India // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. Pp. 65313–65332. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15113-9>
29. *Pourmohammadi P., Strager M., Dougherty M., Adjero D.* Analysis of Land Development Drivers Using Geographically Weighted Ridge Regression // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13, Issue 7. 1307. <https://doi.org/10.3390/rs13071307>
30. *Dedrick J., Gurbaxani V., Kraemer K.* Information technology and economic performance: A critical review of the empirical evidence // *ACM Computing Surveys*. 2003. Vol. 35, Issue 1. Pp. 1–28. <https://doi.org/10.1145/641865.641866>
31. *Ogbuabor J., Onuigbo F., Orji A., Anthony-Orji O.* Institutional quality and economic performance in Nigeria: A new evidence // *International Journal of Economics and Statistics*. 2020. Vol. 8. Pp. 38–49. <http://dx.doi.org/10.46300/9103.2020.8.7>
32. *Gujarati D., Porter D.* Basic Econometrics. 5th Edition. New York: McGraw Hill Inc., 2009. 922 p. URL: https://cbpbu.ac.in/userfiles/file/2020/STUDY_MAT/ECO/1.pdf
33. *Marquardt D., Snee R.* Generalized in inverses, ridge regression, biased linear estimation // *Tecchnometrics*. 1970. Vol. 12, No. 3. Pp. 591–612. <http://dx.doi.org/10.2307/1267205>
34. *Canning D., Pedroni P.* Infrastructure, long-run economic growth and causality tests for cointegrated panels // *The Manchester School*. 2008. Vol. 76, Issue 5. Pp. 504–527. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9957.2008.01073.x>
35. *Zhang B., Yuan S.* Analysis of Affecting Factors of Proportion of Tertiary Industry Based on Ridge Regression // *Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Management, Education and Social Science (ICMESS 2018)*. Series: Advances in Social Science, Education and Humanities Research. Vol. 176. Atlantis Press, 2018. Pp. 293–296. <https://doi.org/10.2991/icmess-18.2018.66>
36. *Wen L., Shao H.* Analysis of influencing factors of the carbon dioxide emissions in China's commercial department based on the STIRPAT model and ridge regression // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26, Issue 4. Pp. 27138–27147. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05929-x>

37. *Yoantika A., Susiswo.* Comparing the Principal Regression Analysis Method with Ridge Regression Analysis in Overcoming Multicollinearity on Human Development Index (HDI) Data in Regency/City of East Java in 2018 // *Journal of Physics. Conference Series.* 2021. Vol. 1872. 012024. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1872/1/012024>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Оланийи Оладимеджи Абиб

PhD, преподаватель кафедры экономики, Университет Илеса, г. Илеса, Нигерия (JP32+WRV, Pesa, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3487-0755> e-mail: olaniyioladimeji1857@gmail.com

Адеканмби Адевале Мэтью

PhD, преподаватель кафедры управленческих наук, Университет Доминиона в Ибадане, г. Ибадан, Нигерия (Lagos-Ibadan Expy, Olonde/Aba-Nla 110108, Oyo, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0009-0006-2028-708X> e-mail: adekbi@yahoo.com

Опадеджи Самсон Адегбойега

Преподаватель кафедры управленческих наук, Университет Доминиона в Ибадане, г. Ибадан, Нигерия (Lagos-Ibadan Expy, Olonde/Aba-Nla 110108, Oyo, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0009-0009-6823-9724> e-mail: s.opadeji@dominionuniversity.edu.ng

Шалли Амос Дауда

Помощник по поддержке бизнеса, Всемирная продовольственная программа ООН, станция Майдугури, Университет Майдугури, г. Майдугури, Нигерия (Maiduguri 600282, Borno, Nigeria); ORCID <https://orcid.org/0009-0007-7099-517X> e-mail: Shallieamos@yahoo.com

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Оланийи О. А., Адеканмби А. М., Опадеджи С. А., Шалли А. Д. Оценка влияния инфраструктуры на налоговую структуру и улучшение экономических показателей: пример Нигерии // *Journal of Applied Economic Research.* 2024. Т. 23, № 3. С. 623–641. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.025>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 2 июня 2024 г.; дата поступления после рецензирования 21 июня 2024 г.; дата принятия к печати 10 июля 2024 г.



Факторы энергоперехода компаний обрабатывающей промышленности с учетом их включенности в глобальные цепочки создания стоимости

М. Г. Кузык¹ , Л. С. Ружанская^{1, 2}  

¹Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»,
г. Москва, Россия

²Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

 l.s.ruzhanskaya@urfu.ru

Аннотация. Экологические проблемы, результаты структурных изменений в мировой экономике и технологического прогресса ставят задачу поиска факторов, стимулирующих переход от непрерывного роста энергопотребления к декарбонизации и энергопереходу. Целью статьи является эмпирический анализ факторов политики компаний в сфере энергоперехода в различных странах мира с учетом функционирования глобальных цепочек создания стоимости (ГЦСС). База данных основана на результатах опроса представителей более 15 тыс. компаний обрабатывающей промышленности, проведенного группой Мирового банка в 2018–2020 гг. в 40 странах. Новизна предложенной в работе аналитической рамки исследования заключается в комплексном представлении внешних и внутренних по отношению к компаниям факторов, влияющих на решения в области политики и стратегий в области энергоперехода. Проведенный анализ позволил выявить наличие элементов политики энергоэффективности и энергоперехода у более чем 2/3 компаний выборки с акцентом на энергоэффективность, что отражает стремлением сократить соответствующие расходы. Использование компаниями ископаемого топлива является драйвером энергоперехода. Обнаружены две альтернативные стратегии фирм в сфере энергоперехода: первая акцентируется на планах и действиях по повышению энергоэффективности, вторая предполагает переход к углеродной нейтральности. Высокий страновой уровень доходов сдерживает компании от решений в области энергоэффективности, но стимулирует реализацию стратегии снижения углеродной эмиссии. Уровень экологической эффективности стран положительно сказывается на «погруженности» их компаний в повестку энергоперехода. Участие компаний в ГЦСС в целом положительно связано с наличием у них элементов политики энергоэффективности и энергоперехода. Важными факторами приверженности компаний политике энергоэффективности и энергоперехода выступают государственное налоговое регулирование и запросы со стороны потребителей. Также выявлены признаки распространения стимулов к реализации политики в сфере энергоперехода вдоль производственных цепочек. Полученные результаты могут быть использованы при разработке промышленной политики.

Ключевые слова: энергопереход; энергоэффективность; энергопотребление; углеродная нейтральность; ископаемое топливо; возобновляемые источники энергии; глобальные цепочки создания стоимости.

1. Введение

Энергетический переход представляет собой многомерный и нелинейный процессом. Sovacool & Geels [1], отмечая комплексность энергоперехода, выделили три взаимосвязанных направления изменений, которые возникают в связи с принятием этой парадигмы развития энергетической системы: 1) материальные элементы энергетической системы, к которым относятся технологии, инфраструктура, рынок, производственное оборудование, модели потребления и цепочки распределения; 2) участники и их поведение, включающие новые стратегии и модели инвестиций, а также изменение коалиций и возможностей участников; 3) социотехнические режимы, которые содержат формальные правила и политику, институты, а также социальные установки и практики.

Несмотря на глобальный тренд устойчивого развития, энергопереход не является непрерывно поступательным процессом и по-разному протекает в странах-экспортерах и странах-импортерах энергоресурсов.

Zakeri B. et al. [2] обнаружили замедление перехода вследствие пандемии COVID-19 из-за спроса на старые источники для обеспечения энергетической безопасности стран. В постпандемийный период сохраняются признаки продолжающегося спада на энергетическом рынке и нарушения глобальной цепи поставок энергии. Падение цен на ископаемое топливо также ослабило ценовую конкурентоспособность возобновляемых источников энергии. Однако возросший риск инвестиций в ископаемое топливо и преимущества возобновляемой энергетики могут создать новые возможности для энергетического перехода.

Liu et al. [3] на данных Китая, крупнейшей производящей экономике мира, выявили стимулирующий эффект пере-

хода на низкоуглеродные источники топлива за счет изменения относительных цен на нефть и электроэнергию, связанной с российско-украинским конфликтом.

Для того чтобы анализировать факторы энергоперехода, Gereffi [4] считает необходимым учитывать тот факт, что нынешний переход управляется и координируется с помощью государственной политики, направленной на декарбонизацию и снижение загрязнения воздуха, в то время как прошлые переходы происходили без сильной политической поддержки.

Промышленные компании, являясь одними из крупнейших потребителей энергии, влияют на реализацию новой парадигмы развития энергетики своими решениями в области энергоэффективности, потребления альтернативных источников энергии и выбросов CO₂. Взаимодействие между промышленными компаниями из разных стран в ходе производства продуктов способствует передаче по цепи создания стоимости практик и проблем в области энергопотребления и энергоэффективности.

Kano et al. [5, p. 579] определяют глобальные цепочки создания стоимости (ГЦСС) как «комплекс взаимосвязанных функций и операций, через которые товары и услуги производятся, распределяются и потребляются на глобальной основе».

ГЦСС, как правило, возглавляемые крупными многонациональными предприятиями (МНП), оказывают существенное воздействие на окружающую среду. Благодаря ГЦСС проблемы, связанные с энергоэффективностью и энергосбережением, распределяются вдоль цепочек между странами в зависимости от технологической готовности, государственной политики и интересов самих компаний-потребителей энергии между регионами.

Как будет показано ниже, политика и стратегии промышленных компаний в области энергоперехода различаются в зависимости от характеристик самих компаний, экономического и институционального окружения. При наличии большого массива литературы по ГЦСС и энергопереходу существует дефицит публикаций, объясняющих сложный механизм взаимосвязи.

Исследователи сходятся во мнении, что возобновляемые источники энергии являются перспективным решением для глобальных проблем человечества, таких как изменение климата и рост загрязнения окружающей среды. В то же время относительно последствий роста доли участия компаний в ГЦСС для защиты окружающей среды и энергосбережения высказываются противоречивые мнения. Pietrobelli & Rabellotti [6] обосновали, что для развития экотехнологий важно получить доступ к знаниям и инновациям, что общепризнанно обеспечивает интеграция в ГЦСС. Однако, по оценкам Ferrarini & Vries [7], участие компаний в ГЦСС может привести к увеличению выбросов CO₂.

Исследовательский вопрос: какова направленность взаимосвязи факторов энергоперехода компаний обрабатывающей промышленности с учетом их включенности в ГЦСС в различных странах мира?

Цель исследования — эмпирический анализ факторов политики компаний в сфере энергоперехода в различных странах мира с учетом функционирования глобальных цепочек создания стоимости.

Гипотеза исследования состоит в том, что участие компаний в глобальных цепочках создания стоимости положительно связано с наличием у них политики энергоперехода.

Структура статьи. В обзоре литературы раскрыта сущность механизма

взаимосвязи энергоперехода и поведения компаний, включенных в глобальные цепочки создания стоимости, с учетом страновых особенностей. Представление метрик участия компаний в ГЦСС, а также характеристики компаний и факторов внешней среды, влияющих на применение компаниями практик энергоперехода, оформлены в аналитическую рамку исследования. Методический раздел статьи включает описание базы данных и эконометрических моделей, результаты оценки параметров которых позволили выделить факторы применения стратегий энергоэффективности и углеродной нейтральности компаниями выборки, а также различия в распространении этих стратегий по странам выборки. В завершении статьи приводится дискуссия, обсуждается вклад в развитие темы, выводы для политики и возможности будущих исследований.

2. Обзор литературы

2.1. Механизм взаимосвязи энергоперехода и глобализации

В литературе выделяются два блока исследований, представивших разнонаправленные результаты о взаимосвязи между глобализацией и энергопереходом.

Первая группа исследований показывает, что расширение участия в цепочках может предотвратить ухудшение состояния окружающей среды и стимулировать экономию энергии по нескольким причинам.

Liu et al. [8] обосновали, что перелив природоохранных и новых энергетических технологий, а также обмен технической информацией приводит к снижению выбросов и увеличению использования возобновляемых источников энергии.

Khattak & Stringer [9] обратили внимание на то, что участие в цепочках вынуждает фирмы-поставщики следовать глобальными экологическими ограниче-

ниям и стандартами, чтобы не быть исключенными из ГЦСС.

Hu et al. [10] обнаружили опосредованное воздействие экологического регулирования на рост инноваций в области зеленой экономики вследствие встраивания компаний в ГЦСС.

Вторая группа исследований содержит результаты о том, что рост участия в цепочках может привести к увеличению потребления энергии и выбросов CO₂ по нескольким каналам.

Poulsen et al. [11] показали, что участие в ГЦСС связано с увеличением транспортных и прочих логистических расходов, а большие расстояния приводят к росту энергопотребления и увеличению выбросов CO₂.

Kaltenegger et al. [12] обнаружили рост энергопотребления из-за участия компаний в глобальных цепочках создания стоимости, которое требует тесных обратных связей.

Spraiser et al. [13] указали на перераспределение бремени выбросов и энергопотребления внутри международных цепочек, что снижает эффективность регулирования энергопотребления внутри стран.

Известно, что энергопереход происходит в разных странах с разной скоростью. Лидерами являются развитые экономики Евросоюза. Причины медленного энергоперехода кроются в том, что преобразования в энергетике масштабны и сложны и зависят от прежнего пути развития.

Кроме того, инфраструктура энергетической системы имеет огромные невозвратные издержки, сохраняющие экономические стимулы по ее использованию до момента полного списания. Новые источники энергии медленно улучшают свои характеристики и медленно вытесняют традиционные источники. Энергосберегающие технологии обладают всеми характеристиками инно-

ваций, а вывод инноваций на массовый рынок — длительный процесс.

Fattouh et al. [14] выявили, что быстрый энергопереход чаще наблюдается в небольших странах со специфическими условиями и слабо масштабируется на другие страны.

Wu et al. [15] установили, что уровень экономического развития страны, отраслевая и энергетическая структура, государственная политика влияют на различия в участии компаний из разных стран в процессе энергоперехода.

По-разному на эффективность энергоперехода влияет цифровизация экономики в странах с разным уровнем дохода. Так, для стран с высоким уровнем дохода Shahbaz et al. [16] одним из позитивных последствий роста цифровой экономики для перехода к возобновляемой энергетике назвали расширение возможностей государственного управления, а Loock [17] на данных европейских стран обнаружил позитивное влияние на энергопереход внедрения инновационных бизнес-моделей, повышающих независимость энергетике от существующих структур, ростом технологических инноваций, ускорением накопления человеческого капитала и смягчением перекосов в структуре промышленности.

Согласно оценкам Xu et al. [18], в целом цифровизация оказывает большее влияние на энергопотребление в странах с низким уровнем дохода и слаборазвитых регионах и меньшее влияние на энергопотребление в странах с высоким уровнем дохода и развитых регионах.

Если в некоторых регионах мира, например в Европе, трансформация энергетической системы происходит быстро, то скорость глобального энергетического перехода остается весьма неопределенной. Так, траектория энергоперехода на растущих и развивающихся рынках, согласно исследованию Golgeci

et al. [19], зависит не только от поведения локальных компаний, но и МНК.

Возрастающие требования к своим партнерам по глобальным цепочкам со стороны крупных международных компаний по отношению соблюдения экологических норм и стандартов циркулярной экономики и энергоэффективности выявили также Goyal et al. [20]. При этом наиболее сильное воздействие со стороны МНК обнаружено Li et al. [21] для участников первого порядка (дочерние компании МНК), для участников второго, третьего и более порядков воздействие ослабевает.

По оценкам Espinosa-Gracia et al. [22], положение в верхних звеньях цепочки создания стоимости ассоциируется с большими стимулами к снижению давления на окружающую среду, таким как выбросы CO₂.

Эмпирическое исследование Kong et al. [23] по китайским промышленным компаниям получило подтверждение положительного влияния институциональных иностранных инвесторов. Механизмами его распространения являются повышенные расходы на НИОКР, корпоративное управление и вложения в человеческий капитал.

В то же время Jensen [24] подтвердил гипотезу «загрязненной гавани» (pollution haven hypothesis) о поведении управляющей МНК в отношении локальных участников цепочки из развивающихся стран. Энергоемкие транснациональные компании проводят жесткие меры экономии в развитых странах и политику «мягких» ограничений на потребление электроэнергии в странах, где цены на энергоносители ниже, а регулирование слабее, что стимулирует увеличение потребления местными компаниями-участниками цепочек. Структура владения компанией отражает мотивы в принятии решений по энергопереходу. Роль иностранных инвесторов

в энергетической политике промышленных компаний связана с глобальными цепочками создания стоимости.

Контекст энергоперехода в России зависит от большой роли углеводородов в создании национального благосостояния и доходов бюджета. Mitrova & Melnikov [25] считают, что крупные безвозвратные инвестиции в сложившуюся энергетическую инфраструктуру страны и кооперационные связи с промышленными компаниями во многом обусловили мягкую климатическую и технологическую политики. Беспрецедентные технологические и финансовые санкции также откладывают масштабный энергопереход. В то же время страна обладает возобновляемыми источниками энергии и большим потенциалом для производства водорода из отходов и традиционных источников. Кроме того, нарастает глубина и масштабы цифровизации бизнеса, государственного управления и общества, что ускоряет проникновения энергосберегающих технологий.

2.2. Факторы энергоперехода компаний в глобальной экономике

Принятие решения компанией-потребителем энергии в отношении политики и реализации мер по мониторингу энергопотребления и эмиссии CO₂, производства энергии из возобновляемых источников, а также повышению энергоэффективности и энергосбережения зависит от факторов, действующих как на уровне самого предприятия, так и его окружения: странового и отраслевого.

Крупные и старые компании более восприимчивы к контролю со стороны стейкхолдеров. Кроме того, будучи более информационно прозрачными, они обычно сталкиваются с меньшими финансовыми трудностями. Следовательно, склонность к внедрению устойчивых энергетических должна возрастать с ростом размеров и возраста бизнеса. Agostino et

al. [26] обнаружили гетерогенность размера со стороны показателя выручки фирмы, поскольку прибыльные компании могут иметь большую способность инвестировать в экологичные стратегии.

Компании в глобальной экономике включены в цепочки создания стоимости, они экспортируют и импортируют конечные и промежуточные продукты, выступая одно- и двусторонними трейдерами. Кроме того что энергетические решения передаются по цепочке между ее участниками в зависимости от влияния управляющей МНК и различий в регулирующих нормах между юрисдикциями, важную роль в энергоэффективности компаний играет их статус экспортера.

Международная исследовательская группа по экспорту и производительности (International Study Group on Exports and Productivity) [27], проведя сравнительных анализ экспортной премии в 14 странах, доказала, что компании-экспортеры являются наиболее производительными и инновационными по сравнению с фирмами, ориентированными на внутренний рынок.

Montalbano & Nenci [28] установили, что стремление к повышению эффективности мотивирует экспортеров применять энергосберегающие технологии и повышать энергоэффективность.

Государство как носитель интересов общества может способствовать внедрению локальными производителями энергетических и экологических инноваций через механизм владения. Однако в разных странах это влияние может иметь различные результаты.

Roud & Thurner [29] для российских промышленных компаний обнаружили положительное стимулирующее воздействие государственной собственности на применение системы экологического менеджмента.

Однако результаты эмпирического исследования по Китаю, проведенного

Lia et al. [30], показывают, что уровень загрязнения на государственных предприятиях превышает уровень загрязнения в частных отечественных и зарубежных компаниях. Государственные компании со старой системой управления используют более отсталые «грязные» технологии. Аналогичный эффект обнаружен Jensen & Mina [31] в контексте Польши.

Agostino et al. [26] показали, что эффективным механизмом регулирующего воздействия государства на принятие решений промышленными компаниями в области энергоперевода является налогообложение энергоносителей и загрязнение окружающей среды.

Steinbrunner [32] показал, что ставки таких налогов положительно влияют на производительность труда в энергоемких отраслях, отраслях, производящих энергоемкие товары, и отраслях, загрязняющих окружающую среду. Налоги на энергоносители обычно составляют наибольшую долю в общем объеме экологических налогов.

Sahu et al. [33] в отношении энергетических налогов обнаружили дилемму производительности: повышение энергоэффективности ведет к увеличению рентабельности и эффективности затрат. Это, в свою очередь, может мотивировать фирмы к расширению производства, что ведет к росту энергопотребления и снижению энергоэффективности.

Противоречивость эффектов государственного регулирования для энергетического перехода усиливается на развивающихся рынках, где оно может быть слабым или непоследовательным.

Achabou et al. [34] рассматривают частное регулирование, такое как сертификация третьей стороной и НКО в качестве альтернативного государственному способу регулирования на международном уровне.

Rigo [35] оценивает обладание международными сертификатами и зарубеж-

ными лицензионными технологиями как фактор, способствующий снижению издержек и устойчивости в цепочка наряду с программами обучения и цифровыми технологиями. Однако и частное регулирование регулирующем воздействии по поводу принятия норм по снижению выбросов и энергоемкости производств не может компенсировать действия государственных механизмов без негативных экстерналий.

Mayer & Gereffi [36] обнаружили, что рост частного регулирования приводит к повышению барьеров для входа компаний с растущих рынков в глобальные цепочки.

Применяемые технологии и ресурсы, уровень конкурентного давления и цикличность развития в разных отраслях должны по-разному влиять на потребление энергии и возможности энергоперехода.

Franco et al. [37] в рамках сравнительного анализа отраслей пришли к выводу, что упадочные отрасли будут сопротивляться энергетическому переходу и это задерживает процесс трансформации. У разных отраслей разные нормы рентабельности, поэтому не все отрасли могут позволить внедрение дорогостоящих технологий. Разные отрасли по-разному накапливают знания, проводят обучения и внедряют инновации разными темпами, поэтому в разных отраслях появляются технологии, которые были недоступны предыдущим энергетическим системам, с технологическими характеристиками, позволяющими сделать прорывы в использовании энергии, а у других отраслей этого может не быть. В промышленном секторе разные отрасли характеризуются различными уровнями структуры энергопотребления, определяющими пути энергоперехода, а также энергетических решений и инструментов реализации этой парадигмы. Кроме того, в отраслевые рынки харак-

теризуются разным давлением на производителей со стороны потребителей.

He et al. [38] нашли еще один рыночный фактор экологического поведения компаний — давление со стороны потребителей компании: клиенты могут запрашивать у производителя сертификации или соответствия каким-либо экологическим стандартам.

Страновое или региональное окружение компаний задает условия для энергоперехода производителей. Zeng & Huang [39] описали механизм положительных агломерационных эффектов для энергетического перехода за счет развитости инфраструктуры, качества человеческого капитала и инновационной активности в области экологии. Лидерство развитых стран в скорости энергоперехода отражает положительное влияние экономического развития страны. Это неоднократно подтверждено результатами Environmental Performance Index (EPI). Развитые страны опережают развивающиеся страны и растущие рынки в области охраны окружающей среды и «зеленых» технологий. В рамках разделения труда в ГЦСС развивающихся рынков, как правило, импортируются устаревшие производственные мощности или процессы развитых стран, а некоторые сегменты производства с высоким уровнем загрязнения и энергопотребления передаются на аутсорсинг в развивающиеся страны.

Pan et al. [40] обратили внимание на то, что по мере роста позиций Китая в системе разделения труда в ГЦСС производимая в Китае продукция постепенно переходит из сегментов трудоемкого и загрязняющего окружающую среду производства в сегменты технологичного и экологичного производства.

Институциональная среда оказывает существенное влияние на политику компаний с развивающихся рынков в отношении энергоперехода. Но и здесь обнаруживается противоречивость эмпи-

рических результатов. С одной стороны, Ben Brik et al. [41] показывают, что институты создают стимулы и побуждают фирмы к внедрению новых практик, таких как устойчивое развитие в управление цепями. С другой стороны, Khanna & Liao [42] свидетельствуют, что слабые и непоследовательные институты страны происхождения и неконтролируемое экономическое развитие увеличивают препятствия для внедрения новых практик и тормозят энергопереход и экологическое развитие на развивающихся рынках.

При наличии большого массива литературы по ГЦСС и энергопереходу в отдельности существует дефицит публикаций, объясняющих сложный механизм их взаимосвязи. Кроме того, детального рассмотрения заслуживают иные — помимо участия в ГЦСС — внешние и внутренние факторы, прямо и опосредованно влияющие на наличие у компаний политики в сфере энергоэффективности и энергоперехода.

3. Методы и данные

Источником данных для анализа послужили результаты масштабного опроса представителей бизнеса, организованного группой Мирового банка (World Bank Enterprise Survey — WBES)¹. Третья волна опроса была проведена в период с октября 2018 г. по июль 2020 г., при этом 80 % ответов респондентов было получено в 2019 г.

Принципиально важная для нас особенность третьей волны опроса заключалась в наличии в ней существенного акцента на зеленой экономике. Респондентам был предложен широкий круг вопросов об использовании ископаемого топлива и альтернативных источников топлива, эмиссии CO₂, экологическом менеджменте, реализуемых мерах по повышению энергоэффектив-

ности и т. п. К сожалению, последующие опросы подобного акцента уже не имели. Кроме того, последний на сегодняшний день раунд WBES (2023) ощутимо смещен в сторону беднейших стран Африки, Азии и Латинской Америки, а также не включает Россию, что представляет принципиальным ограничением.

При этом мы полагаем, что значимые для нашего исследования результаты третьей волны WBES сохраняют свою актуальность, поскольку энергетическая сфера в силу высокой капиталоемкости обладает очень большой инертностью, а существенные изменения в ней, как правило, проявляются лишь на горизонте десятилетий. Подтверждением этому служит, в частности, тот факт, что с 2019 г., когда была получена преобладающая часть используемых нами опросных данных, мировая структура энергопотребления изменилась весьма слабо².

В итоговую выборку обследования вошли свыше 15 тыс. компаний обрабатывающей промышленности из 40 стран Европы, Азии и Северной Африки. При этом в выборке наиболее широко представлены компании из стран с высоким и средневысоким уровнем доходов (в соответствии с классификацией Мирового банка³), несколько менее — из стран со средненизким уровнем, тогда как из беднейших стран в сферу обследования вошел лишь Таджикистан (табл. 1).

Проведенный анализ литературы позволил выявить группы факторов, которые могут влиять на решения компаний в отношении энергоперехода в разных странах. Аналитическая рамка исследования представлена на рис. 1.

² https://www.energyinst.org/_data/assets/pdf/file/0004/1055542/EI_Stat_Review_PDF_single_3.pdf

³ <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-world-bank-country-classifications-income-level-2022>

¹ <https://www.enterprisesurveys.org/en/enterprisesurveys>

Таблица 1. Страновая структура выборки компаний обрабатывающей промышленности

Table 1. Country structure of the sample of manufacturing companies

Страна	Уровень доходов (по состоянию на 2019 г.)	Количество компаний, ед.	Доля в выборке, %
Италия	высокий	461	3,0
Мальта	высокий	82	0,5
Кипр	высокий	118	0,8
Чехия	высокий	290	1,9
Словения	высокий	175	1,1
Литва	высокий	126	0,8
Эстония	высокий	134	0,9
Португалия	высокий	774	5,0
Венгрия	высокий	481	3,1
Польша	высокий	964	6,3
Словакия	высокий	191	1,2
Румыния	высокий	518	3,4
Латвия	высокий	130	0,8
Хорватия	высокий	148	1,0
Греция	высокий	315	2,0
Россия	средневысокий	874	5,7
Турция	средневысокий	1063	6,9
Болгария	средневысокий	428	2,8
Черногория	средневысокий	65	0,4
Казахстан	средневысокий	925	6,0
Беларусь	средневысокий	328	2,1
Сербия	средневысокий	127	0,8
Ливан	средневысокий	268	1,7
Северная Македония	средневысокий	133	0,9
Босния и Герцеговина	средневысокий	134	0,9
Армения	средневысокий	274	1,8
Грузия	средневысокий	205	1,3
Азербайджан	средневысокий	53	0,3
Албания	средневысокий	146	0,9

Окончание табл. 1

Страна	Уровень доходов (по состоянию на 2019 г.)	Количество компаний, ед.	Доля в выборке, %
Косово	средневысокий	148	1,0
Иордания	средневысокий	290	1,9
Молдова	средненизкий	138	0,9
Украина	средненизкий	945	6,1
Монголия	средненизкий	124	0,8
Тунис	средненизкий	364	2,4
Египет	средненизкий	1990	12,9
Марокко	средненизкий	302	2,0
Узбекистан	средненизкий	836	5,4
Кыргызстан	средненизкий	147	1,0
Таджикистан	низкий	160	1,0
Всего		15374	100,0

Источник: составлено на основе данных WBES.



Рис. 1. Аналитическая рамка исследования
Figure 1. Analytical framework of the study

В качестве метрик политики компаний в сфере энергоэффективности и энергоперехода в исследовании использовались семь параметров, которые можно условно разделить на три группы:

- планирование — наличие у компаний стратегической цели в сфере

экологии или изменений климата; таргетирование энергопотребления и углеродной эмиссии;

- мониторинг — осуществление компаниями регулярного мониторинга энергопотребления и углеродной эмиссии, а также мониторинг

эмиссии CO₂ вдоль производственной цепочки;

- действия — осуществление компаниями каких-либо специальных мер по повышению энергоэффективности, производство энергии для собственных нужд из возобновляемых источников.

Исследование факторов энергоперехода компаний в условиях глобализации проводилось в два этапа.

Первый этап включал факторный анализ метрик политики в сфере энергоперехода с целью выявления соответствующих стратегий компаний. Расчет проводился методом главных компонент с использованием вращения варимакс.

На *втором этапе* была проведена эконометрическая оценка факторов, оказывающих значимое влияние на политику компаний обрабатывающей промышленности в сфере энергоэффективности и энергоперехода с помощью регрессионных моделей. При этом использовались логистическая и линейная регрессии. В общем виде уравнение первой модели имеет вид:

$$EPolicy_i = \frac{1}{1 + e^{-x_i}}, \quad (1)$$

$$EPolicy_i = \begin{cases} 1, & EPolicy_i^* > 0 \\ 0, & EPolicy_i^* \leq 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где $EPolicy_i$ — бинарная переменная, отражающая факт наличия у компании i элементов политики в области энергоперехода.

Уравнение второй модели имеет вид:

$$x_i = a_0 + a_1 GVC_i + a_2 Company_i + a_3 Environment_i + \theta Year_i + \varepsilon_i, \quad (3)$$

где $a_1 GVC_i$ — вектор переменных, отражающих участие компании i в глобальных цепочках создания стоимости: наличие экспорта, использование импортных сырья, материалов и/или комплектующих, преобладающее участие иностран-

ных собственников в капитале компании, наличие международных сертификатов качества. В качестве метрик участия компаний в цепочках чаще всего используются экспорт и импорт (обзор работ можно увидеть, например, в работе Antràs [43]). В вертикально раздробленных производственных процессах может требоваться международная сертификация, что является еще одним показателем интеграции в ГЦСС, используемым DAVIS & Zaki [44]; $a_2 Company_i$ — вектор характеристик компании i : размер, возраст, отраслевая принадлежность, факт использования ископаемого топлива (угля, нефтепродуктов, газа); доля затрат на топливо в себестоимости; $a_3 Environment_i$ — вектор переменных, отражающих институциональное и страновое окружение компании i : уровень экономического развития в стране (показатель подушевого ВНД по ППС), ориентация страны на устойчивое развитие (Environmental Performance Index), принадлежность к Евросоюзу; участие государства в капитале компании, факт уплаты компанией энергетических налогов или сборов; размер населенного пункта, в котором расположена компания, используемый для учета агломерационных эффектов; $\theta Year_i$ — контрольная переменная, отражающая год участия представителей компании i в опросе; ε_i — член ошибки.

Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$EStrategy_i = a_0 + a_1 GVC_i + a_2 Company_i + a_3 Environment_i + \theta Year_i + \varepsilon_i, \quad (4)$$

где в качестве зависимой переменной поочередно выступают каждая из выявленных стратегий фирм в сфере энергоэффективности и энергоперехода, тогда как набор независимых переменных полностью аналогичен описанному выше.

Описательные статистики используемых переменных приведены в табл. 2.

Таблица 2. **Описательные статистики переменных**

Table 2. **Descriptive statistics of variables**

Переменные		N	Мин.	Макс.	Среднее	Ст. откл.
Зависимые переменные						
Факт наличия элементов политики в сфере энергоперехода и энергоэффективности		15296	0	1	0,680	0,470
Стратегия — энергоэффективность (значения фактора 1)		13611	−1,93	2,53	0	1
Стратегия — углеродная нейтральность (значения фактора 2)		13611	−0,77	5,29	0	1
Независимые переменные						
Год начала функционирования	1990 г. или ранее	15220	0	1	0,197	0,398
	1991–2000 гг.	15220	0	1	0,297	0,457
	2001–2010 гг.	15220	0	1	0,328	0,469
	2011–2014 гг.	15220	0	1	0,109	0,311
	2015 г. или позднее	15220	0	1	0,070	0,255
Размер фирмы	микро (не более 15 работников)	15372	0	1	0,340	0,474
	малые (16–100 работников)	15372	0	1	0,424	0,494
	средние (101–250 работников)	1537	0	1	0,145	0,352
	крупные (251–1000 работников)	15372	0	1	0,080	0,271
	крупнейшие (свыше 1000 работников)	15372	0	1	0,012	0,109
Размер населенного пункта	до 50 тыс. жителей	15374	0	1	0,462	0,499
	50–250 тыс. жителей	15374	0	1	0,169	0,375
	250 тыс. — 1 млн жителей	15374	0	1	0,180	0,384
	свыше 1 млн жителей	15374	0	1	0,190	0,392
Страновые особенности	участие в ЕС	15374	0	1	0,347	0,476
	подушевой ВНД по ППС в 2019 г., тыс. долл. США	15374	4,32	46,19	22,88	11,25
	индекс экологической эффективности	15226	26,3	75,2	44,41	10,24

Продолжение табл. 2

Переменные		N	Мин.	Макс.	Среднее	Ст. откл.
Глобализация и участие в ГЦСС	наличие экспорта	15182	0	1	0,406	0,491
	использование импортных сырья, материалов и/или комплектующих	14901	0	1	0,569	0,495
	одновременное наличие экспорта и импорта	15055	0	1	0,305	0,460
	наличие международных сертификатов качества	15076	0	1	0,337	0,473
	преобладающее участие иностранных собственников в капитале	15183	0	1	0,074	0,262
Влияние государства	преобладающее участие государства в капитале	15189	0	1	0,008	0,090
	уплата энергетического налога или сбора	14725	0	1	0,211	0,408
Наличие экологических требований со стороны потребителей		15015	0	1	0,159	0,365
Использование ископаемого топлива	потребление нефтепродуктов в качестве топлива	7278	0	1	0,596	0,491
	потребление газа	8267	0	1	0,211	0,408
	потребление угля	10975	0	1	0,088	0,283
	доля затрат на топливо в себестоимости	9391	0	100	0,297	4,016
Отраслевая принадлежность	производство пищевых продуктов и напитков	15374	0	1	0,241	0,427
	производство текстильных изделий, одежды, кожи и изделий из кожи	15374	0	1	0,173	0,378
	обработка древесины и производство изделий из дерева, кроме мебели	15374	0	1	0,031	0,173
	производство бумаги и бумажных изделий	15374	0	1	0,013	0,114
	деятельность полиграфическая и копирование носителей информации	15374	0	1	0,028	0,164

Окончание табл. 2

Переменные		N	Мин.	Макс.	Среднее	Ст. откл.
	производство химических веществ и химических продуктов, включая лекарственные средства	15374	0	1	0,037	0,190
	производство резиновых и пластмассовых изделий	15374	0	1	0,060	0,237
	производство прочей неметаллической минеральной продукции	15374	0	1	0,082	0,274
	производство металлургическое	15374	0	1	0,016	0,126
	производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	15374	0	1	0,119	0,324
	производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	15374	0	1	0,098	0,297
	производство электрического оборудования	15374	0	1	0,023	0,149
	производство офисной техники, электронных и оптических изделий	15374	0	1	0,015	0,123
	производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	15374	0	1	0,013	0,112
	производство прочих транспортных средств и оборудования	15374	0	1	0,005	0,072
	производство мебели	15374	0	1	0,040	0,197
	прочие обрабатывающие производства	15374	0	1	0,007	0,083
Год проведения опроса	2018 г.	15160	0	1	0,045	0,207
	2019 г.	15160	0	1	0,792	0,406
	2020 г.	15160	0	1	0,163	0,369

Источник: составлено авторами на основе данных WBES.

4. Результаты

В целом наличие политики в сфере энергоперехода, энергоэффективности и/или углеродной нейтральности было характерно более чем для 2/3 (68 %) обследованных компаний. Чаще всего компании уделяли внимание вопросам энергоэффективности: осуществляли мониторинг энергопотребления (58 %), его таргетирование (30 %), а также принимали меры, направленные на повышение энергоэффективности (36 %). Элементы политики в сфере регулирования углеродной эмиссии встречались существенно реже: 8 % компаний осуществляли мониторинг собственных выбросов, а 6 % — таргетировали их.

При этом, однако, необходимо учитывать, что выбросы CO₂ происходили лишь у 15 % компаний — таким образом, 2/3 из них так или иначе уделали внимание своей углеродной эмиссии. В целом компаниям, эмитирующим CO₂, существенно более, чем остальным, присутствуя все рассматриваемые элементы политики — в сфере как углеродной эмиссии,

так и энергоэффективности (рис. 2). Наконец, лишь 5 % фирм выборки осуществляли мониторинг выбросов вдоль своей цепочки поставок, и примерно такая же доля фирм производила энергию для собственных нужд из возобновляемых источников.

В страновом разрезе высокий удельный вес компаний, для которых характерно наличие политики в сфере энергоперехода и отдельных ее элементов, несколько чаще наблюдается в странах с высокими доходами. Вместе с тем есть немало исключений.

Так в число лидеров наряду с представителями группы стран с высокими доходами — Мальтой, Чехией, Словенией и Латвией — вошли Беларусь и Украина, где компании часто осуществляли мониторинг энергопотребления и принимали меры к повышению энергоэффективности; Узбекистан, где наряду с мониторингом компании часто прибегали к таргетированию энергопотребления, а также Монголия.



Рис. 2. Наличие у компаний элементов политики в области энергоперехода и энергоэффективности (доля в общем числе обследованных компаний обрабатывающей промышленности)

Figure 2. Elements of energy transition and energy efficiency policy applied by companies (share in the total number of surveyed manufacturing companies)

Источник: составлено авторами на основе данных WBES.

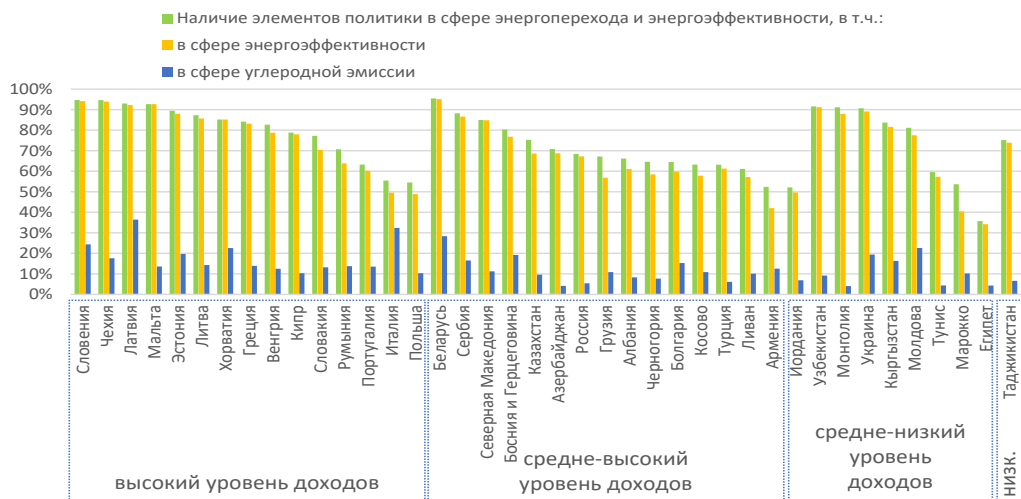


Рис. 3. Наличие элементов политики в области энергоперехода и энергоэффективности у компаний разных стран (доля в общем числе обследованных компаний обрабатывающей промышленности соответствующей страны)

Figure 3. The use of energy transition and energy efficiency policy by companies in different countries (share in the total number of surveyed manufacturing companies in the corresponding country)

Источник: составлено авторами на основе данных WBES.

Кроме того, относительно высока доля фирм, озабоченных проблематикой энергопотребления и энергоэффективности, в беднейшей (по формальным показателям) из рассматриваемых стран — Таджикистане. Напротив, Италия, являвшейся на момент проведения опроса лидером по подушевому ВВП среди рассматриваемых стран, по доле компаний, «охваченных» политикой в сфере энергоэффективности и энергоперехода, находится среди аутсайдеров — примерно на одном уровне с Арменией, Иорданией и Марокко.

При этом важно заметить, что в Италии высок удельный вес компаний, реализующих политику в сфере углеродной эмиссии, однако низок — компаний с политикой в сфере энергоэффективности. Наименьшей же вовлеченностью компаний в процессы, связанные с энергопереходом, — причем с большим отрывом от всех остальных стран — характеризуется Египет (рис. 3).

Результаты факторного анализа (табл. 3) свидетельствуют о наличии двух весьма ярко выраженных стратегий компаний в сфере энергоперехода: первая включает элементы политики, связанные с энергоэффективностью (таргетирование и мониторинг энергопотребления, осуществление мер по повышению энергоэффективности), вторая — связанные с углеродной эмиссией (таргетирование и мониторинг соответствующей эмиссии, в том числе вдоль цепочки поставок). Элементы, относящиеся одновременно к обоим направлениям политики — наличие стратегических целей в сфере экологии и изменений климата и производство энергии для собственных нужд из возобновляемых источников, находятся в «промежуточном» положении, что также видится вполне логичным.

Анализ факторов наличия у компаний элементов политики в сфере энергоэффективности и энергоперехода, проведенный посредством регрессионного моделирова-

ния (табл. 4), свидетельствует о том, что соответствующая политика при прочих равных характерна для фирм, вовлеченных в международный товарооборот: экспортирующих свою продукцию и/или использующих импортные промежуточные товары.

На активности фирм в сфере энергоэффективности и энергоперехода также положительно сказываются факторы, связанные с государством, — преобладающее его участие в капитале компаний и обложение энергетическим налогом или сбором — равно как и экологические требования со стороны потребителей.

Кроме того, к реализации соответствующей политики более склонны предприятия, использующие нефтепродукты и газ в качестве топлива и не склонны — фирмы из городов

«миллионников». Наконец, на страновом уровне индекс экологической эффективности положительно сказывается на вовлеченности компаний в повестку энергоэффективности и энергоперехода, тогда как уровень национального дохода и участие в ЕС, напротив, отрицательно.

Что же касается выявленных выше стратегий в сфере энергоперехода, то факторы их использования компаниями имеют как определенное сходство, так и существенные различия. Так, обе стратегии присущи фирмам-экспортерам и компаниям, имеющим международно признанные сертификаты качества; обе положительно связаны с уплатой фирмами энергетических налогов и сборов и экологическими требованиями потребителей.

Таблица 3. Стратегии компаний в сфере энергоэффективности и энергоперехода: результаты факторного анализа

Table 3. Strategies of companies aimed at energy efficiency and energy transition: results of factor analysis

Элемент политики	Факторные нагрузки	
	Стратегия 1 — энергоэффективность	Стратегия 2 — углеродная нейтральность
Таргетирование энергопотребления	0,766	0,174
Осуществление мер, направленных на повышение энергоэффективности	0,751	0,127
Мониторинг энергопотребления	0,743	0,018
Таргетирование эмиссии CO ₂	0,211	0,799
Мониторинг эмиссии CO ₂	0,158	0,798
Мониторинг эмиссии CO ₂ вдоль цепочки поставок	0,109	0,769
Наличие стратегической цели, связанной с экологией и/или изменением климата	0,481	0,300
Выработка энергии для собственных нужд из возобновляемых источников	0,330	0,233
Объясненная дисперсия	36,7 %	15,6 %

Примечание: расчет проведен метод главных компонент с вращением «варимакс».

Источник: рассчитано на основе данных WBES.

Таблица 4. Факторы наличия у компаний элементов политики в сфере энергоэффективности и энергоперехода и стратегий энергоэффективности и углеродной нейтральности: результаты оценивания параметров моделей регрессии
Table 4. Factors of companies' adoption of energy efficiency and energy transition policies and energy efficiency and carbon neutrality strategies: results of regression models parameters estimation

		Модель					
		Логистическая		Линейная		Линейная	
		Зависимая переменная — наличие элементов политики в сфере энергоперехода и энергоэффективности		Зависимая переменная — стратегия энергоэффективности (значение фактора)		Зависимая переменная — стратегия углеродной нейтральности (значение фактора)	
		β	среднеквадратичная ошибка	β	среднеквадратичная ошибка	β	среднеквадратичная ошибка
Глобализация и участие в ГЦСС	наличие экспорта	0,311***	0,099	0,150***	0,033	0,052	0,035
	использование импортных сырья, материалов и/или комплектующих	0,215**	0,087	0,061**	0,030	0,016	0,032
	наличие международных сертификатов качества	0,024	0,101	0,169**	0,033	0,147***	0,035
	преобладающее участие иностранных собственников в капитале	0,227	0,178	−0,061	0,051	0,207***	0,054
Влияние государства	преобладающее участие государства в капитале	1,765*	1,025	0,195	0,124	0,464***	0,132
	уплата энергетического налога или сбора	0,68**	0,107	0,175***	0,033	0,131***	0,035

Продолжение табл. 4

		Модель					
		Логистическая		Линейная		Линейная	
		Зависимая переменная — наличие элементов политики в сфере энергоперехода и энергоэффективности	Зависимая переменная — стратегия энергоэффективности (значение фактора)	Зависимая переменная — стратегия углеродной нейтральности (значение фактора)	β	среднеквадратичная ошибка	β
Независимые переменные	Наличие экологических требований со стороны потребителей	β	среднеквадратичная ошибка	β	среднеквадратичная ошибка	β	среднеквадратичная ошибка
		1,780***	0,192	0,557***	0,039	0,657***	0,042
		−0,012*	0,007	−0,016***	0,002	0,009***	0,002
		−1,246***	0,220	−0,190***	0,069	−0,015	0,074
Страновые особенности	подушевой ВВП по ППС в 2019 г., тыс. долл. США участие в ЕС индекс экологической эффективности	0,074***	0,008	0,027***	0,003	0,003	0,003
		база		база		база	
		0,173	0,116	0,049	0,037	0,014	0,039
		0,139	0,123	−0,013	0,040	−0,021	0,042
Размер населенного пункта	до 50 тыс. жителей 50–250 тыс. жителей 250 тыс. — 1 млн жителей свыше 1 млн жителей	−0,276**	0,114	−0,132***	0,040	−0,024	0,043
		0,304***	0,088	0,129***	0,030	−0,061*	0,032
		0,743***	0,106	0,126***	0,032	0,183***	0,034
		−0,220	0,150	−0,097*	0,051	0,268***	0,054
Использование ископаемого топлива	потребление нефтепродуктов в качестве топлива потребление газа потребление угля						

Окончание табл. 4

Независимые переменные		Модель					
		Логистическая		Линейная		Линейная	
		Зависимая переменная — наличие элементов политики в сфере энергоперехода и энергоэффективности		Зависимая переменная — стратегия энергоэффективности (значение фактора)		Зависимая переменная — стратегия углеродной нейтральности (значение фактора)	
		β	среднеквадратичная ошибка	β	среднеквадратичная ошибка	β	среднеквадратичная ошибка
	доля затрат на топливо в себестоимости	0,001	0,010	-0,004	0,004	0,000	0,004
Возраст компании		контроль					
Масштаб бизнеса		контроль					
Отраслевая принадлежность		контроль					
Год проведения опроса		контроль					
Константа		-1,233*	0,721	-0,785***	0,132	-0,619***	0,140
Псевдо- R^2 Нэйджелкера		0,371		0,285		0,171	

Примечание: *** $p < 0,01$, ** $0,01 \leq p < 0,05$, * $0,05 \leq p < 0,1$.

Источник: рассчитано на основе данных WBES, World Bank, Yale Center for Environmental Law & Policy.

Что же касается различий, то, во-первых, стратегия энергоэффективности более характерна для фирм из стран с относительно низким уровнем доходов, тогда как стратегия углеродной нейтральности — из более богатых стран.

Во-вторых, выявленная выше значимая отрицательная связь политики энергоэффективности и энергоперехода в целом с расположением фирм в странах ЕС и городах-«миллионниках» на уровне соответствующих стратегий фирм прослеживается только для первой из них — стратегии энергоэффективности.

В-третьих, стратегия углеродной нейтральности, в отличие от стратегии энергоэффективности, имеет значимую положительную связь с принадлежностью фирм зарубежным собственникам.

Наконец, компании, использующие нефтепродукты в качестве топлива, относительно часто прибегают к стратегии энергоэффективности и редко — к стратегии углеродной нейтральности, фирмы-потребители угля действуют ровно противоположным образом, а для компаний, использующих газ, характерны обе эти стратегии.

5. Обсуждение

Проведенное исследование вносит ряд дополнений в имеющийся на сегодняшний день массив знаний об особенностях и факторах энергоперехода на уровне фирм.

Во-первых, весьма важный, на наш взгляд, эмпирический результат состоит в том, что в результате анализа выявлены две альтернативные стратегии поведения фирм в рамках энергоперехода, первая из которых связана с повышением энергоэффективности, тогда как вторая — с приближением к углеродной нейтральности. При этом специфика использования этих стратегий проявляется на уровне не только фирм, но и стран:

более богатые из них сильнее погружены в проблематику углеродной нейтральности, тогда как менее обеспеченные — энергоэффективности.

Во-вторых, полученные нами результаты позволяют отчасти развеять «популярный миф» о том, что повестка энергоперехода и энергоэффективности в целом более актуальна для развитых стран.

В-третьих, немаловажным результатом работы видится выявленная большая приверженность политике энергоперехода компаний, осуществляющих выбросы CO₂, причем в части не только углеродной нейтральности, что вполне ожидаемо, но и энергоэффективности. Причины более сильных мотиваций таких компаний к энергопереходу могут заключаться как в осуществляемом давлении на них со стороны государства, контрагентов, потребителей и общества в целом, так и в своего рода «комплексе вины» их акционеров и менеджеров и, вообще говоря, нуждаются в дополнительном изучении.

В-четвертых, нами получено очередное подтверждение важности глобализации для развития компаний — на сей раз в части продвижения к большей энергоэффективности и углеродной нейтральности.

В-пятых, мы обнаружили значимое влияние на политику компаний в сфере энергоэффективности и энергоперехода институциональных факторов, причем в части как государственного регулирования, транслируемого фирмам через энергетические налоги и сборы, так и частного — экологических требований потребителей.

Выдвинутая нами гипотеза относительно положительной связи между участием промышленных компаний в глобальных цепочках создания стоимости и наличием у них политики энергоперехода в целом подтвердилась. Важно

отметить, что использование компаниями импортных сырья, материалов и комплектующих и осуществление поставок на экспорт являются значимыми положительными факторами политики энергоперехода и реализации ими стратегии энергоэффективности. Преобладающее участие иностранных собственников в капитале фирм способствует реализации стратегии углеродной нейтральности, а наличие международно признанных сертификатов качества — обеих выявленных стратегий.

Полученные нами результаты вносят вклад в понимание факторов, влияющих на решения компаний в отношении энергоперехода, и согласуются с результатами ранее проведенных исследований по 39 странам мира, таким как Jiang et al. [45], и отдельно для Китая, также посткоммунистической экономике с развитым промышленным сектором Li et al. [46]. Наши результаты развивают направление исследований, использующих концепцию глобальных цепочек создания стоимости, чаще основанных на данных таблиц затраты — выпуск (WIOD data), как, например, в работе Pan et al. [47], для объяснения страновых и отраслевых эффектов, а также роли управляющей МНК и государств как собственника и регулятора в стимулировании энергоэффективности.

Проведенный анализ имеет некоторые ограничения, связанные с доступными данными. В статье не учтен динамический аспект перехода, поскольку соответствующая информация имеется лишь в рамках третьей волны WBES, что исключает возможность использования панельных данных.

Кроме того, при анализе цепочек не учтена их конфигурация, предполагающая оценку удаленности компаний от управляющей МНК, позицию компании в цепи в соответствии со стадией создания стоимости.

6. Заключение

Поставленная в работе цель — определить набор и оценить направленность взаимосвязи факторов энергоперехода компаний обрабатывающей промышленности с учетом их включенности в ГЦСС — достигнута для стран с различным уровнем дохода.

Проведенный анализ свидетельствует о достаточно высокой актуальности для компаний обрабатывающей промышленности вопросов, связанных с энергоэффективностью: элементы соответствующей политики прослеживаются у 65 % фирм, причем чаще всего компании осуществляют мониторинг энергопотребления (58 %). При этом, однако, нельзя не отметить, что подобные усилия компаний, безусловно, лежащие в русле глобальной повестки, могут быть продиктованы не столько ею, сколько стремлением снизить соответствующие затраты.

Политика в отношении собственных выбросов CO₂ наблюдалась существенно реже — лишь у 10 % фирм, однако здесь необходимо учитывать, что только 15 % компаний в принципе осуществляли такие выбросы. В целом, компании, эмитирующие CO₂, существенно более остальных погружены в повестку энергоперехода, причем в части отнюдь не только собственных углеродных выбросов, но и их мониторинга вдоль цепочки поставок, повышения своей энергоэффективности, а также производства энергии из возобновляемых источников. При этом тип используемого топлива ощутимо сказывается на стратегиях действий компаний: потребители нефтепродуктов более склонны к повышению своей энергоэффективности, угля — к обеспечению углеродной нейтральности, газа — тяготеют к обеим стратегиям.

Важно отметить незначительный удельный вес компаний, осуществляв-

ших мониторинг углеродной эмиссии вдоль своей цепочки или производивших энергию для собственных нужд из возобновляемых источников, — это, вообще говоря, может свидетельствовать о невысокой актуальности для фирм вопросов глобальной климатической повестки, не входящих в сферу их непосредственных экономических интересов.

В целом наличие элементов политики в области энергоэффективности и энергоперехода несколько чаще наблюдается у компаний из стран с высоким уровнем доходов. Вместе с тем имеется и ряд исключений, наиболее ярким из которых является Италия, где высок удельный вес компаний, реализующих политику в сфере углеродной эмиссии, однако низок — в сфере энергоэффективности; в целом же ряде стран с относительно низкими доходами (Узбекистан, Монголия, Украина) охват компаний политикой в сфере энергоэффективности и энергоперехода весьма высок в силу прежде всего существенного их внимания к уровню энергопотребления.

Результаты проведенного регрессионного анализа свидетельствуют о том, что высокий страновой уровень доходов является негативным фактором наличия у компаний политики в сфере энергоэффективности (но не углеродной эмиссии), что, однако, в немалой степени может быть связано с более высоким достигнутым уровнем энергоэффективности фирм в таких странах, снижающих для них актуальность соответствующей политики.

Наконец, уровень экологической эффективности стран (измеренный с помощью соответствующего индекса) положительно связан с наличием у компаний политики в сфере энергоэффективности и энергоперехода, но вопрос о направленности причинно-следственной связи между ними нуждается в дополнительном изучении.

Агломерационные эффекты применительно к политике компаний в сфере энергоэффективности и энергоперехода проявляются, скорее, негативно: для фирм из городов-«миллионников» менее характерно как наличие элементов такой политики в целом, так и реализация стратегии, направленной на повышение энергетической эффективности. Последнее, на наш взгляд, может быть обусловлено более широкими возможностями доступа компаний к энергетической инфраструктуре в крупных городах.

Что же касается влияния государства, то его преобладающее участие в капитале компаний положительно сказывается на наличии у компаний элементов политики энергоперехода, прежде всего в части углеродной нейтральности: вероятнее всего, выступая в роли собственника, государство напрямую транслирует соответствующие установки в политику принадлежащих ему компаний. Важно также отметить, необходимость уплаты энергетического налога или сбора выступает «универсальным» фактором и наличия у фирм элементов политики энергоперехода, и реализации ими обеих выявленных стратегий в данной сфере, это, вообще говоря, свидетельствует об эффективности подобного рода мер как минимум с позиций включения вопросов энергоэффективности и снижения выбросов в актуальную повестку компаний.

Наконец, весьма важным представляется тот факт, что значимым фактором реализации компаниями политики в сфере энергоперехода, причем в части как энергоэффективности, так и углеродной нейтральности, является предъявление к ним экологических требований потребителями. При этом дополнительный анализ показывает, что наличие таких требований положительно связано с мониторингом компаниями углеродной эмиссии вдоль своих цепочек поставок. Это позволяет говорить о рас-

пространении если не самой политики в сфере энергоперехода, то по меньшей мере стимулов к ее реализации в производственных цепочках.

Представленные результаты вносят вклад в развитие концепции глобальных цепочек создания стоимости и ресурсной теории фирмы в части факторов и возможностей внедрениями компаниями политики энергоперехода и в целом устойчивого развития.

Наши результаты имеют несколько важных следствий для политики.

Во-первых, энергетические политики стран во всем мире должны способство-

вать укреплению связей между звеньями ГЦСС, чтобы обеспечить безопасность глобального энергоснабжения и энергоэффективности. Это касается различий между странами как в запасах энергетических ресурсов, так и в уровне экономического и институционального развития.

Во-вторых, углубление разделения в ГЦСС должно сочетаться с национальными политиками в области энергоэффективности и энергобезопасности.

В-третьих, «центральные» экономики ГЦСС должны играть ведущую роль в борьбе с изменением климата через сотрудничество в области энергетики.

Список использованных источников

1. Sovacool B. K., Geels F. W. Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics // *Energy Research & Social Science*. 2016. Vol. 22. Pp. 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.013>
2. Zakeri B., Paulavets K., Barreto-Gomez L., et al. Pandemic, war, and global energy transitions // *Energies*. 2022. Vol. 15, Issue 17. 6114. <https://doi.org/10.3390/en15176114>
3. Liu W., Chen X., Zhang J. The Russia-Ukraine conflict and the automotive energy transition: Empirical evidence from China // *Energy*. 2023. Vol. 284. 128562. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128562>
4. Gereffi G. *Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Capitalism*. Cambridge University Press, 2018. 494 p. <https://doi.org/10.1017/9781108559423>
5. Kano L., Tsang E. W.K., Yeung H. W. Global value chains: A review of the multi-disciplinary literature // *Journal of International Business Studies*. 2020. Vol. 51. Pp. 577–622. <https://doi.org/10.1057/s41267-020-00304-2>
6. Pietrobelli C., Rabellotti R. Global value chains meet innovation systems: are there learning opportunities for developing countries? // *World Development*. 2011. Vol. 39, Issue 7. Pp. 1261–1269. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.05.013>
7. Ferrarini B., Vries G. What Accounts for the Growth of Carbon Dioxide Emissions in Advanced and Emerging Economies? The Role of Consumption, Technology, and Global Supply Chain Trade // *Asian Development Bank Economics Working Paper Series*. 2015. No. 458. 27 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2708827>
8. Liu H., Zong Z., Hynes K., De Bruyne K. Can China reduce the carbon emissions of its manufacturing exports by moving up the global value chain? // *Research in International Business and Finance*. 2020. Vol. 51. 101101. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.101101>
9. Khattak A., Stringer C. Environmental Upgrading in Pakistan's Sporting Goods Industry in Global Value Chains: A Question of Progress? // *Business & Economic Review*. 2017. Vol. 9. No. 1. Pp. 43–64. <http://dx.doi.org/10.22547/BER/9.1.3>
10. Hu D., Jiao J., Chen C., Xiao R., Tang Y. Does Global Value Chain Embeddedness Matter for the Green Innovation Value Chain? // *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. 779617. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.779617>
11. Poulsen R. T., Ponte S., Sornn-Friese H. Environmental upgrading in global value chains: The potential and limitations of ports in the greening of maritime transport // *Geoforum*. 2018. Vol. 89. Pp. 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.01.011>

12. Kaltenegger O., Löschel A., Pothén F. The effect of globalisation on energy footprints: disentangling the links of global value chains // *Energy Economics*. 2017. Vol. 68. Pp. 148–168. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.008>
13. Spaiser V., Scott K., Owen A., Holland R. Consumption-based accounting of CO₂ emissions in the sustainable development Goals Agenda // *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 2019. Vol. 26, Issue 4. Pp. 282–289. <https://doi.org/10.1080/13504509.2018.1559252>
14. Fattouh B., Poudineh R., West R. The rise of renewables and energy transition: what adaptation strategy exists for oil companies and oil-exporting countries? // *Energy Transitions*. 2019. Vol. 3. Pp. 45–58. <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00013-x>
15. Wu Z., Hou G., Xin B. The causality between participation in GVCs, renewable energy consumption and CO₂ emissions // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Issue 3. 1237. <https://doi.org/10.3390/su12031237>
16. Shahbaz M., Wang J., Dong K., Zhao J. The impact of digital economy on energy transition across the globe: The mediating role of government governance // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 166. 112620. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112620>
17. Loock M. Unlocking the value of digitalization for the European energy transition: A typology of innovative business models // *Energy Research & Social Science*. 2020. Vol. 69. 101740. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101740>
18. Xu Q., Zhong M., Li X. How does digitalization affect energy? International evidence // *Energy Economics*. 2022. Vol. 107. 105879. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105879>
19. Golgeci I., Makhmadshoev D., Demirbag M. Global value chains and the environmental sustainability of emerging market firms: A systematic review of literature and research agenda // *International Business Review*. 2021. Vol. 30, Issue 5. 101857. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2021.101857>
20. Goyal S., Esposito M., Kapoor A. Circular economy business models in developing economies: lessons from India on reduce, recycle, and reuse paradigms // *Thunderbird International Business Review*. 2018. Vol. 60, Issue 5. Pp. 729–740. <https://doi.org/10.1002/tie.21883>
21. Li E. L., Zhou L., Wu A. The supply-side of environmental sustainability and export performance: The role of knowledge integration and international buyer involvement // *International Business Review*. 2017. Vol. 26, Issue 4. Pp. 724–735. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2017.01.002>
22. Espinosa-Gracia A., Almazán-Gómez M. Á., Jiménez S. CO₂ emissions and global value chains indicators: new evidence for 1995–2018 // *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 343. 118239. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118239>
23. Kong D., Zhu L., Yang Z. Effects of foreign investors on energy firms' innovation: Evidence from a natural experiment in China // *Energy Economics*. 2020. Vol. 92. 105011. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105011>
24. Jensen C. Soft and hard aspects of green behaviour: A firm-level study of the pollution haven hypothesis in the Mediterranean Basin // *Heliyon*. 2021. Vol. 7, Issue 4. e06578. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06578>
25. Mitrova T., Melnikov Y. Energy transition in Russia // *Energy Transitions*. 2019. Vol. 3. Pp. 73–80. <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00016-8>
26. Agostino M., Giunta A., Ruberto S., Scalera D. Global value chains and energy-related sustainable practices. Evidence from Enterprise Survey data // *Energy Economics*. 2023. Vol. 127. 107068. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107068>
27. The International Study Group on Exports and Productivity. Understanding Cross-Country Differences in Exporter Premia — Comparable Evidence for 14 Countries // *Microeconomic Studies of Firms' Imports and Exports. Advanced Methods of Analysis and Evidence from German Enterprises* / edited by J. Wagner. World Scientific Publishing Europe Ltd, 2021. Pp. 155–198. https://doi.org/10.1142/9781786349699_0010

28. Montalbano P., Nenci S. Energy efficiency, productivity and exporting: firm-level evidence in Latin America // *Energy Economics*. 2019. Vol. 79. Pp. 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.033>
29. Roud V., Thurner T. W. The influence of state-ownership on eco-innovations in Russian manufacturing firms // *Journal of Industrial Ecology*. 2018. Vol. 22. Issue 5. Pp. 1213–1227. <https://doi.org/10.1111/jiec.12643>
30. Jia F., Gong Y., Brown S. Multi-tier sustainable supply chain management: The role of supply chain leadership // *International Journal of Production Economics*. 2019. Vol. 217. Pp. 44–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.022>
31. Jensen C., Mina A. Did transition bring cleaner air? Effects of ownership, territorial and technology policy on air pollution // *Ecological Economics*. 2019. Vol. 165. 106276. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.017>
32. Steinbrunner P. R. Boon or bane? On productivity and environmental regulation // *Environmental Economics and Policy Studies*. 2022. Vol. 24. Pp. 365–396. <https://doi.org/10.1007/s10018-021-00325-7>
33. Sahu S. K., Bagchi P., Kumar A., Tan K. H. Technology, price instruments and energy intensity: a study of firms in the manufacturing sector of the Indian economy // *Annals of Operations Research*. 2022. Vol. 313. Pp. 319–339. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04295-7>
34. Achabou M. A., Dekhili S., Hamdoun M. Environmental upgrading of developing country firms in global value chains // *Business Strategy and the Environment*. 2017. Vol. 26, Issue 2. Pp. 224–238. <https://doi.org/10.1002/bse.1911>
35. Rigo D. Global value chains and technology transfer: new evidence from developing countries // *Review of World Economics*. 2021. Vol. 157. Pp. 271–294. <https://doi.org/10.1007/s10290-020-00398-8>
36. Mayer F., Gereffi G. Regulation and economic globalization: Prospects and limits of private governance // *Business and Politics*. 2010. Vol. 12, Issue 3. Pp. 1–25. <https://doi.org/10.2202/1469-3569.1325>
37. Franco A., Miserocchi L., Testi D. Energy indicators for enabling energy transition in industry // *Energies*. 2023. Vol. 16, Issue 2. 581. <https://doi.org/10.3390/en16020581>
38. He Y., Guang F., Wang M. The efficiency of electricity-use of China and its influencing factors // *Energy*. 2018. Vol. 163. Pp. 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.126>
39. Zeng W., Li L., Huang Y. Industrial collaborative agglomeration, marketization, and green innovation: Evidence from China's provincial panel data // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 279. 123598. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123598>
40. Pan H., Ji Y., Haiyang Z., Xianrong Z., Feng H. Global value chain embeddedness, digital economy and green innovation—Evidence from provincial-level regions in China // *Frontiers in Environmental Science*. 2022. Vol. 10. 1027130. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1027130>
41. Ben Brik A., Mellahi K., Rettab B. Drivers of green supply chain in emerging economies // *Thunderbird International Business Review*. 2013. Vol. 55, Issue 2. Pp. 123–136. <https://doi.org/10.1002/tie.21531>
42. Khanna M., Liao Y. Globalization and voluntary environmental management in developing countries // *Frontiers of Economics in China*. 2014. Vol. 9, Issue 1. Pp. 138–163. <https://doi.org/10.3868/s060-003-014-0008-6>
43. Antràs P. Conceptual aspects of global value chains // *The World Bank Economic Review*. 2020. Vol. 34, Issue 3. Pp. 551–574. <https://doi.org/10.1093/wber/lhaa006>
44. DAVIS M., Zaki C. Global value chains and local business environments: Which factors really matter in developing countries? // *Review of Industrial Organization*. 2020. Vol. 57. Pp. 481–513. <https://doi.org/10.1007/s11151-020-09768-w>
45. Jiang L., He S., Tian X., Zhang B., Zhou H. Energy use embodied in international trade of 39 countries: Spatial transfer patterns and driving factors // *Energy*. 2020. Vol. 195. 116988. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116988>

46. Li F., Zhang J., Li X. Energy security dilemma and energy transition policy in the context of climate change: A perspective from China // Energy Policy. 2023. Vol. 181. 113624. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113624>

47. Pan A., Xiao T., Dai L., Shi X. Global transfer of embodied energy: From source to sink through global value chains // Sustainable Production and Consumption. 2022. Vol. 31. Pp. 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.030>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузык Михаил Георгиевич

Кандидат экономических наук, заместитель директора Центра исследований структурной политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия (101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2971-6718> e-mail: mkuzyk@hse.ru

Ружанская Людмила Станиславовна

Доктор экономических наук, доцент, главный научный сотрудник Центра исследований структурной политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия (101000, г. Москва, ул. Мясницкая, 20); заведующий кафедрой мировой экономики и международного менеджмента, Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1490-779X> e-mail: l.s.ruzhanskaya@urfu.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта в рамках проекта НИУ ВШЭ «Зеркальные лаборатории» (Соглашение № 6.13.1–02/210723–1 от 21.07.2023 г.).

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Кузык М. Г., Ружанская Л. С. Факторы энергоперехода компаний обрабатывающей промышленности с учетом их включенности в глобальные цепочки создания стоимости // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 642–673. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.026>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 21 марта 2024 г.; дата поступления после рецензирования 2 мая 2024 г.; дата принятия к печати 27 мая 2024 г.

Factors of Energy Transition of Manufacturing Companies Regarding their Inclusion in Global Value Chains

Mikhail G. Kuzyk¹ , Liudmila S. Ruzhanskaya^{1,2}  

¹National Research University Higher School of Economics,
Moscow, Russia

²Ural Federal University

named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia

 l.s.ruzhanskaya@urfu.ru

Abstract. Environmental problems, the results of structural changes in the world economy and technological progress set forth the task of finding factors that stimulate the transition from the continuous growth of energy consumption to decarbonization and energy transition. The aim of the article is to empirically analyze the factors of companies' energy transition policies in different countries of the world, considering the functioning of global value chains (GVCs). The database is sourced from a survey of representatives of more than 15,000 manufacturing companies conducted by the World Bank Group in 2018–20 in 40 countries. The novelty of the analytical research framework proposed in the paper lies in the integrated presentation of factors which are external and internal to firms that influence decisions on energy transition policies and strategies. Descriptive statistics and econometric modeling revealed the presence of energy efficiency and energy transition policy elements in more than 2/3 of the sampled companies with a focus on energy efficiency, reflecting a desire to reduce related costs. Firms' use of fossil fuels is a driver of energy transition. Two alternative energy transition strategies of firms are found: the first emphasizes energy efficiency plans and actions, while the second involves a shift to carbon neutrality. High country income levels deter firms from energy efficiency decisions but incentivize the implementation of carbon emission reduction strategies. The level of environmental efficiency of countries has a positive impact on the "immersion" of their companies in the energy transition agenda. Companies' participation in the GVCs is generally positively associated with the presence of energy efficiency and energy transition policy elements. Government tax regulation and consumer demand are important factors in companies' commitment to energy efficiency and energy transition policies. Signs of the diffusion of incentives to implement energy transition policies along production chains are also identified. The results can be used in the development of industrial policy.

Key words: energy transition; energy efficiency; energy consumption; carbon neutrality; fossil fuels; renewable energy; global value chains.

JEL D22, F61

References

1. Sovacool, B.K., Geels, F.W. (2016). Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics. *Energy Research & Social Science*, Vol. 22, 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.013>
2. Zakeri, B., Paulavets, K., Barreto-Gomez, L., et al. (2022). Pandemic, war, and global energy transitions. *Energies*, Vol. 15, Issue 17, 6114. <https://doi.org/10.3390/en15176114>
3. Liu, W., Chen, X., Zhang, J. (2023). The Russia-Ukraine conflict and the automotive energy transition: Empirical evidence from China. *Energy*, Vol. 284, 128562. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128562>

4. Gereffi, G. (2018). *Global Value Chains and Development: Redefining the Contours of 21st Century Capitalism*. Cambridge University Press, 494 p. <https://doi.org/10.1017/9781108559423>
5. Kano, L., Tsang, E.W., Yeung, H.W.C. (2020). Global value chains: A review of the multi-disciplinary literature. *Journal of International Business Studies*, Vol. 51, 577–622. <https://doi.org/10.1057/s41267-020-00304-2>
6. Pietrobelli, C., Rabellotti, R. (2011). Global value chains meet innovation systems: are there learning opportunities for developing countries? *World Development*, Vol. 39, Issue 7, 1261–1269. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2010.05.013>
7. Ferrarini, B., Vries, G.D. (2015). What Accounts for the Growth of Carbon Dioxide Emissions in Advanced and Emerging Economies? The Role of Consumption, Technology, and Global Supply Chain Trade. *Asian Development Bank Economics Working Paper Series*, No. 458, 27 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2708827>
8. Liu, H., Zong, Z., Hynes, K., De Bruyne, K. (2020). Can China reduce the carbon emissions of its manufacturing exports by moving up the global value chain? *Research in International Business and Finance*, Vol. 51, 101101. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.101101>
9. Khattak, A., Stringer, C. (2017). Environmental Upgrading in Pakistan's Sporting Goods Industry in Global Value Chains: A Question of Progress? *Business & Economic Review*, Vol. 9, No. 1, 43–64. <http://dx.doi.org/10.22547/BER/9.1.3>
10. Hu, D., Jiao, J., Chen, C., Xiao, R., Tang, Y. (2022). Does global value chain embeddedness matter for the green innovation value chain? *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 10, 779617. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.779617>
11. Poulsen, R.T., Ponte, S., Sornn-Friese, H. (2018). Environmental upgrading in global value chains: The potential and limitations of ports in the greening of maritime transport. *Geoforum*, Vol. 89, 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.01.011>
12. Kaltenegger, O., Löschel, A., Pothén, F. (2017). The effect of globalisation on energy footprints: disentangling the links of global value chains. *Energy Economics*, Vol. 68, 148–168. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.008>
13. Spaiser, V., Scott, K., Owen, A., Holland, R. (2019). Consumption-based accounting of CO2 emissions in the sustainable development Goals Agenda. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 26, Issue 4, 282–289. <https://doi.org/10.1080/13504509.2018.1559252>
14. Fattouh, B., Poudineh, R., West, R. (2019). The rise of renewables and energy transition: what adaptation strategy exists for oil companies and oil-exporting countries? *Energy Transitions*, Vol. 3, 45–58. <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00013-x>
15. Wu, Z., Hou, G., Xin, B. (2020). The causality between participation in GVCs, renewable energy consumption and CO2 emissions. *Sustainability*, Vol. 12, Issue 3, 1237. <https://doi.org/10.3390/su12031237>
16. Shahbaz, M., Wang, J., Dong, K., Zhao, J. (2022). The impact of digital economy on energy transition across the globe: The mediating role of government governance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 166, 112620. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112620>
17. Loock, M. (2020). Unlocking the value of digitalization for the European energy transition: A typology of innovative business models. *Energy Research & Social Science*, Vol. 69, 101740. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101740>
18. Xu, Q., Zhong, M., Li, X. (2022). How does digitalization affect energy? International evidence. *Energy Economics*, Vol. 107, 105879. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105879>
19. Golgeci, I., Makhmadshoev, D., Demirbag, M. (2021). Global value chains and the environmental sustainability of emerging market firms: a systematic review of literature and research agenda. *International Business Review*, Vol. 30, Issue 5, 101857. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2021.101857>
20. Goyal, S., Esposito, M., Kapoor, A. (2018). Circular economy business models in developing economies: lessons from India on reduce, recycle, and reuse paradigms. *Thunderbird International Business Review*, Vol. 60, Issue 5, 729–740. <https://doi.org/10.1002/tie.21883>

21. Li, E.L., Zhou, L., Wu, A. (2017). The supply-side of environmental sustainability and export performance: The role of knowledge integration and international buyer involvement. *International Business Review*, Vol. 26, Issue 4, 724–735. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2017.01.002>
22. Espinosa-Gracia, A., Almazán-Gómez, M.Á., Jiménez, S. (2023). CO2 emissions and global value chains indicators: new evidence for 1995–2018. *Journal of Environmental Management*, Vol. 343, 118239. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118239>
23. Kong, D., Zhu, L., Yang, Z. (2020). Effects of foreign investors on energy firms' innovation: Evidence from a natural experiment in China. *Energy Economics*, Vol. 92, 105011. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105011>
24. Jensen, C. (2021). Soft and hard aspects of green behaviour: A firm-level study of the pollution haven hypothesis in the Mediterranean Basin. *Heliyon*, Vol. 7, Issue 4, e06578. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06578>
25. Mitrova, T., Melnikov, Y. (2019). Energy transition in Russia. *Energy Transitions*, Vol. 3, 73–80. <https://doi.org/10.1007/s41825-019-00016-8>
26. Agostino, M., Giunta, A., Ruberto, S., Scalera, D. (2023). Global value chains and energy-related sustainable practices. Evidence from Enterprise Survey data. *Energy Economics*, Vol. 127, 107068. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107068>
27. The International Study Group on Exports and Productivity. (2021). Understanding Cross-Country Differences in Exporter Premia — Comparable Evidence for 14 Countries. *Microeconomic Studies of Firms' Imports and Exports. Advanced Methods of Analysis and Evidence from German Enterprises*. Edited by J. Wagner. World Scientific Publishing Europe Ltd, 155–198. https://doi.org/10.1142/9781786349699_0010
28. Montalbano, P., Nenci, S. (2019). Energy efficiency, productivity and exporting: firm-level evidence in Latin America. *Energy Economics*, Vol. 79, 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.033>
29. Roud, V., Thurner, T.W. (2018). The influence of state-ownership on eco-innovations in Russian manufacturing firms. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 22, Issue 5, 1213–1227. <https://doi.org/10.1111/jieec.12643>
30. Jia, F., Gong, Y., Brown, S. (2019). Multi-tier sustainable supply chain management: The role of supply chain leadership. *International Journal of Production Economics*, Vol. 217, 44–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.07.022>
31. Jensen, C., Mina, A. (2019). Did transition bring cleaner air? Effects of ownership, territorial and technology policy on air pollution. *Ecological Economics*, Vol. 165, 106276. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.03.017>
32. Steinbrunner, P.R. (2022). Boon or bane? On productivity and environmental regulation. *Environmental Economics and Policy Studies*, Vol. 24, 365–396. <https://doi.org/10.1007/s10018-021-00325-7>
33. Sahu, S.K., Bagchi, P., Kumar, A., Tan, K.H. (2022). Technology, price instruments and energy intensity: a study of firms in the manufacturing sector of the Indian economy. *Annals of Operations Research*, Vol. 313, 319–339. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04295-7>
34. Achabou, M.A., Dekhili, S., Hamdoun, M. (2017). Environmental upgrading of developing country firms in global value chains. *Business Strategy and the Environment*, Vol. 26, Issue 2, 224–238. <https://doi.org/10.1002/bse.1911>
35. Rigo, D. (2021). Global value chains and technology transfer: new evidence from developing countries. *Review of World Economics*, Vol. 157, 271–294. <https://doi.org/10.1007/s10290-020-00398-8>
36. Mayer, F., Gereffi, G. (2010). Regulation and economic globalization: Prospects and limits of private governance. *Business and Politics*, Vol. 12, Issue 3, 1–25. <https://doi.org/10.2202/1469-3569.1325>
37. Franco, A., Miserocchi, L., Testi, D. (2023). Energy indicators for enabling energy transition in industry. *Energies*, Vol. 16, Issue 2, 581. <https://doi.org/10.3390/en16020581>

38. He, Y., Guang, F., Wang, M. (2018). The efficiency of electricity-use of China and its influencing factors. *Energy*, Vol. 163, 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.126>
39. Zeng, W., Li, L., Huang, Y. (2021). Industrial collaborative agglomeration, marketization, and green innovation: Evidence from China's provincial panel data. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 279, 123598. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123598>
40. Pan, H., Yang, J., Zhou, H., Zheng, X., Hu, F. (2022). Global value chain embeddedness, digital economy and green innovation — evidence from provincial-level regions in China. *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 10, 1027130. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1027130>
41. Ben Brik, A., Mellahi, K., Rettab, B. (2013). Drivers of green supply chain in emerging economies. *Thunderbird International Business Review*, Vol. 55, Issue 2, 123–136. <https://doi.org/10.1002/tie.21531>
42. Khanna, M., Liao, Y. (2014). Globalization and voluntary environmental management in developing countries. *Frontiers of Economics in China*, Vol. 9, Issue 1, 138–163. <https://doi.org/10.3868/s060-003-014-0008-6>
43. Antràs, P. (2020). Conceptual aspects of global value chains. *The World Bank Economic Review*, Vol. 34, Issue 3, 551–574. <https://doi.org/10.1093/wber/lhaa006>
44. Dovis, M., Zaki, C. (2020). Global value chains and local business environments: Which factors really matter in developing countries? *Review of Industrial Organization*, Vol. 57, 481–513. <https://doi.org/10.1007/s11151-020-09768-w>
45. Jiang, L., He, S., Tian, X., Zhang, B., Zhou, H. (2020). Energy use embodied in international trade of 39 countries: Spatial transfer patterns and driving factors. *Energy*, Vol. 195, 116988. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116988>
46. Li, F., Zhang, J., Li, X. (2023). Energy security dilemma and energy transition policy in the context of climate change: A perspective from China. *Energy Policy*, Vol. 181, 113624. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113624>
47. Pan, A., Xiao, T., Dai, L., Shi, X. (2022). Global transfer of embodied energy: From source to sink through global value chains. *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 31, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.030>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Mikhail Georgievich Kuzyk

Candidate of Economic Sciences, Deputy Director of Centre for Industrial Policy Studies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia (101000, Moscow, Myasnitskaya street, 20); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2971-6718> e-mail: mkuzyk@hse.ru

Liudmila Stanislavovna Ruzhanskaya

Doctor of Economics, Associate Professor, Senior Researcher of the Centre for Industrial Policy Studies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia (101000, Moscow, Myasnitskaya street, 20); Head of the Academic Department of International Economics and Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1490-779X> e-mail: l.s.ruzhanskaya@urfu.ru

ACKNOWLEDGMENTS

The research was carried out for a grant within the framework of the project of the National Research University Higher School of Economics “Mirror Laboratories” (Agreement No. 6.13.1–02/210723–1 dated 21.07.2023).

FOR CITATION

Kuzyk, M.G., Ruzhanskaya, L.S. (2024). Factors of Energy Transition of Manufacturing Companies Regarding their Inclusion in Global Value Chains. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 642–673. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.026>

ARTICLE INFO

Received March 21, 2024; Revised May 2, 2024; Accepted May 27, 2024.



Forecasting The Economic Growth of Sverdlovsk Region: A Comparative Analysis of Machine Learning, Linear Regression and Autoregressive Models

Daniel Musafiri Balungu  , **Avinash Kumar** 

*Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia*

 danielbal03.db@gmail.com

Abstract. The relevance of accurate economic forecasting cannot be overstated in today's rapidly changing global economy. Decision-makers in both the public and private sectors rely heavily on reliable forecasts to make informed decisions about resource allocation, investment strategies, and policy development. In this context, the importance of leveraging advanced analytical techniques, such as machine learning, to improve the accuracy of economic forecasts has become increasingly apparent. The purpose of this study is to explore the use of different forecasting models in predicting the dynamics of the GRP of the Sverdlovsk region in Russia, with a focus on the potential benefits of integrating machine learning techniques. The central hypothesis underlying this study is that machine learning models have the potential to outperform traditional autoregressive models in predicting economic growth. By leveraging a rich dataset that includes yearly GRP data and macro-economic indicators from 2005 to 2022, the research procedure involved a comprehensive comparative analysis of different modeling approaches. The main findings of this study highlight the superior performance of the random forest model in forecasting GRP growth compared to the traditional SARIMAX model. These results not only provide valuable insights into the predictive power of machine learning algorithms in economic forecasting but also underscore the potential benefits of adopting advanced analytical techniques in decision-making processes. By demonstrating the superiority of machine learning models in predicting economic indicators like GRP, this study contributes to the growing body of literature on the application of data-driven approaches in economic analysis. Ultimately, the theoretical and practical significance of these findings lies in their implications for improving the accuracy and reliability of economic forecasts, thereby enabling more informed decision-making in a rapidly evolving economic landscape.

Key words: economic growth; gross regional product; regional economy; machine learning; time series.

JEL R15, C68

1. Introduction

Forecasting future trends in socioeconomic development is a complex and critical task for governments, researchers, and other stakeholders. The ability to predict economic trends accurately can help policymakers make informed decisions about resource allocation, taxation policies, and

social programs. Traditional methods of forecasting, such as time series analysis and econometric models, have been the go-to tools for many years.

However, these methods often have limitations in terms of accuracy and flexibility. With the rapid advancement of technology, new tools have emerged that show

promise in improving the accuracy and reliability of economic forecasts. Machine learning methods, in particular, have garnered attention for their ability to analyze large volumes of data quickly and accurately. These methods can identify patterns in data that may not be evident to human analysts, leading to more accurate predictions of future trends [1].

One key advantage of machine learning methods is their ability to adapt to changing data patterns. Traditional forecasting methods often struggle to handle large amounts of data or non-linear relationships between variables. Machine learning algorithms, on the other hand, can learn from new data and adjust their predictions, accordingly, making them more flexible and adaptable to changing economic conditions.

Another advantage of machine learning methods is their ability to incorporate a wide range of data sources into forecasting models. Traditional methods typically rely on a limited number of economic indicators, such as Gross regional product growth or unemployment rates. Machine learning algorithms can analyze much larger datasets, including social media data, satellite imagery, and other sources of information, to provide a more comprehensive view of economic trends. Despite their promise, machine learning methods are not without their challenges. They require significant computing power and expertise to implement effectively, and there are concerns about bias and transparency in the algorithms used. However, with the right tools and methods in place, machine learning has the potential to revolutionize the way we forecast socioeconomic development and make decisions about the future.

The gross regional product (GRP) is a key indicator used by policymakers, economists, and researchers to understand the economic performance of a specific region. The GRP measures the total value of

goods and services produced within a region during a specified period, providing a comprehensive picture of the region's economic activity and output. This allows policymakers to assess the overall economic health of the region and make informed decisions about resource allocation and policy interventions. By comparing the GRP of different regions, policymakers and researchers can identify disparities in economic performance and development between regions [2].

This information can help target resources to areas in need of support and prioritize policies to promote balanced regional development. Tracking changes in the GRP over time can provide insights into the region's economic growth, stability, and resilience to external shocks. This information can inform long-term planning, investment decisions, and policy adjustments to support sustainable economic development. The GRP is closely linked to employment and income generation within a region. A strong and growing economy typically leads to job creation, increased incomes, and improved living standards for residents.

Monitoring changes in the GRP can help policymakers assess the region's ability to provide meaningful economic opportunities for its population. Policymakers use the GRP as a key input for making decisions on budget allocations, infrastructure investments, tax policies, and other economic policies. Understanding a region's economic performance through the GRP helps policymakers formulate effective strategies to promote economic growth, stimulate investment, and create a favorable business environment.

The purpose of this study is to explore the use of different forecasting models in predicting the dynamics of the GRP of the Sverdlovsk region in Russia, with a focus on the potential benefits of integrating machine learning techniques.

Research hypothesis:

H1: Machine learning models tend to perform better than traditional autoregressive models when forecasting socioeconomic indicators.

The study is structured as follows.

Section 2 provides an outline of the approaches used. Section 3 describes the empirical results and relevant discussions. The conclusion outlines the important findings and policy implications.

2. Related works

This section synthesizes findings from recent research on the application of Machine learning (ML) algorithms for predicting socioeconomic development across various regions.

By examining the efficacy, challenges, and future directions of ML in this domain, we aim to highlight its potential to enhance predictive accuracy and inform policymaking. Recent studies have applied a range of ML algorithms to socioeconomic forecasting, including Random Forest, Support Vector Machines, and neural networks.

Gu et al. [3] conducted a comparative analysis of these methods, emphasizing XGBoost's superiority in terms of prediction accuracy and model stability. Their findings are consistent across studies, indicating a growing preference for ensemble learning methods and gradient-boosting machines due to their effectiveness in handling diverse socioeconomic data. The study is significant as it addresses the challenge of updating socioeconomic indicators more frequently and cost-effectively than traditional methods like censuses, which are conducted every ten years and are expensive. The methodology involves using a pre-trained convolutional neural network (CNN) to predict socioeconomic indicators from GSV images, validated through a five-fold cross-validation process. The best performance was observed for predicting the highest income class, achieving an 80 % accuracy rate.

Hassan & Mirza [4] conducted a study on India's GDP growth using time series forecasting techniques. They analyzed fluctuations in GDP over the years, including COVID-19, and used ARIMA and Prophet models to predict future trends from 2020 to 2030. The study emphasizes the importance of innovative forecasting methods in navigating economic challenges and opportunities.

Morelli & Spadaccini's research [5] explores the use of machine learning in economic forecasting, specifically GDP forecasting. They compare various models, including the K-Nearest Neighbor model (KNN), against conventional methods. The KNN model showed superior performance in capturing self-predictive US GDP over long forecasting horizons. The study also explores the addition of predictors and macroeconomic variables to improve forecasting models.

Tran et al. [6] explores the application of classic machine learning algorithms for predicting the Gross Domestic Product (GDP) of various countries from 2013 to 2018. Utilizing the Economic Freedom Index's Predicting GDP dataset, the research focuses on enhancing predictive accuracy by employing Random Forest (RF) alongside feature importance techniques, PCA, and KBest methods for feature selection and hyperparameter optimization. The study demonstrates that the RF model combined with KBest for feature selection outperforms other classical models like Support Vector Machines (SVM) in terms of predictive accuracy, achieving an R^2 score of 0.904 across 186 countries. This work underscores the potential of machine learning models to significantly contribute to macroeconomic forecasting, providing insights into critical factors affecting GDP, such as Freedom from Corruption, Property Rights, and the unemployment rate.

A similar conclusion has been drawn by Puttanapong et al. [7] who introduces

a novel approach for monitoring regional development through the application of satellite data combined with machine learning algorithms. Utilizing Google Earth Engine, the study develops a web-based application to collect spatial data, which is then analyzed using four machine learning methods to predict the GDP of Thai provinces. The Random Forest method demonstrated the highest predictive accuracy, achieving 97.7 % accuracy in forecasting provincial GDP. This research fills a gap in the literature by employing a broad set of near-real-time satellite data from a publicly accessible source to estimate provincial GDP, addressing the limitations faced by traditional data collection methods, especially in developing countries with geographical and budgetary constraints. The study's findings suggest that urban area and population are the most influential factors in GDP prediction, while also noting the medium-level effects of environmental and climate indicators. This innovative approach not only showcases the potential of integrating satellite data and machine learning for economic forecasting but also offers a cost-effective alternative for timely monitoring of regional development, particularly useful during periods of crisis like the COVID-19 pandemic.

As per the recent advancements in economic forecasting, a study by Lisa-Cheree [8] explores the comparative efficacy of machine learning (ML) techniques and traditional econometric models in forecasting the quarterly GDP growth of South Africa. The study evaluates various forecasting methods, including autoregressive and vector autoregressive models against ML approaches like elastic-net regression, random forests, support vector machines, and recurrent neural networks (RNNs). Martin finds that ML methods generally outperform traditional models by minimizing the root mean squared error and closely aligning with actual GDP trends. This suggests that

ML techniques could offer valuable tools for policymakers by providing more accurate macroeconomic data predictions. The paper underscores the potential of ML in economic forecasting, recommending further exploration of these methods for enhanced policy decision-making.

Similar findings were observed in research focused on New Zealand's GDP growth by Richardson et al. [9], which demonstrated the capability of machine learning (ML) algorithms to enhance central banks' understanding of the current economic situation. The paper significantly contributes to the macroeconomic forecasting field by evaluating the performance of common ML algorithms in a fully "real-time" environment using New Zealand's GDP growth data. The study demonstrates that ML algorithms can substantially improve forecast accuracy over traditional models, such as the autoregressive benchmark and dynamic factor models. Moreover, it suggests that ML techniques could even enhance the official forecasts produced by the Reserve Bank of New Zealand. This assessment aligns with a growing body of literature that positions ML models as a valuable tool for economic forecasting, offering new insights and more accurate predictions for policymakers and economic analysts.

Russian scientists have also conducted studies in this area. For example, Azarnova et al. [10] used standard neural networks to predict socioeconomic development characteristics in the Voronezh region. Their findings highlighted the possibilities and limitations of forecasting indicators of regional social and economic development for the period up to 2024, using the Voronezh region's GRP as an example. They proposed using neural network apparatus as a supplementary tool for making long-term predictions within the restrictions set by most economic-statistical methodologies (1/3 of the period during which the original data is generated).

Ivchenko [11] focuses on econometric modeling to determine the factors influencing GRP in Russian regions. The study explores the impact of fixed capital, effective demand, and financial resources on GRP, grounding its analysis in economic theories that link resource availability and market demand with regional economic outputs. However, Ivchenko identifies a gap in the inclusion of variables like social expenditures and enterprise financial balances, which could further explain variations in GRP. This gap is particularly relevant to the topic of forecasting economic growth using machine learning, linear regression, and autoregressive models, as it suggests potential areas for enhancing model accuracy and robustness. By integrating these overlooked factors into comparative analyses, the research could provide a more comprehensive understanding of the predictors of economic growth, thus contributing valuable insights into regional economic planning and forecasting. This approach not only addresses the identified gaps but also leverages the theoretical framework to enhance the predictive power of various econometric models in understanding economic dynamics.

In a study by Barykin's [12] about empirical analysis of Russian regions employs hierarchical cluster analysis and Euclidean distances to assess regional debt sustainability in Russia, providing a scientific foundation for setting budget constraints. This fills a crucial gap in previous research which lacked rigorous methodologies for justifying debt limits. By offering a sophisticated empirical framework, this study enhances the accuracy of economic forecasting models, including machine learning, linear regression, and autoregressive models, by incorporating a detailed analysis of regional economic health. This approach significantly advances the understanding of regional financial dynamics and their impact on economic growth.

Lavrovsky [13] study about spatial configuration of the gross regional product of Russian Regions which is about estimation and forecast provides an in-depth analysis of Russia's macroeconomic growth and its regional disparities from 1990 to 2013. Their research focuses on the dynamic distribution of GRP across regions, employing a "distribution dynamics" approach to both analyze and predict the structural characteristics of GRP distribution. The study highlights the persistent regional disparities despite overall economic growth, suggesting that regional growth is not uniform and often concentrated in specific areas. This non-uniformity indicates a significant variation in regional economic strength, which challenges the notion of nationwide economic convergence. The authors forecast continued differentiation in growth rates among regions up to 2025, emphasizing the need for tailored regional development policies to manage this divergence effectively.

In the study by Skufina [14] about production functions in identifying the specifics of producing the gross regional product of the Russian Federation utilizes production functions to delve into the dynamics of Gross Domestic Product (GDP) production in Russia. It critically evaluates the influence of capital stocks versus investments in the main fund on GDP, preferring the latter due to its significant impact. The study confirms that investments in the main fund are more pivotal for GDP production than capital stocks, which show a weak dependency. This insight is crucial for economic strategies, as it underscores the importance of focusing on active investments rather than existing capital stocks. Furthermore, the paper highlights the intensive nature of economic growth in Russia from 1996 to 2013, characterizing it through the lens of labor-saving growth, which suggests a higher elasticity of capital relative to labor. This research provides a nuanced understanding

of the factors driving Russia's GDP, contributing valuable insights into economic planning and policy formulation.

The research work done by Prokapalo et al. [15] analyzes the economic development challenges and disparities of the Far Eastern federal district in comparison to other regions of Russia. Their work focuses on identifying the underlying economic issues and potential strategic improvements. They examine regional policies, investment disparities, and economic outputs to propose methods for enhancing regional development. The study emphasizes the need for tailored economic strategies that leverage local resources and address specific regional needs, aiming to improve the socio-economic status of the Far Eastern district within the broader framework of Russian federal development.

The purpose of this research is to examine the predictive capabilities of selected machine-learning approaches for the Sverdlovsk Region. Machine learning and time series forecasting are widely recognized for their effectiveness in analyzing and projecting future trends across various metrics, making them suitable for predicting the upcoming GDP growth trajectory for other regions. Forecasting regional socioeconomic development, particularly for areas like the Sverdlovsk Region, involves leveraging machine learning (ML) techniques to analyze and predict vital economic indicators such as GDP growth and the Gini Index. ML's application in this field presents a novel approach by utilizing vast datasets, including historical economic performances, demographic changes, and even satellite imagery, to offer precise and dynamic forecasts. These models can capture complex, nonlinear relationships between various socioeconomic factors, providing a nuanced understanding of regional development trends.

Future directions in this realm should focus on refining ML algorithms to en-

hance their predictive accuracy and interpretability. This could involve integrating more granular, real-time data sources, such as social media trends and transaction-level economic activity, to improve forecasts' responsiveness to immediate socioeconomic changes. Additionally, developing hybrid models that combine traditional econometric methods with cutting-edge ML techniques could offer a balance between explainability and predictive power, catering to the needs of policymakers and economists alike. However, challenges and limitations persist, primarily related to data quality and availability. Regions with less developed digital infrastructure may lack the comprehensive datasets necessary for optimal ML model training.

Moreover, ML models, while powerful, can sometimes produce opaque results, making it difficult to decipher the causal relationships behind predictions. This "black box" nature can impede the adoption of ML-based forecasts in policy-making contexts where understanding the rationale behind forecasts is crucial.

As stated in this literature review, machine learning offers promising avenues for forecasting regional socioeconomic development, addressing these challenges through technological advancements and interdisciplinary collaboration will be vital for realizing its full potential. By doing so, regions like the Sverdlovsk can harness ML to inform targeted, effective development strategies and policies.

3. Methodology

3.1. Model Specifications and Empirical Strategy

3.1.1. GRP Forecasting models

In this paper we explore different forecasting models to predict Sverdlovsk GRP growth: Random Forest (RF), Seasonal Auto-Regressive Integrated Moving Average with exogenous factors (SARIMAX), and classical linear regres-

sion (LR). Let $t, i \in \{1, 2, \dots, 18\}$ represents the t -th year $T \in \{2005, 2006, \dots, 2022\}$. Define $Y = \{y_t\}_{t \in R^+}$ the time series of the log GRP. Let $Y^d = \{y_t - y_{t-d}\}_{d, t \in R^+}$ be the d -th order difference between consecutive GRP time series observations. We denote with $X_n = (x_{n,t})$ the time series of a generic set of n covariates with $n \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$.

Random Forest (RF). The most prevalent data mining approach is Random Forest (RF). The method is frequently utilized in several time series forecasting disciplines, including biostatistics, climate monitoring, energy sector planning, and weather forecasting. Random forest (RF) is an ensemble learning technique that can perform both high-dimensional classification and regression.

RF is a tree-based ensemble method in which each tree is dependent on a set of random variables. That is, the forest is formed by combining many regression trees into an ensemble [16]. After fitting individual trees in an ensemble with bootstrap samples, the ultimate decision is made by aggregating over the ensemble, i.e., averaging the result for regression or voting for classification. Bagging is a process that enhances the model's stability and accuracy, minimizes variation, and helps to avoid overfitting. The bagged trees have the same bias as the individual trees, but the variance is reduced by lowering the correlation between trees.

Random forests adjust for decision trees' tendency to overfit their training set and produce a limiting value of the generalization error [17]. The RF generalization error is estimated using the out-of-bag (OOB) error, which is the error for training points that are not included in the bootstrap training sets (roughly one-third of the points are excluded from each bootstrap training set). OOB error estimates are nearly equal to those derived by N-fold cross-validation.

The main advantage of RFs is that they can be fitted in a single sequence,

with cross-validation conducted along the way. The training can be stopped when the OOB error stabilizes [18]. The algorithm is shown in table 1.

Table 1. **Random forest algorithm** [19]

1. For $k=1$ to K :

Draw a bootstrap sample L of size N from the training data.

Grow a random-forest tree to T_k the bootstrapped data, by recursively repeating the following steps for each node of the tree, until the minimum node size m is reached

Select F variables at random from the n variables

Pick the best variable/split-point among the F

Split the node into two daughter nodes.

2. Output the ensemble of trees $\{T_k\}_{k=1, 2, \dots, K}$

To make a prediction at new point x :

$$f(x) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K T_k(x), \quad (1)$$

Where K represents the number of trees in the forest and F represents the number of input variables randomly chosen at each split respectively.

The number of trees can be established by experimentation. Furthermore, we can add subsequent trees to the training procedure until the OOB error stabilizes. The RF method is not unduly dependent on the value of F . The algorithm's creators recommend $F = n/3$ for regression RFs. Another input is the minimum node size, m . The lower the minimum node size, the deeper the tree. In numerous papers, $m = 5$ is recommended.

Many programs that implement RFs use this as the default value. RFs have a low sensitivity to this characteristic. Using RFs, we may evaluate the prediction strength or relevance of variables, which is useful for ranking and selecting variables,

interpreting data, and understanding underlying phenomena. In RF, variable importance can be calculated as the increase in prediction error when the variable's values are randomly permuted across OOB samples. The increase in error caused by permuting is averaged over all trees and divided by the ensemble's standard deviation. The variable becomes more critical as the amount of OOB error increases.

Forecasting time series with covariates involves predicting future values of a target variable based on historical data and associated external variables. RF can be adapted for this task by treating past values of the time series and covariates as features in the regression framework.

For formulating the problem, we consider a time series Y and covariates X . The goal is to predict y_{t+h} , the value of the series at a future time $t+h$, using historical data up to time t and covariates. The trained RF model is used to predict future values of the time series given new observations of covariates. For a forecast at time $t+h$:

$$\hat{y}_{t+h} = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B T_b(F_{t+h}), \quad (2)$$

Where F_{t+h} includes lagged values up to time t and future values of covariates if available.

SARIMAX. The Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) [20] is a prominent and widely used stochastic time series model. The main assumption for implementing this model is that the investigated time series is linear and follows a specific known statistical distribution, such as the normal distribution.

The ARIMA model has sub-classes of various models, including the Autoregressive (AR), Moving Average (MA), and Autoregressive Moving Average (ARMA) models.

Kontopoulou et al. [21] suggested an effective variant of the ARIMA model for seasonal time series forecasting, known

as the Seasonal ARIMA (SARIMA) [22]. When an ARIMA model incorporates additional time series as input variables, it is referred to as an ARIMAX model. The ARIMA process provides a comprehensive set of tools for univariate time series analysis, including model identification, parameter estimates, diagnostic checking, and forecasting, and it allows for a wide range of ARIMA or ARIMAX models to be investigated [21, 23].

This model may also exhibit seasonal changes; we refer to this as Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA) and Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables (SARIMAX). The decomposition method is a classical time series forecasting method that calculates trend components using mathematical functions. This approach is inappropriate since it contains numerous inaccuracies in time series forecasting. Because mathematical models cannot explain the behavior or nature of trend components.

Since SARIMAX is an extension of SARIMA, it would be better to start the explanation with SARIMA. The process known as seasonal ARIMA $(p, d, q) \times (P, D, Q)_S$, or SARIMA, considers two aspects of the observed time series at the same time: the correlation between consecutive values modeled by standard ARIMA models, and the correlation between distant observations, which captures the seasonality. Formally speaking, the model's ARIMA component is defined as:

$$y_t^d = \varphi_0 + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} + b_t - \sum_{j=1}^q \theta_j b_{t-j}, \quad (3)$$

Where p is the autoregressive order of the process with coefficients φ_i and q is the order of the moving average process with coefficients θ_i . Notice that in a standard ARIMA process b_t is white noise, whereas here it is not due to the existence of un-

explained correlation that we model as follows:

$$\omega_t = b_t - b_{t-D},$$

$$\omega_t = \sum_{i=1}^P \Phi_i \omega_{t-i,S} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^Q \Theta_j \varepsilon_{t-j,S}, \quad (4)$$

Where D represents the degree of the integration, P and Q are the seasonal orders of the autoregressive and moving average processes with coefficients Φ_i and Θ_i , respectively, S is the seasonality, and $\varepsilon_t \sim WN(0, \sigma^2\varepsilon)$. Using the lag operator B such that $By_t = y_{t-1}$, then (3) and (4) define the SARIMA process written in compact form:

$$\begin{aligned} \varphi(B)\Phi(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D y_t &= \\ &= \varphi_0 + \theta(B)\Theta(B^S)\varepsilon_t. \end{aligned} \quad (5)$$

SARIMAX includes time series of covariates $x'_{k,t}$. Formula 5 becomes:

$$\begin{aligned} \varphi(B)\Phi(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D y_t &= \\ &= \beta_n x'_{n,t} + \theta(B)\Theta(B^S)\varepsilon_t. \end{aligned} \quad (6)$$

Linear regression (LR). LR is a basic statistical and machine learning technique that models the relationship between a dependent variable and one or more independent variables by fitting a linear equation to observed data. It is also commonly utilized in several fields for predictive analysis such as forecasting short-term electricity demands [24], stock indexes [25], and wind speeds [26].

The basic principle underlying linear regression is to develop a linear equation that best predicts the dependent variable Y given the independent variables $X_1, X_2, \dots, X_n$. This equation depicts a line (in the case of simple linear regression) or a hyperplane (in multiple linear regression) that reduces the difference between the observed and predicted values of the model.

Since we are predicting the GRP growth using covariates, the multiple linear regression formula should be used. The prediction equation can be written as:

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \dots + \beta_k x_{kt} + \varepsilon_t, \quad (7)$$

Where y_t is an observed response and x_t includes columns for contemporaneous values of observable predictors. The partial regression coefficients in β_k represent the marginal contributions of individual predictors to the variation in y_t when all of the other predictors are held fixed.

3.1.2. Forecasting strategies

When working with time series, it is rarely necessary to forecast merely the next element ($t+1$). The most common goal is to anticipate an entire future interval ($t+1$), ..., ($t+n$) or a distant point in time ($t+n$). Several ways exist for making this type of prediction including recursive multi-step forecasting, direct multi-step forecasting, and multiple output forecast. In this work, we use the recursive multi-step forecasting strategy. The Random Forest and SARIMAX models are implemented with the help of skforecast [27].

Recursive multi-step forecasting. Predicting the next H values $[y_{N+1}, \dots, y_{N+H}]$ of a historical time series $[y_1, \dots, y_N]$ made up of N observations is known as a multi-step forward (also known as long-term) time series forecasting problem, where $H > 1$ indicates the forecasting horizon.

To describe our recursive multi-step forecasting strategy, we will employ a common notation where d stands for the embedding dimension [28] of the time series, which is the number of past values used to predict future values, and w is the term that includes modeling error, disturbances, and/or noise. f and F denote the functional dependency between past and future observations.

The Recursive (also termed Iterated or Multi-Stage) strategy is the most traditional and intuitive forecasting method [29–33]. In this technique, a single model f is trained to provide a *one-step ahead* forecast, i.e.:

$$y_{t+1} = f(y_t, \dots, y_{t-d+1}) + w \quad (8)$$

with $t \in \{d, \dots, N-1\}$.

Using the model, we first forecast the first step in order to forecast H steps forward. The value that was just anticipated is then included in the input variables for the subsequent step forecast (using the same one-step forward model). This is how we keep going until we have predicted the whole horizon.

Let the trained one-step ahead model be $\hat{f}$. Then the forecasts are given by:

$$\hat{y}_{N+h} = \begin{cases} \hat{f}(y_N, \dots, y_{N-d+1}), & \text{if } h = 1 \\ \hat{f}(\hat{y}_{N+h-1}, \dots, \hat{y}_{N+1}, \dots, y_N, \dots, y_{N-d+1}), & \text{if } h \in \{2, \dots, d\} \\ \hat{f}(\hat{y}_{N+h-1}, \dots, \hat{y}_{N+h-d}), & \text{if } h \in \{d+1, \dots, H\} \end{cases} \quad (9)$$

In multi-step ahead forecasting tasks, the Recursive approach may perform poorly depending on the noise in the time series and the forecasting horizon. This is in fact particularly true if the embedding dimension d is larger than the forecasting horizon h , as at that point all the inputs are forecasted values rather than real observations (formula 9). The Recursive strategy's sensitivity to the accumulation of mistakes with the forecasting horizon accounts for the possible inaccuracy. Since these projections are used to produce later forecasts, errors in intermediate forecasts will spread forward.

Despite these drawbacks, recurrent neural networks and nearest neighbors [34, 35] are two examples of machine learning models that have been effectively utilized to anticipate numerous real-world time series using the recursive technique.

In this work, this strategy is simply constructed using the “*ForecasterAutoreg*” and “*ForecasterAutoregCustom*” classes from *skforecast*. Figure 1 illustrates the recursive multi-step forecasting.

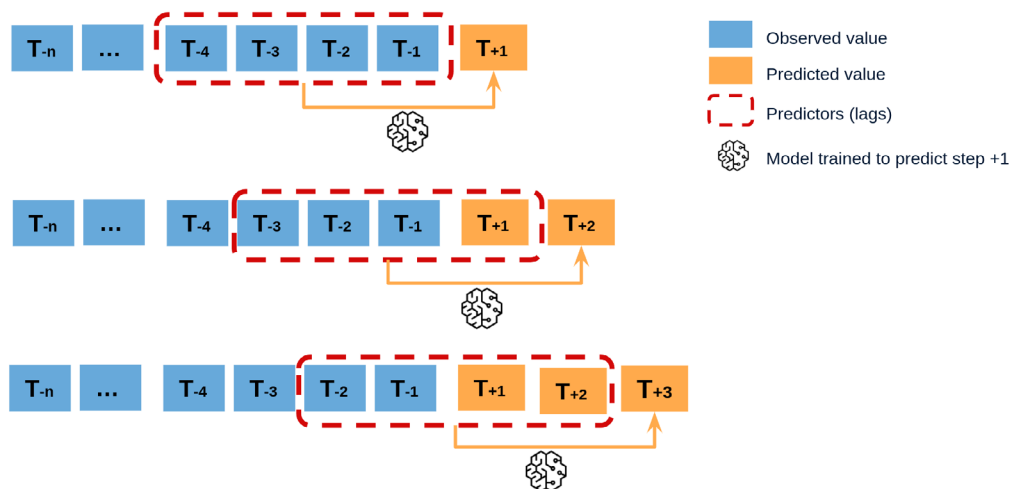


Figure 1. Prediction process diagram for 3 steps into the future using last 4 lags [27]

Table 2. **Data characteristics**

Parameters	Variable Type	Representation
Life expectancy at birth, <i>years</i>	Predictor	X1
Infant mortality, cases per 1,000 live births	Predictor	X2
The proportion of the population with monetary incomes below the subsistence level, %	Predictor	X3
Average per capita income, <i>thousand rubles</i>	Predictor	X4
Real monetary incomes of the population, % of the <i>previous period</i>	Predictor	X5
Unemployment rate, %	Predictor	X6
The total area of residential premises, <i>per 1 inhabitant on average, m²</i>	Predictor	X7
GRP (in basic prices of the corresponding years), <i>billion rubles</i>	Predictor	X8
GRP per capita, <i>thousand rubles</i>	Predictor	X9
The volume of investments in fixed assets, <i>billion rubles</i>	Predictor	X10
Index of agricultural production in farms of all categories, <i>in % compared to the previous year</i>	Predictor	X11
The share of innovative goods, works, and services in the total volume of shipped goods, completed works, and services, %	Predictor	X12
Innovative activity of organizations, %	Predictor	X13
Density of paved public roads (km of tracks per 1000 km ² of territory)	Predictor	X14
GRP change (in basic prices of the corresponding years), <i>billion rubles</i>	Dependent	Y

3.2. Empirical analysis

3.2.1. Data

The data used in this research paper comes from the Federal State of Statistics¹ and specifically includes yearly data from the Sverdlovsk Region spanning from 2005 to 2022. The dataset consists of the gross regional product and a set of macroeconomics variables (Table 2).

The primary objective of this study is to forecast the growth of the gross re-

gional product (see formula 10). In order to ensure accuracy and consistency, any missing or empty data points in the dataset were filled in with the median value.

$$\Delta GRP = \frac{GRP_t}{GRP_{t-1}} - 1, \quad (10)$$

Where ΔGRP is the change in GRP between time t and time $t-1$.

Figure 2 depicts the Sverdlovsk GRP growth over the years.

¹ Federal State of Statistics (Rosstat): <https://rosstat.gov.ru/>

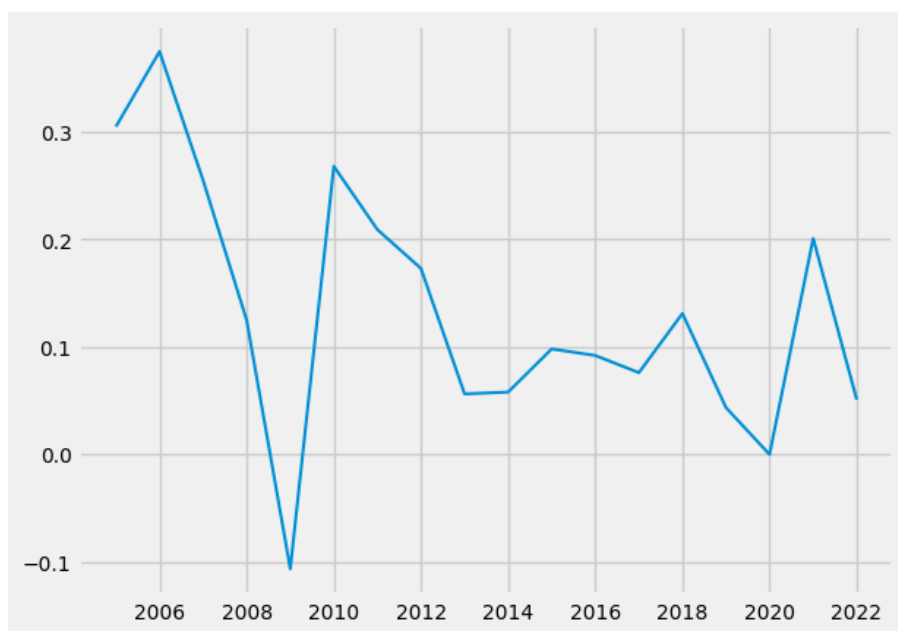


Figure 2. Sverdlovsk GRP Growth over the years

3.2.2. Models fitting

RF. With hyper-parameters tuning we find that the time window should be set at 1, max_depth at 3; and n_estimators at 500.

SARIMAX. With yearly GRP data we decide to ignore the seasonal period ($s = 0$).

LR. We fit a linear regression where covariates have a lag equal to the length of the forecasting horizon, which increases at each forecast.

4. Results

In this study, we compared the predictive accuracy of different forecasting models in predicting the Gross Regional Product (GRP) of the Sverdlovsk region in Russia. We used historical data on GRP from the past 10 years to train and test various models, including traditional time series models like SARIMAX, as well as machine learning techniques such as Random Forest and Linear regression. We commence our investigation by analyzing descriptive statistics.

Figure 3 illustrates the correlation matrix of the variables. Our analysis reveals

a strong positive correlation between (x_{13}, y) ; (x_2, y) ; (x_3, y) ; (x_5, y) . This strong correlation could indicate that only four parameters have a strong influence on the GRP growth. Next, we move forward to build our predictive models using *MSE*, Accuracy, R-squared as performance evaluation metrics.

The RF model achieves the best forecasting results with respect to SARIMAX and LR, as reported in Table 3. We used the Mean-Squared Error (*MSE*) as a measure of error made by predicting models. *MSE* is a common metric used to measure the average squared difference between the actual and predicted values in a regression problem. It is calculated by taking the average of the squared differences between the actual values (y) and the predicted values ($\hat{y}$). It is calculated by the formula 11.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (y - \hat{y})^2, \quad (11)$$

Where n is the total number of observations, y represents the actual values, and $\hat{y}$ represents the predicted values.

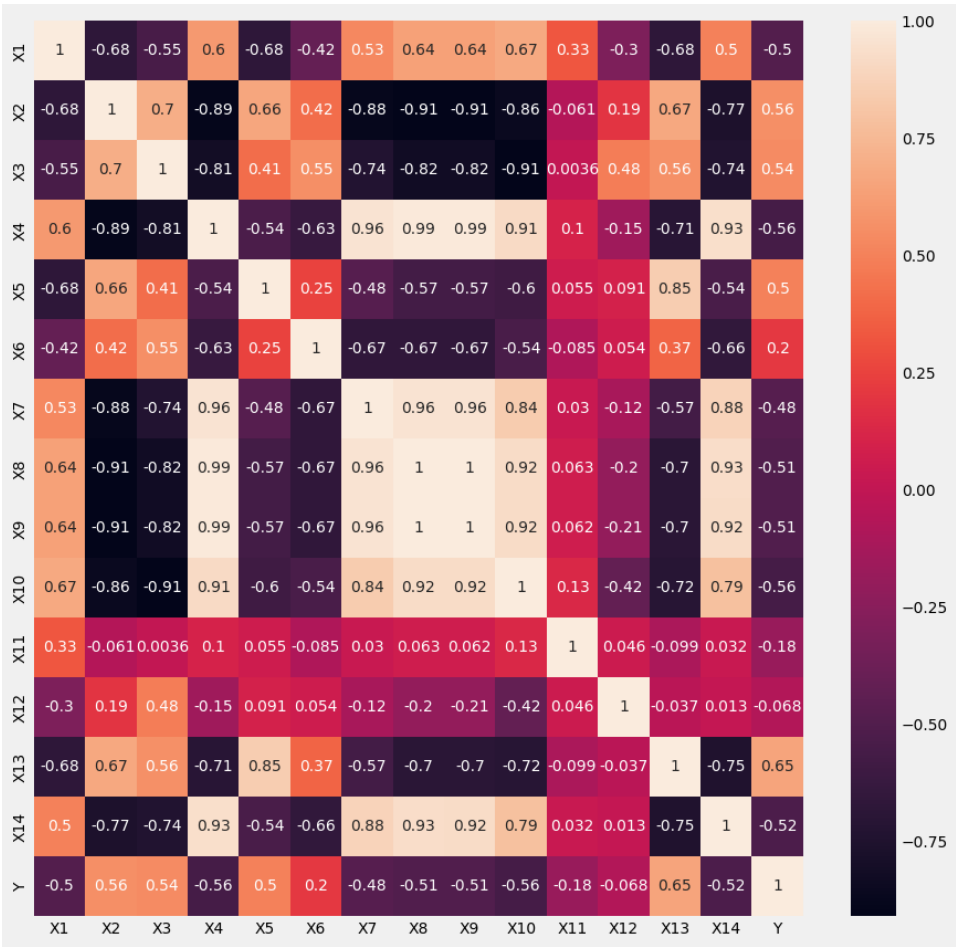


Figure 3. Correlation matrix

MSE is a useful measure that helps to quantify the accuracy of a predictive model, with lower values indicating better performance. It is commonly used in machine learning algorithms to evaluate the quality of the model’s predictions and to compare different models against each other based on their performance.

Table 3. Models Performance

Models	Mean-Squared Error (MSE)
RF	0.006541160810776712
SARIMAX	0.28389083321448955
LR	0.27545421421502714

It’s worth mentioning that all models above include covariates. We notice that both LR and SARIMAX tend to underestimate the GRP annual growth. Figures 4 and 5 depict the predictions generated by RF and SARIMAX models respectively.

The results of our analysis demonstrated that the random forest model outperformed the SARIMAX model in predicting the gross regional product growth of the Sverdlovsk region. This finding suggests that machine learning techniques may offer a more effective and accurate method for forecasting economic indicators compared to traditional time series models.

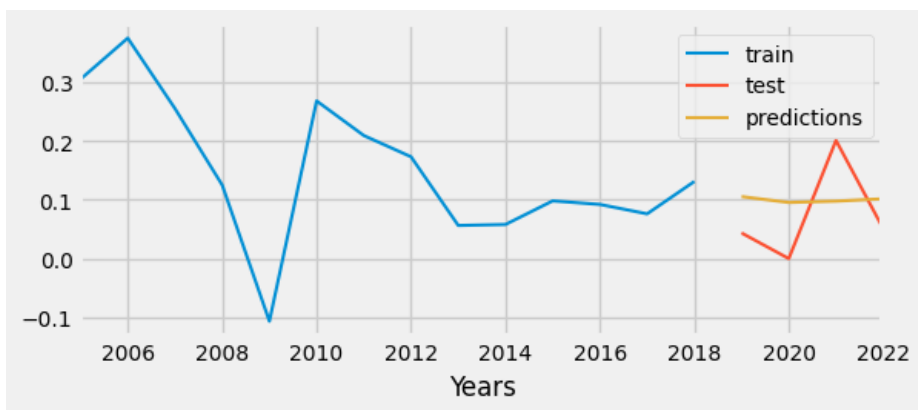


Figure 4. Recursive multi-step forecast using Random Forest

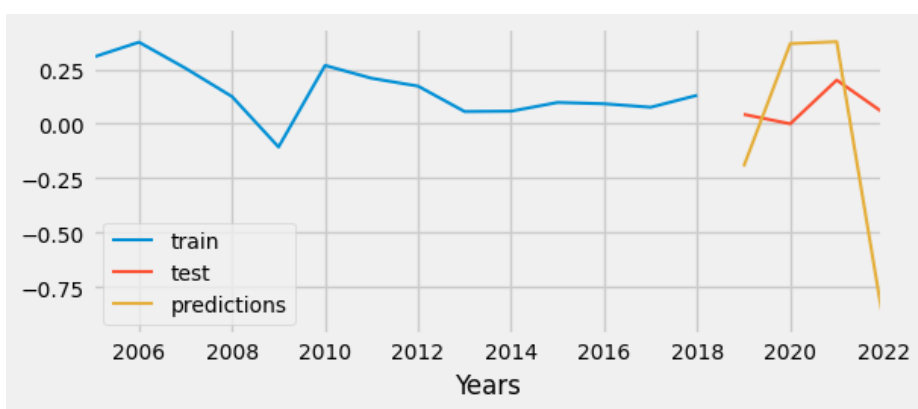


Figure 5. Recursive multi-step forecast using SARIMAX

One possible explanation for the superior performance of the random forest model is its ability to capture non-linear relationships and interactions between variables. Furthermore, the random forest model is known for its robustness to overfitting and ability to handle high-dimensional data. This makes it a suitable choice for forecasting the gross regional product, which is often influenced by a wide range of economic indicators and variables.

In addition, the results of this study highlight the importance of considering alternative forecasting methods, such as machine learning models, in addition to traditional autoregressive models. By incorporating a diverse set of forecasting techniques, researchers and policymakers can obtain more accurate and reliable forecasts

of economic indicators like gross regional product.

5. Discussion

Our study contributes to the existing body of research on economic forecasting in several ways.

First, it adds to the growing body of literature on the application of machine learning techniques in economic forecasting, particularly at the regional level. Our findings support the idea that machine learning models, such as random forest, can be valuable tools in predicting economic indicators as stated in [10].

Second, our study builds on previous research that has highlighted the importance of macroeconomic indicators in forecasting regional economic performance. By

including a comprehensive set of macroeconomic variables in our analysis, we were able to improve the accuracy of our forecasts and provide a more comprehensive understanding of the factors influencing the gross regional product of the Sverdlovsk region.

Our results also offer insights for future research in this area. One potential avenue for further investigation could involve exploring the impact of additional variables, such as demographic factors or industry-specific data, on the forecasting performance of machine learning models.

Additionally, future studies could focus on refining and optimizing the parameters of machine learning models to further enhance their predictive capabilities.

While our findings suggest that machine learning models offer significant benefits in predicting the GRP dynamics of the Sverdlovsk region, it is important to consider the limitations of using these models. Firstly, machine learning algorithms are often complex and may require a large amount of data for training, which may be challenging to obtain in some cases. Additionally, machine learning models are more prone to overfitting, especially when dealing with small datasets or noisy data. This can lead to inaccurate predictions and a lack of generalizability to new data.

Furthermore, the interpretability of machine learning models can be a concern, as they often lack transparency in how they arrive at their forecasts. Overall, while machine learning techniques show promise in improving the accuracy of GRP forecasting, it is important to consider these limitations

and carefully evaluate whether the benefits outweigh the potential drawbacks in a specific forecasting context.

6. Conclusion

The research findings demonstrate the practical significance of utilizing machine learning methods, specifically the Random Forest model, in forecasting the growth of the gross regional product of the Sverdlovsk region. These methods outperformed traditional autoregressive models, providing policy makers and stakeholders with more accurate and reliable predictions for economic growth.

The ability of the Random Forest model to handle complex, nonlinear relationships within the data highlights its potential to enhance decision-making processes and promote sustainable economic development in the region.

From a theoretical standpoint, the research contributes to the growing body of literature on the application of machine learning techniques in economic forecasting. By showcasing the superior performance of the Random Forest model and emphasizing the importance of leveraging data-driven approaches in forecasting models, the study opens avenues for further exploration into advanced modeling techniques and additional data sources.

This research underscores the potential of machine learning in improving the accuracy and reliability of economic growth forecasts, offering insights that can inform future research and strategies aimed at driving economic prosperity in the Sverdlovsk region.

References

1. Choudhury, P., Allen, R.T., Endres, M.G. (2021). Machine learning for pattern discovery in management research. *Strategic Management Journal*, Vol. 42, Issue 1, 30–57. <https://doi.org/10.1002/smj.3215>
2. Graziano, M., Alexander, K.A., Liesch, M., Lema, E., Torres, J.A. (2019). Understanding an emerging economic discourse through regional analysis: Blue economy clusters in the US Great Lakes basin. *Applied Geography*, Vol. 105, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.02.013>

3. Gu, G., Wu, B., Zhang, W., Lu, R., Feng, X., Liao, W., Pang, C., Lu, C. (2023). Comparing machine learning methods for predicting land development intensity. *PLOS ONE*, Vol. 18, Issue 4, e0282476. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282476>
4. Hassan, M.M., Mirza, T. (2021). Using Time Series Forecasting for Analysis of GDP Growth in India. *International Journal of Education and Management Engineering*, Vol. 11, No. 3, 40–49. <https://doi.org/10.5815/ijeme.2021.03.05>
5. Maccarrone, G., Morelli, G., Spadaccini, S. (2021). GDP Forecasting: Machine Learning Linear or Autoregression? *Frontiers in Artificial Intelligence*, Vol. 4, 757864. <https://doi.org/10.3389/frai.2021.757864>
6. Tran, C.L.H., Phan, T.H., Thi-Ngoc-Diem, P., Nguyen, H.T. (2023). Gross Domestic Product Prediction in Various Countries with Classic Machine Learning Techniques. In: *Nature of Computation and Communication. Proceedings of 8th EAI International Conference, ICTCC 2022*. Vol. 473. Edited by C. V. Phan, T. D. Nguyen. Springer Cham, 136–147. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28790-9_9
7. Puttanapong, N., Prasertsoong, N., Peechapat, W. (2023). Predicting Provincial Gross Domestic Product Using Satellite Data and Machine Learning Methods: A Case Study of Thailand. *Asian Development Review*, Vol. 40, No. 2, 39–85. <https://doi.org/10.1142/S0116110523400024>
8. Martin, L.-C. (2019). Machine Learning vs. Traditional Forecasting Methods: An Application to South African GDP. *Stellenbosch Economic Working Papers*, No. WP12/2019. University of Stellenbosch, Department of Economics, 29 p. Available at: <https://www.ekon.sun.ac.za/wpapers/2019/wp122019>
9. Richardson, A., van Florenstein Mulder, T., Vehbi, T. (2021). Nowcasting GDP using machine-learning algorithms: A real-time assessment. *International Journal of Forecasting*, Vol. 37, Issue 2, 941–948. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.10.005>
10. Azarnova, T.V., Treshchevsky, Y.I., Papin, S.N. (2020). Prediction of parameters of socio-economic development of the region using standard neural networks (on the example of GRP of the Voronezh Region). *Modern Economy: Problems and Solutions*, Vol. 3, 8–25. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/meps.2020.3/2321>
11. Ivchenko, Yu.S. (2019). Determination of the main factors of the gross regional product level by econometric modeling methods for the totality of regions of the Russian Federation. *Statistics and Economics*, Vol. 16, No. 6, 4–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2019-6-4-18>
12. Barykin, S.E., Mikheev, A.A., Kiseleva, E.G., Putikhin, Y.E., Alekseeva, N.S., Mikhaylov, A. (2022). An Empirical Analysis of Russian Regions' Debt Sustainability. *Economies*, Vol. 10, Issue 5, 106. <https://doi.org/10.3390/economies10050106>
13. Lavrovsky, B.L., Shiltsin, E.A. (2016). Spatial Configuration of Gross Regional Product of Russian Regions: Estimation and Forecast. *R-Economy*, Vol. 2, No. 2, 205–215. <https://doi.org/10.15826/recon.2016.2.2.018>
14. Skufina, T., Baranov, S., Samarina, V., Shatalova, T. (2015). Production Functions in Identifying the Specifics of Producing Gross Regional Product of Russian Federation. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, Vol. 6, No. 5, 265. <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n5s3p265>
15. Prokapalo, O., Bardal, A., Isaev, A., Mazitova, M., Suslov, D. (2020). Economic Situation in the Far Eastern Federal District in 2019. *Spatial Economics*, No. 2, 142–184. (In Russ.). <https://doi.org/10.14530/se.2020.2.142-184>
16. Yoon, J. (2021). Forecasting of Real GDP Growth Using Machine Learning Models: Gradient Boosting and Random Forest Approach. *Computational Economics*, Vol. 57, 247–265. <https://doi.org/10.1007/s10614-020-10054-w>
17. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, Vol. 45, Issue 1, 5–32. <https://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>
18. Dudek, G. (2015). Short-Term Load Forecasting Using Random Forests. *Proceedings of the 7th IEEE International Conference Intelligent Systems IS'2014, Vol. 2: Tools, Architectures*,

Systems, Applications. Edited by D. Filev, J. Jabłkowski, J. Kacprzyk, M. Krawczak, I. Popchev, L. Rutkowski, V. Sgurev, E. Sotirova, P. Szynkarczyk, S. Zadrozny. Springer Cham, 821–828. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11310-4_71

19. Shrivastava, G., Karmakar, S., Kowar, M., Guhathakurta, P. (2012). Application of Artificial Neural Networks in Weather Forecasting: A Comprehensive Literature Review. *International Journal of Computer Applications*, Vol. 51, No. 18, 17–29. <https://doi.org/10.5120/8142-1867>
20. Zhang, G.P. (2003). Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*, Vol. 50, 159–175. [https://doi.org/10.1016/S0925-2312\(01\)00702-0](https://doi.org/10.1016/S0925-2312(01)00702-0)
21. Kontopoulou, V., Panagopoulos, A., Kakkos, I., Matsopoulos, G. (2023). A Review of ARIMA vs. Machine Learning Approaches for Time Series Forecasting in Data Driven Networks. *Future Internet*, Vol. 15, Issue 8, 255. <https://doi.org/10.3390/fi15080255>
22. Hamzaçebi, C. (2008). Improving artificial neural networks' performance in seasonal time series forecasting. *Information Sciences*, Vol. 178, Issue 23, 4550–4559. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.07.024>
23. Cools, M., Moons, E., Wets, G. (2009). Investigating the variability in daily traffic counts through use of ARIMAX and SARIMAX models: assessing the effect of holidays on two site locations. *Transportation Research Record*, Vol. 2136, Issue 1, 57–66. <https://doi.org/10.3141/2136-07>
24. Vu, D.H., Muttaqi, K.M., Agalgaonkar, A.P., Bouzerdoun, A. (2017). Short-term electricity demand forecasting using autoregressive based time varying model incorporating representative data adjustment. *Applied Energy*, Vol. 205, 790–801. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.135>
25. Wang, J.J., Wang, J.Z., Zhang, Z.G., Guo, S.P. (2012). Stock index forecasting based on a hybrid model. *Omega*, Vol. 40, Issue 6, 758–766. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.07.008>
26. Lydia, M., Kumar, S.S., Selvakumar, A.I., Kumar, G.E.P. (2016). Linear and non-linear autoregressive models for short-term wind speed forecasting. *Energy Conversion and Management*, Vol. 112, 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.007>
27. Joaquin, A.R., Javier, E.O. (2023). Skforecast. *Zenodo*, Version v0.10.1dev. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8382788>
28. Casdagli, M., Eubank, S., Farmer, J.D., Gibson, J. (1991). State space reconstruction in the presence of noise. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, Vol. 51, Issues 1–3, 52–98. [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(91\)90222-U](https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90222-U)
29. Cheng, H., Tan, P. N., Gao, J., Scripps, J. (2006). Multistep-ahead time series prediction. In: *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. Proceedings of 10th Pacific-Asia Conference*. Edited by W.-K. Ng, M. Kitsuregawa, J. Li, K. Chang. Springer Berlin, Heidelberg, 765–774. https://doi.org/10.1007/11731139_89
30. Hamzaçebi, C., Akay, D., Kutay, F. (2009). Comparison of direct and iterative artificial neural network forecast approaches in multi-periodic time series forecasting. *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, Issue 2, Part 2, 3839–3844. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.042>
31. Kline, D.M. (2004). Methods for multi-step time series forecasting neural networks. In: *Neural Networks in Business Forecasting*. Edited by G. Zhang. IGI Global, 226–250. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-176-6.ch012>
32. Sorjamaa, A., Hao, J., Reyhani, N., Ji, Y., Lendasse, A. (2007). Methodology for long-term prediction of time series. *Neurocomputing*, Vol. 70, Issues 16–18, 2861–2869. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2006.06.015>
33. Tiao, G.C., Tsay, R.S. (1994). Some advances in non-linear and adaptive modeling in time-series. *Journal of Forecasting*, Vol. 13, Issue 2, 109–131. <https://doi.org/10.1002/for.3980130206>
34. Bontempi, G., Ben Taieb, S., Le Borgne, Y.A. (2013). Machine Learning Strategies for Time Series Forecasting. In: *Business Intelligence. Second European Summer School, eBISS 2012. Lecture Notes in Business Information Processing*, Vol. 138. Edited by M.-A. Aufaure, E. Zimányi. Springer Berlin, Heidelberg, 62–77. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36318-4_3

35. Camastra, F., Filippone, M. (2009). A comparative evaluation of nonlinear dynamics methods for time series prediction. *Neural Computing and Applications*, Vol. 18, 1021–1029. <https://doi.org/10.1007/s00521-009-0266-y>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Daniel Musafiri Balungu

Assistant, Basic Department of Big Data Analytics and Video Analysis Methods, Institute of Radioelectronics and Information Technologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0009-0001-5098-7603> e-mail: danielbal03.db@gmail.com

Avinash Kumar

Assistant, Basic Department of Big Data Analytics and Video Analysis Methods, Institute of Radioelectronics and Information Technologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6929-1852> e-mail: avinash.kumar@urfu.ru

FOR CITATION

Balungu, D.M., Kumar, A. (2024). Forecasting The Economic Growth of Sverdlovsk Region: A Comparative Analysis of Machine Learning, Linear Regression and Autoregressive Models. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 674–695. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.027>

ARTICLE INFO

Received April 26, 2024; Revised June 22, 2024; Accepted June 27, 2024.

Прогнозирование экономического роста Свердловской области: сравнительный анализ машинного обучения, линейной регрессии и авторегрессионных моделей

Д. М. Балунгу  , А. Кумар 

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия
 danielbal03.db@gmail.com

Аннотация. Актуальность точного экономического прогнозирования невозможно переоценить в условиях сегодняшней быстро меняющейся мировой экономики. Лица, принимающие решения как в государственном, так и в частном секторах, в значительной степени полагаются на надежные прогнозы для принятия обоснованных решений о распределении ресурсов, инвестиционных стратегиях и разработке политики. В этом контексте становится все более очевидной важность использования передовых аналитических методов, таких как машинное обучение, для повышения точности экономических прогнозов. Целью данного исследования является изучение использования различных моделей прогнозирования при прогнозировании динамики ВРП Свердловской области в России с акцентом на потенциальные выгоды от интеграции методов машинного обучения. Основная гипотеза, лежащая в основе этого исследования, заключается в том, что модели машинного обучения могут превзойти традиционные авторегрессионные модели в прогнозировании экономического роста. Используя обширный набор данных, включающий годовые данные по ВРП и макроэкономические показатели с 2005 по 2022 г., процедура исследования включала всесторонний сравнительный анализ различных подходов к моделированию. Основные результаты данного исследования подчеркивают более высокую эффективность модели случайного леса в прогнозировании роста ВРП по сравнению с традиционной моделью SARIMAX. Эти результаты не только дают ценную информацию о предсказательной силе алгоритмов машинного обучения в экономическом прогнозировании, но и подчеркивают потенциальные преимущества внедрения передовых аналитических методов в процессы принятия решений. Демонстрируя превосходство моделей машинного обучения в прогнозировании экономических показателей, таких как ВРП, это исследование вносит свой вклад в растущий объем литературы по применению подходов, основанных на данных, в экономическом анализе. В конечном счете теоретическая и практическая значимость этих выводов заключается в том, что они могут повысить точность и надежность экономических прогнозов, тем самым позволяя принимать более обоснованные решения в быстро меняющемся экономическом ландшафте.

Ключевые слова: экономический рост; валовой региональный продукт; региональная экономика; машинное обучение; временные ряды.

Список использованных источников

1. Choudhury P., Allen R. T., Endres M. G. Machine learning for pattern discovery in management research // Strategic Management Journal. 2021. Vol. 42, Issue 1. Pp. 30–57. <https://doi.org/10.1002/smj.3215>

2. Graziano M., Alexander K. A., Liesch M., Lema E., Torres J. A. Understanding an emerging economic discourse through regional analysis: Blue economy clusters in the US Great Lakes basin // *Applied Geography*. 2019. Vol. 105. Pp. 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.02.013>
3. Gu G., Wu B., Zhang W., Lu R., Feng X., Liao W., Pang C., Lu C. Comparing machine learning methods for predicting land development intensity // *PLOS ONE*. 2023. Vol. 18, Issue 4. e0282476. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282476>
4. Hassan M. M., Mirza T. Using Time Series Forecasting for Analysis of GDP Growth in India // *International Journal of Education and Management Engineering*. 2021. Vol. 11, No. 3. Pp. 40–49. <https://doi.org/10.5815/ijeme.2021.03.05>
5. Maccarrone G., Morelli G., Spadaccini S. GDP Forecasting: Machine Learning Linear or Autoregression? // *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2021. Vol. 4. 757864. <https://doi.org/10.3389/frai.2021.757864>
6. Tran C. L.H., Phan T. H., Thi-Ngoc-Diem P., Nguyen H. T. Gross Domestic Product Prediction in Various Countries with Classic Machine Learning Techniques // *Nature of Computation and Communication. Proceedings of 8th EAI International Conference, ICTCC 2022*. Vol. 473 / edited by C. V. Phan, T. D. Nguyen. Springer Cham, 2023. Pp. 136–147. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28790-9_9
7. Puttanapong N., Prasertsoong N., Peechapat W. Predicting Provincial Gross Domestic Product Using Satellite Data and Machine Learning Methods: A Case Study of Thailand // *Asian Development Review*. 2023. Vol. 40, No. 2. Pp. 39–85. <https://doi.org/10.1142/S0116110523400024>
8. Martin L.-C. Machine Learning vs. Traditional Forecasting Methods: An Application to South African GDP // *Stellenbosch Economic Working Papers*. No. WP12/2019. University of Stellenbosch, Department of Economics, 2019. 29 p. URL: <https://www ekon.sun.ac.za/wpapers/2019/wp122019>
9. Richardson A., van Florenstein Mulder T., Vehbi T. Nowcasting GDP using machine-learning algorithms: A real-time assessment // *International Journal of Forecasting*. 2021. Vol. 37, Issue 2. Pp. 941–948. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.10.005>
10. Азарнова Т. В., Трещевский Ю. И., Панин С. Н. Прогнозирование параметров социально-экономического развития региона с использованием аппарата нейронных сетей (на примере ВПП Воронежской области) // *Современная экономика: проблемы и решения*. 2020. Т. 3. С. 8–25. <https://doi.org/10.17308/meps.2020.3/2321>
11. Ивченко Ю. С. Определение основных факторов уровня валового регионального продукта методами эконометрического моделирования по совокупности регионов Российской Федерации // *Статистика и экономика*. 2019. Т. 16, № 6. С. 4–18. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2019-6-4-18>
12. Barykin S. E., Mikheev A. A., Kiseleva E. G., Putikhin Y. E., Alekseeva N. S., Mikhaylov A. An Empirical Analysis of Russian Regions' Debt Sustainability // *Economies*. 2022. Vol. 10, Issue 5. 106. <https://doi.org/10.3390/economies10050106>
13. Lavrovsky B. L., Shiltsin E. A. Spatial Configuration of Gross Regional Product of Russian Regions: Estimation and Forecast // *R-Economy*. 2016. Vol. 2, No. 2. Pp. 205–215. <https://doi.org/10.15826/recon.2016.2.2.018>
14. Skufina T., Baranov S., Samarina V., Shatalova T. Production Functions in Identifying the Specifics of Producing Gross Regional Product of Russian Federation // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. Vol. 6, No. 5. 265. <https://doi.org/10.5901/mjss.2015.v6n5s3p265>
15. Прокапало О. М., Бардадь А. Б., Исаев А. Г., Мазитова М. Г., Суслов Д. В. Экономическая конъюнктура в Дальневосточном федеральном округе в 2019 г. // *Пространственная экономика*. 2020. № 2. С. 142–184. <https://doi.org/10.14530/se.2020.2.142-184>
16. Yoon J. Forecasting of Real GDP Growth Using Machine Learning Models: Gradient Boosting and Random Forest Approach // *Computational Economics*. 2021. Vol. 57. Pp. 247–265. <https://doi.org/10.1007/s10614-020-10054-w>

17. Breiman L. Random forests // Machine learning. 2001. Vol. 45, Issue 1. Pp. 5–32. <https://dx.doi.org/10.1023/A:1010933404324>
18. Dudek G. Short-Term Load Forecasting Using Random Forests // Proceedings of the 7th IEEE International Conference Intelligent Systems IS'2014, Vol. 2: Tools, Architectures, Systems, Applications / edited by D. Filev, J. Jablowski, J. Kacprzyk, M. Krawczak, I. Popchev, L. Rutkowski, V. Sgurev, E. Sotirova, P. Szykarczyk, S. Zadrozny. Springer Cham, 2015. Pp. 821–828. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11310-4_71
19. Shrivastava G., Karmakar S., Kowar M., Guhathakurta P. Application of Artificial Neural Networks in Weather Forecasting: A Comprehensive Literature Review // International Journal of Computer Applications. 2012. Vol. 51, No. 18. Pp. 17–29. <https://doi.org/10.5120/8142-1867>
20. Zhang G. P. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model // Neurocomputing. 2003. Vol. 50. Pp. 159–175. [https://doi.org/10.1016/S0925-2312\(01\)00702-0](https://doi.org/10.1016/S0925-2312(01)00702-0)
21. Kontopoulou V., Panagopoulos A., Kakkos I., Matsopoulos G. A Review of ARIMA vs. Machine Learning Approaches for Time Series Forecasting in Data Driven Networks // Future Internet. 2023. Vol. 15, Issue 8. 255. <https://doi.org/10.3390/fi15080255>
22. Hamzaçebi C. Improving artificial neural networks' performance in seasonal time series forecasting // Information Sciences. 2008. Vol. 178, Issue 23. Pp. 4550–4559. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.07.024>
23. Cools M., Moons E., Wets G. Investigating the variability in daily traffic counts through use of ARIMAX and SARIMAX models: assessing the effect of holidays on two site locations // Transportation Research Record. 2009. Vol. 2136, Issue 1. Pp. 57–66. <https://doi.org/10.3141/2136-07>
24. Vu D. H., Muttaqi K. M., Agalgaonkar A. P., Bouzerdoum A. Short-term electricity demand forecasting using autoregressive based time varying model incorporating representative data adjustment // Applied Energy. 2017. Vol. 205. Pp. 790–801. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.135>
25. Wang J. J., Wang J. Z., Zhang Z. G., Guo S. P. Stock index forecasting based on a hybrid model // Omega. 2012. Vol. 40, Issue 6. Pp. 758–766. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.07.008>
26. Lydia, M., Kumar, S.S., Selvakumar, A.I., Kumar, G.E.P. Linear and non-linear autoregressive models for short-term wind speed forecasting // Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 112. Pp. 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.007>
27. Joaquin A. R., Javier E. O. Skforecast // Zenodo. 2023. Version v0.10.1dev. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8382788>
28. Casdagli M., Eubank S., Farmer J. D., Gibson J. State space reconstruction in the presence of noise // Physica D: Nonlinear Phenomena. 1991. Vol. 51, Issues 1–3. Pp. 52–98. [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(91\)90222-U](https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90222-U)
29. Cheng H., Tan P. N., Gao J., Scripps J. Multistep-ahead time series prediction // Advances in Knowledge Discovery and Data Mining. Proceedings of 10th Pacific-Asia Conference / edited by W.-K. Ng, M. Kitsuregawa, J. Li, K. Chang. Springer Berlin, Heidelberg, 2006. Pp. 765–774. https://doi.org/10.1007/11731139_89
30. Hamzaçebi C., Akay D., Kutay F. Comparison of direct and iterative artificial neural network forecast approaches in multi-periodic time series forecasting // Expert Systems with Applications. 2009. Vol. 36, Issue 2, Part 2. Pp. 3839–3844. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.02.042>
31. Kline D. M. Methods for multi-step time series forecasting neural networks // Neural Networks in Business Forecasting / edited by G. Zhang. IGI Global, 2004. Pp. 226–250. <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-176-6.ch012>
32. Sorjamaa A., Hao J., Reyhani N., Ji, Y., Lendasse A. Methodology for long-term prediction of time series // Neurocomputing. 2007. Vol. 70, Issues 16–18. Pp. 2861–2869. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2006.06.015>

33. Tiao G. C., Tsay R. S. Some advances in non-linear and adaptive modelling in time-series // Journal of Forecasting. 1994. Vol. 13, Issue 2. Pp. 109–131. <https://doi.org/10.1002/for.3980130206>
34. Bontempi G., Ben Taieb S., Le Borgne Y. A. Machine Learning Strategies for Time Series Forecasting // Business Intelligence. Second European Summer School, eBISS 2012. Lecture Notes in Business Information Processing, Vol. 138. Edited by M.-A. Aufaure, E. Zimányi. Springer Berlin, Heidelberg, 2013. Pp. 62–77. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36318-4_3
35. Camastra F., Filippone M. A comparative evaluation of nonlinear dynamics methods for time series prediction // Neural Computing and Applications, 2009, Vol. 18, Pp. 1021–1029. <https://doi.org/10.1007/s00521-009-0266-y>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Балунгу Даниель Мусафири

Ассистент базовой кафедры аналитики больших данных и методов видеоанализа Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0009-0001-5098-7603> e-mail: danielbal03.db@gmail.com

Кумар Авинаш

Ассистент базовой кафедры аналитики больших данных и методов видеоанализа Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6929-1852> e-mail: avinash.kumar@urfu.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Балунгу Д. М., Кумар А. Прогнозирование экономического роста Свердловской области: сравнительный анализ машинного обучения, линейной регрессии и авторегрессионных моделей // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 674–695. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.027>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 26 апреля 2024 г.; дата поступления после рецензирования 22 июня 2024 г.; дата принятия к печати 27 июня 2024 г.



Комплексная эколого-экономическая оценка низкоуглеродных источников энергии

Д. Ю. Двинин , А. Ю. Даванков 

Челябинский государственный университет,
г. Челябинск, Россия

 dvinin1981@mail.ru

Аннотация. В статье приведены результаты исследования различных низкоуглеродных источников энергии на основе многокритериального анализа с целью комплексной эколого-экономической оценки эффективности их использования. Особенность исследования в анализе возобновляемых и традиционных источников энергии, использующих ископаемое топливо с применением инновационных технологий улавливания и хранения углекислого газа, а также ядерной энергетики. Цель исследования — проведение комплексной оценки на основе трех критериев: нормированной стоимости электроэнергии LCOE (Levelised Cost of Energy)/LEC (Levelized Energy Cost), удельной величины эмиссии углекислого газа и материальной интенсивности выраженной в суммарных MI-числах (Material Input). Гипотеза исследования — введение в комплексную оценку критерия материальной интенсивности в MI-числах позволит выявить низкоуглеродные источники энергии с наибольшим эколого-экономическим эффектом. Было установлено, что в 2023 г. мировые энергопотребности низкоуглеродной энергетики достигли 51,8 %, однако доля вырабатываемой ими энергии значительно ниже, составляет всего 39,4 %. Многокритериальный анализ позволил выявить низкоуглеродные источники энергии, которые при наименьших затратах обеспечивают наибольшее снижение эмиссии углекислого газа и одновременно снижают общее воздействие на окружающую среду благодаря уменьшению нарушенности биосферных материальных потоков. Высокой эколого-экономической эффективностью обладают ветряные электростанции, немного меньшей — солнечные источники энергии и биоэлектростанции. Геотермальные и гидроэлектростанции обладают низкой нормированной стоимостью электроэнергии, однако у них относительно высокие величины материальной интенсивности. Эколого-экономическая эффективность у ядерной энергетики выше, чем у газовых и угольных электростанций, использующих технологии улавливания углекислого газа, она занимает промежуточное положение между возобновляемыми и традиционными источниками энергии. Неожданным установленным фактом стало, что газовые и угольные электростанции с технологиями улавливания углекислого газа имеют одинаковую эколого-экономическую эффективность. Полученные результаты могут быть полезны при принятии решений о возможности приоритетного развития отдельных низкоуглеродных источников энергии.

Ключевые слова: низкоуглеродные источники энергии; нормированная стоимость электроэнергии; удельная эмиссия углекислого газа; материальная интенсивность; комплексная эколого-экономическая эффективность.

1. Введение

Развитие низкоуглеродных источников энергии в настоящее время признано ключевым условием для борьбы с климатическими изменениями и улучшения

в целом экологической ситуации. Их широкое применение в хозяйственной деятельности должно обеспечить успешное и долгосрочное эколого-экономическое развитие. В результате это позволит осу-

способствовать переходу к модели устойчивого развития, основные принципы которой были сформулированы на международных конференциях по вопросам охраны окружающей среды и устойчивого развития (1992, 2002, 2012), а также подтверждены 17 целями в области устойчивого развития, принятыми в 2015 г. Генеральной Ассамблеей ООН.

Многие страны мира начали реализовывать собственные стратегии перехода к низкоуглеродной энергетике, достигнув определенных результатов. Вопросы регулирования эмиссии углерода на международном уровне определяются Парижским соглашением в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (2015). Соглашением установлено: страны самостоятельно формируют национальные цели по снижению эмиссии парниковых газов и принимают необходимые меры для их достижения.

Saleh & Hassan [1] отмечают, что результатом их выполнения станет достижение «углеродной нейтральности» в течение XXI в., это должно привести к стабилизации природного углеродного цикла и климатической системы Земли. Для осуществления поставленных целей необходимо осуществить переход электроэнергетического комплекса на различные источники низкоуглеродной энергии.

Причем иногда исследователями упускается из вида, что указанных целей позволяют достичь не только возобновляемые источники энергии, но и традиционные, с использованием ископаемого топлива и основанные на применении новейших технологий по улавливанию и хранению углекислого газа. Данная ситуация обуславливает необходимость проведения некоторого дополнительного анализа источников низкоуглеродной энергии совершенно различных по своей природе.

При исследовании низкоуглеродных источников энергии также необходимо

учитывать, что общее негативное воздействие на окружающую среду обусловлено не только выбросами парниковых газов, но и вызвано изменением существующих биосферных материально-энергетических потоков, неизбежно возникающих в процессе хозяйственной деятельности. Как указано Dorninger et al. [2], использование значительных объемов природных ресурсов, изъятых из биосферы, их дальнейшее перемещение и переработка играют более существенную роль в формировании экологических проблем, чем исключительно выбросы загрязняющих веществ. Нарушение биосферных материально-энергетических потоков через извлечение природных ресурсов лишают существующие экосистемы важных функций, в результате они утрачивают способность поддерживать необходимые условия жизнедеятельности.

В 1990-х гг. Горшковым [3] была сформулирована концепция биотической регуляции. Согласно ее положениям, основным противоречием между хозяйством и природой является переключение экономикой на себя биосферных материально-энергетических потоков. Даже при выполнении условия, связанного с полным переходом к низкоуглеродной энергетике, если данные потоки сохраняют высокую материальную интенсивность, не прекратятся негативные процессы, ведущие к разрушению окружающей среды.

Поэтому для комплексной оценки эколого-экономических преимуществ низкоуглеродных источников энергии необходимо одновременно учитывать снижение эмиссии парниковых газов и уменьшение материальных потоков, возникающих в результате хозяйственной деятельности. Существующие методы оценки уделяют большее внимание выбросам в окружающую среду, в том числе парниковым газам, игнорируя материальные потоки.

Двинин и Даванков [4] установили, что оценка материальных потоков позволяет выявить прямую взаимосвязь между природной и экономической системами, поскольку природные ресурсы имеют рыночную стоимость, это позволяет более адекватно оценить эффективность различных низкоуглеродных источников энергии, в связи с чем вопросы, связанные с комплексным анализом низкоуглеродных источников энергии, становятся одним из основных факторов при оценке их конкурентоспособности.

Проблема заключается в том, что в настоящее время отсутствует комплексная оценка различных низкоуглеродных источников энергии, которая одновременно учитывает операционные затраты, необходимые для их работы, возможность снижения эмиссии парниковых газов и уменьшения материальных потоков в процессе эксплуатации. В результате отсутствуют обоснованные научные данные о перспективных низкоуглеродных источниках энергии, способных при наименьших затратах обеспечить наибольший эколого-экономический эффект. Для решения данной проблемы необходим особый методический инструментарий, который был разработан в результате проведенного исследования.

Цель исследования — проведение комплексной оценки различных по природе низкоуглеродных источников энергии на основе решения экономико-математической задачи выбора при многокритериальном анализе с использованием трех критериев: нормированной стоимости электроэнергии LCOE (Levelised Cost of Energy)/LEC (Levelized Energy Cost), удельной величины эмиссии углекислого газа и материальной интенсивности, выраженной в суммарных МІ-числах (Material Input).

Гипотеза исследования — введение в комплексную оценку низкоуглеродных источников энергии критерия материаль-

ной интенсивности, выраженного в МІ-числах, позволит выявить низкоуглеродные источники энергии с наибольшим эколого-экономическим эффектом.

Структура исследования. В разделе «Обзор литературы» представлен анализ теоретических и эмпирических исследований по вопросу оценки влияния низкоуглеродной энергетики на комплексное достижение целей устойчивого развития, реализация которых предполагает не только прекращение эмиссии углекислого газа, а также и уменьшение общего негативного влияния энергетики на окружающую среду при безусловном сохранении возможностей дальнейшего экономического развития. В разделе «Материалы и методы исследования» приведен разработанный методический инструментарий, основанный на решении экономико-математической задачи выбора при многокритериальном анализе, осуществлен обзор исследуемых низкоуглеродных источников энергии. В разделе «Полученные результаты» проанализирована и обобщена полученная информация о развитии низкоуглеродной энергетики в мире на 2023 г., выявлены низкоуглеродные источники энергии, развитие которых в настоящее время способно обеспечить наибольший эколого-экономический эффект. В разделе «Обсуждение результатов» приведено подтверждение гипотезы на основе верификации полученных результатов с исследованиями других авторов, определены ограничения исследования, приведены интересные данные, которые могут быть положены в основу дальнейших исследований. В разделе «Заключение» сделаны обобщающие выводы, определена теоретическая и практическая значимость представленной работы.

2. Обзор литературы

Guo [5] дает подробный обзор развития низкоуглеродной экономики в мире, рассматривает различных участников

и механизмы данного процесса в последние годы, непосредственно указывает, что низкоуглеродная экономика должна не только стабилизировать климатическую ситуацию, но и сформировать более устойчивую экономическую модель, решающую и иные природоохранные задачи.

Elizbarashvili et al. [6] исследуют сущность устойчивого развития и определение показателей, которые могли бы зафиксировать комплексное движение социо-эколого-экономических систем к его достижению. Отмечается трудность решения поставленной задачи, поскольку она отличается междисциплинарностью. Особое значение авторы придают наблюдениям за ландшафтами, их благополучное функционирование является индикатором сохранения биосферных материально-энергетических потоков.

Korhonen et al. [7] попытались систематизировать общие представления в рамках концепции циркулярной экономики. Проанализировав информацию, авторы пришли к выводу, что научно-исследовательское содержание концепции циркулярной экономики к настоящему времени поверхностно. Они выделили шесть проблем, которые должна решить циркулярная экономика, включая переход к низкоуглеродному развитию, указали на общую цель — устойчивое развитие, придя к заключению о необходимости дальнейших научных исследований в данном направлении.

Chen et al. [8] проанализировали успехи в области низкоуглеродного перехода экономики целым рядом стран и регионов. Опираясь на данные о первичном производстве и анализе уровня ночной освещенности, ими было установлено, что Франция и Великобритания с 2019 г. добились определенных успехов в низкоуглеродной трансформации собственных экономик.

Ali & Anufriev [9] проводят анализ существующей взаимосвязи между экономическим ростом и уровнем использования возобновляемых и традиционных источников энергии, использующих ископаемое топливо, в 16 развивающихся странах. Авторами выявлено, что переход на возобновляемые источники энергии безусловно способствует общему оздоровлению окружающей среды как в краткосрочном, так и долгосрочном периоде, и при этом обеспечивает устойчивый экономический рост.

Стародубец и др. [10] исследуют формирующийся международный механизм трансграничного углеродного регулирования, оценивает его возможное влияние на экономику Свердловской области. В статье указано, что, согласно Парижскому соглашению, установление объемов эмиссии углекислого газа, а также создание механизмов по достижению запланированных результатов является исключительной прерогативой самих стран. Одним из таких механизмов, стимулирующих переход к низкоуглеродным источникам энергии, является трансграничное углеродное регулирование.

В рассмотренных исследованиях авторами было выявлено, что низкоуглеродные источники энергии изначально должны решать комплексную задачу, не только стабилизировать цикл углерода. Это позволит остановить глобальные климатические изменения, обеспечить общее снижение негативного антропогенного воздействия на биосферу и создать более устойчивую модель экономического роста. Указанная проблема на основе национальных целей в настоящее время решается множеством стран, добившихся в области низкоуглеродного перехода определенных успехов.

Proskuryakova [11] анализирует вклад низкоуглеродной энергетики в стабилизацию планетарной климати-

ческой системы, предложив показатели для оценки их эколого-экономической эффективности: потребность в материалах для низкоуглеродных источников энергии (TMR), нормированную стоимость электроэнергии и эмиссию углекислого газа.

Следует отметить наблюдаемое здесь отличие показателя TMR (Total Material Requirement) «Общее материальное потребление» с предлагаемым авторами суммарными МП-числами. TMR позволяет отображать материальное потребление на уровне национальной экономики, дает общую информацию относительно ВВП (валового внутреннего продукта), однако с его помощью затруднительно провести эколого-экономическую оценку отдельных отраслей экономики, таких как низкоуглеродная энергетика, здесь более уместен показатель суммарных МП-чисел. Более подробно обоснование его использования приведено в разделе «Материалы и методы исследования».

Fan et al. [12] исследовали использование технологий улавливания и поглощения углекислого газа на угольных электростанциях Китая. Приводятся данные, что решающим фактором их применения практически всегда является нормированная стоимость электроэнергии, именно ее величина определяет успех либо не успех в практической деятельности.

Porfiriev & Shirov [13], используя методы экономико-математического моделирования с использованием нейросетей, сформировали прогноз эмиссии CO₂ российской энергетикой. При этом учитывалось, что достижение «углеродной нейтральности» может идти с помощью различных низкоуглеродных источников энергии, а их выбор в итоге будет влиять на прогнозируемые величины.

Мальцев & Султанов [14] показывают, что уровень использования природных ресурсов экономикой являет-

ся важнейшим фактором, отвечающим за общую социо-эколого-экономическую сбалансированность системы, его необходимо обязательно учитывать в дальнейших исследованиях.

Ковалева & Столпникова [15] делают вывод, что именно изменение скорости и общего направления природных процессов, материально-энергетических потоков биосферы в результате использования природных ресурсов в хозяйственной деятельности ведет к нарастанию неустойчивости природных экосистем.

Gorshkov & Makarieva [3] на основе теоретических и эмпирических данных утверждают о продолжительной стабильности существования биосферы благодаря сформировавшимся устойчивым материально-энергетическим потокам, они начали испытывать диспропорции лишь с начала эпохи промышленной революции, в особенности со времени активного использования ископаемых источников энергии.

Проблема комплексной оценки низкоуглеродных источников энергии в последние годы привлекает многие исследовательские группы. Часто комплексная оценка затрагивает отдельные сектора экономики.

Akimoto et al. [16] для достижения целей «углеродной нейтральности» транспортного сектора оценили возможность использования не только электричества, но и водорода, синтетических видов топлива, биоэнергии, а также технологий удаления углекислого газа при использовании нефтяного топлива. Основной их вывод: для изучения перспективных стратегий достижения «углеродной нейтральности» обязательно требуется всесторонний анализ, который, кроме сокращения углекислого газа, должен дополнительно учитывать возможности энергосбережения и дальнейшего развития автомобилестроения.

Wu [17] рассматривает проблематику для сферы услуг, связанной с гостиницами. Он делает вывод о необходимости при сооружении отелей учитывать возможность сокращения углекислого газа, а также сокращение потребления энергии и уменьшение общих выбросов в окружающую среду. Кроме того, экологические выгоды должны соотноситься с экономической оценкой затрат и выгод, выраженной чистой приведенной стоимостью услуг.

Saraji & Streimikiene [18] показывают, что переход на низкоуглеродные источники энергии в европейских странах в 2013–2023 гг. вызвал множество разноплановых проблем, возможность решения которых необходимо учитывать ответственным лицам. При внедрении таких источников нужно комплексно учитывать снижение эмиссии парниковых газов, стоимость вырабатываемой энергии и общие вопросы природопользования. Авторы отобрали существующие взаимосвязи установленных проблем, далее провели их анализ.

Следует отметить, что существуют исследования, которые можно отнести к тематическим, поскольку они затрагивают тот или иной сектор экономики, как, например, транспорт у Akimoto et al. [16], гостиничный сектор у Wu [17], или направлены на исследования проблем низкоуглеродного перехода энергетики отдельных стран и регионов, как у Saraji & Streimikiene [18]. В них указывается необходимость более комплексного анализа всех существующих эколого-экономических факторов, однако предлагаемые решения по практическому осуществлению остаются узконаправленными, применимыми для конкретного сектора экономики, либо региональной ситуации.

Проведенный обзор позволяет сделать вывод, что в современных исследованиях указывается необходимость ком-

плексной эколого-экономической оценки низкоуглеродной энергетики. Для ее проведения предлагается использовать критерий нормированной стоимости электроэнергии, причем Filimonova et al. [19] указывают на необходимость адаптации этого критерия к низкоуглеродным источникам энергии.

Для более полной оценки воздействия на окружающую среду предлагается учитывать потребление ими материальных ресурсов при сооружении и эксплуатации (Saurat & Ritthoff [21]), не забывая основную цель перехода к низкоуглеродной энергетике — достижение «углеродной нейтральности».

3. Материалы и методы

3.1. Методика комплексной эколого-экономической оценки низкоуглеродных источников энергии

Разработанный методический инструментарий основан на решении экономико-математической задачи выбора при многокритериальном анализе. Его особенность — применимость для низкоуглеродных источников энергии различной природы и комплексное использование следующих критериев: нормированная стоимость электроэнергии LCOE/LEC (долл./кВт·ч), удельная эмиссия углекислого газа (кг/кВт·ч), суммарные МП-числа (кг/кВт·ч).

Нормированная стоимость электроэнергии — широко используемый в мировой практике критерий, позволяющий осуществлять сравнительный анализ экономической эффективности производства электроэнергии (см. Sklar-Chik et al. [20]).

Он представляет величину расчетной себестоимости производства электроэнергии на протяжении всего жизненного цикла исследуемой электростанции. В нашем исследовании этот критерий был несколько модифи-

цирован за счет включения в расчетную формулу необходимых затрат на внедрение технологий улавливания и хранения углекислого газа, что необходимо для дальнейшего анализа традиционных низкоуглеродных источников энергии, использующих ископаемое топливо:

$$\frac{LCOE}{LEC_{\text{низкоугл.}}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + I_{y_t} + O_t + O_{y_t} + T_t + T_{y_t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

где $LCOE/LEC_{\text{низкоугл.}}$ — нормированная стоимость электроэнергии при использовании технологий по улавливанию и хранению углекислого газа; I_t — инвестиционные затраты на производство электроэнергии (ежегодные); I_{y_t} — инвестиционные затраты на улавливание углекислого газа (ежегодные); O_t — операционные затраты на производство электроэнергии (ежегодные); O_{y_t} — операционные затраты на улавливание углекислого газа (ежегодные); T_t — затраты на топливо (ежегодные); T_{y_t} — энергетические затраты на улавливание углекислого газа (ежегодные); E_t — объем производства электроэнергии; r — ставка дисконтирования; n — жизненный цикл электростанции.

Оценка углеродной эффективности осуществлялась на основе данных Межправительственной группы экспертов по изменению климата, а также применялись собственные исследования авторов, осуществленные для низкоуглеродной энергетики [4].

Методологический подход заключается в объединении информации об экономической деятельности, связанной с эмиссией углекислого газа, с коэффициентами, определяющими объемы выбросов на единицу продукции или услуги. Установленные коэффициенты

выбросов зависят от величины содержания в топливе углерода, а также от особенностей используемых технологий при его сжигании. Формула для расчета имеет следующий вид:

$$S = B_t k_f, \quad (2)$$

где S — объем эмиссии углекислого газа; B_t — объем углеродосодержащего топлива использованного при данной технологии производства электроэнергии; k_f — установленный коэффициент эмиссии углекислого газа для данного вида топлива.

Материальная интенсивность низкоуглеродных источников энергии определялась с помощью суммарных МП-чисел. Их расчет базируется на «Методологии затрат материалов на единицу услуги или полезного использования» (MIPS) [21]. Указанная методология была создана Вуппертальским институтом климата и окружающей среды (Германия) и дает возможность выявить входящий материальный поток на единицу производимого продукта либо услуги.

Материальная интенсивность рассчитывалась для различных по природе низкоуглеродных источников энергии в величинах килограмм на киловатт в час (кг/кВт·ч). МП-числа, предложенные Вуппертальским институтом климата и окружающей среды, используют несколько категорий материальных потоков: абиотические природные ресурсы, биологические ресурсы, почвенные ресурсы, атмосферный воздух, вода.

Подобная категоризация имеет смысл при оценке отдельных производств, однако избыточна при анализе отдельных отраслей экономики. Поэтому для оценки материальных потоков низкоуглеродной энергетики использовался авторский показатель суммарных МП-чисел, основанный на модификации оригинальной методики, где было

осуществлено объединение всех материальных входов в единую величину. В дальнейшем это позволило соотнести материальную интенсивность с общим негативным влиянием на экосистемы и таким образом более комплексно оценить эколого-экономическое влияние низкоуглеродных источников энергии.

На основе трех приведенных критериев был сформирован методический инструментарий для комплексной оценки эколого-экономической эффективности низкоуглеродных источников энергии. Данный инструментарий основан на решении экономико-математической задачи выбора для различных низкоуглеродных источников энергии при многокритериальном анализе.

Ключевая его особенность в возможности применения одновременно для возобновляемых и традиционных источников энергии, использующих технологии улавливания и хранения углекислого газа. Это дало возможность выявить источники низкоуглеродной энергии, обладающие наибольшим эколого-экономическим эффектом, развитие которых позволит получить наибольший экологический эффект с наименьшими экономическими затратами.

3.2. Описание исследуемых низкоуглеродных источников энергии

В процессе исследования были рассмотрены следующие источники низкоуглеродной энергии: солнечные электростанции (СЭС), ветряные электростанции (ВЭС), гидроэлектростанции (ГЭС), энергоустановки, работающие на биотопливе, геотермальные электростанции (ГеоТЭС), атомные электростанции (АЭС), газовые электростанции с технологиями улавливания CO₂, угольные электростанции с технологиями улавливания CO₂.

3.2.1. Солнечные электростанции

Солнечные электростанции — энергетические системы, основанные на преобразовании солнечной энергии посредством фотоэлектрических модулей либо параболических концентраторов. Согласно данным международного энергетического агентства (МЭА), суммарная энергетическая мощность солнечных электростанций достигла в 2023 г. величины 1,42 ТВт, что является 16,6 % от общей мощности всех энергоустановок мира, составляющей на данный момент времени 8,51 ТВт¹.

Muniyandy & Dilli Babu [22] отмечают, что особенность функционирования солнечных энергоустановок, их зависимость от региона расположения и уровня инсоляции практически никогда не позволяет использовать установленную мощность в полной мере. Поэтому объем выработанной электроэнергии составил 1,42 трлн кВт·ч, достигая лишь 5,03 % от общего объема произведенной электроэнергии в мире, которая имеет величину в 28,23 трлн кВт·ч.

Следует отметить, что солнечная энергетика в последние годы испытывает очень быстрый рост. Только в период 2022–2023 гг. прирост установленной мощности составил 32 %, с 1,07 ТВт до 1,42 ТВт. В значительной степени ситуация объясняется быстрым уменьшением ее себестоимости благодаря внедрению технических инноваций, за последнее десятилетие она сократилась на 89 %, больше чем у каких-либо иных источников энергии. На данный момент времени усредненная величина ее нормированной стоимости электроэнергии составляет 0,058 долл./кВт·ч².

¹ EES EEAEC. World energy. Statistics. <https://www.eeseaec.org/energeticeskaa-statistika>

² Lazard's Levelized Cost of Energy (LCOE) analysis. Paris, France. <https://www.lazard.com/research-insights/levelized-cost-of-energyplus/>

Показатели материальной интенсивности солнечных энергетических установок, выраженные в МІ-числах, были выявлены Вуппертальским институтом климата и окружающей среды (Германия) [23]. Они преимущественно связаны с производством необходимых компонентов и эксплуатацией оборудования. Суммарное МІ-число СЭС, отражающее общую материальную интенсивность, — 5,051 кг/кВт·ч¹.

3.2.2. Ветряные электростанции

Ветряные электростанции — обычно одна или несколько установок, объединенных в единую сеть для производства электроэнергии. Huang et al. [24] приводят их подробный обзор. В зависимости от условий размещения ветроэлектростанции могут быть наземными, прибрежными или шельфовыми. В 2023 г. их мощность в мире достигла 1,02 ТВт, что составляет 11,9 % от суммарной мировой энергомощности.

Vivchar & Sigitov [25] указывают, что ветроэлектростанции испытывают схожие проблемы с солнечными электростанциями в плане постоянной и стабильной работы. Использование всей энергомощности будет определяться природными условиями размещения. Другой важный момент — мощные ветряные энергоустановки получили чуть более раннее распространение, в сравнении с крупными солнечными электростанциями.

В настоящее время объем выработки ими электроэнергии составляет 1,97 трлн кВт·ч, достигая 6,97 % от мирового производства электроэнергии. Ее рост в последние годы несколько меньше, чем у солнечных установок, хотя и составляет значительную величину,

в 2022–2023 гг. он был равен 12,8 %. По всей видимости, ситуация объясняется меньшим падением себестоимости в последнее десятилетие в сравнении с солнечной энергией, она сократилась на 70 %, в отличие от 89 % у солнечной энергии.

Необходимо особо отметить, что показатель нормированной стоимости ветряной энергетики до настоящего времени лучше, чем у солнечной, составляет величину в 0,036 долл./кВт·ч. Материальная интенсивность, связанная с производством и эксплуатацией ветроустановок, также лучше, чем у солнечных источников энергии, на их производство затрачивается меньше водных ресурсов, в связи с чем суммарное МІ-число ВЭС — 0,938 долл./кВт·ч.

3.2.3. Гидроэлектростанции

Гидроэлектростанции используют энергию движения водных масс преимущественно на реках и к настоящему времени являются вполне традиционным энергоисточником. Гидроэлектростанции традиционно подразделяют на малые и большие, поскольку такая классификация существенно влияет на особенность их функционирования.

К малым ГЭС, согласно СНиПу², относят объекты, имеющие мощность менее 30 МВт. В 2023 г. общая энергомощность гидроэнергетики составила 1,41 ТВт, ее доля — 16,5 % от мирового энергобаланса. Bayazit [26] замечает, что условия ее работы в большинстве случаев гораздо более стабильны, чем у ветряных и солнечных источников энергии. Поэтому объем произведенной энергии от мировой доли составляет 15,3 %, ежегодно достигая 4,32 трлн кВт·ч.

Значительная часть крупных рек, расположенных в удобных географиче-

¹ Material intensity of materials, fuels, transport services, food. Wuppertal Institute. Germany. <https://wupperinst.org/en/topics/resources/calculating-resources>

² СНиП 2.06.01–86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования». Введ. 1987-07-01. М. : ЦИТП, 1987. 65 с.

ских условиях, уже имеет на своих руслах плотины, а расположение их на других территориях требует значительных капитальных затрат, как указывает Berga [27]. Исходя из этого, прирост энерго мощностей гидроэнергетики в последние годы относительно небольшой, в основном он происходит за счет развития малой гидроэнергетики. В 2022–2023 гг. его величина составила скромные 0,86 %. Одним из достоинств гидроэнергетики является низкая величина нормированной стоимости — 0,047 долл./кВт·ч.¹ Она, несмотря на высокие капитальные затраты, в дальнейшем достигается низкими затратами на операционную деятельность.

Следует заметить, в отличие от солнечной и ветряной энергии, себестоимость гидроэнергии выросла за последнее десятилетие на 27 %. Такой рост обусловлен возросшими затратами строительства, что в свою очередь объясняется размещением новых проектов во все более сложных местах. Материальная интенсивность гидроэлектростанций установлена на основе собственных более ранних исследований [28]. В результате было выявлено, она достигает средней величины 10964,8 кг/кВт·ч. Высокие значения объясняются существенным расходом ресурсов при сооружении капитальных гидроэнергетических объектов, а также очень значительным воздействием на гидроресурсы в регионе.

3.2.4. Биоэнергетика

Биоэнергетика — установки, использующие биомассу при выработке электроэнергии (БиоЭС). При ее функционировании, в отличие от указанных выше возобновляемых энергоисточников, существует некоторая эмиссия CO₂ — 0,37 кг/кВт·ч [4]. Величины эмиссии

меньше, чем у традиционных источников энергии, использующих ископаемые ресурсы, поэтому энергоустановки, работающие на биотопливе, принято относить к низкоуглеродным источникам энергии, как указано в публикации Сорокина [29].

Несмотря на прогнозы десятилетней давности о быстром развитии биоэнергетики, из-за ряда причин, прежде всего связанных с необходимостью перевода сельскохозяйственных угодий с производства продуктов питания на производство топлива, к настоящему времени биоэнергетика широкого распространения не получила.

Существует перспективная возможность развития биоэнергетики в рамках циркулярной экономики, где она может получить гораздо большее распространение в рамках утилизации биогаза, о чем говорится в исследовании Магарил и др. [30]. Ее совокупная мировая энерго мощност в 2023 г. — 150,26 ГВт, это всего 1,76 % в мировом энергобалансе. Благодаря возможности стабильной круглогодичной работы величина выработки от мирового производства электроэнергии значительно выше — 3,88 %.

Нормированная стоимость электроэнергии у биоустановок является относительно небольшой, Ramesh et al. [31] оценили ее величину в 0,043 долл./кВт·ч. Себестоимость электроэнергии за прошедшее десятилетие уменьшилась на 17,6 %, что значительно меньше, чем у солнечной и ветровой энергии [32]. Удельная материальная интенсивность БиоЭС в суммарных MI-числах близка к солнечной энергетике — 4,99 кг/кВт·ч, также была установлена на основе собственных более ранних исследований [4].

3.2.5. Геотермальные электростанции

Геотермальные электростанции вырабатывают электрическую энергию на основе использования тепло-

¹ EIA. Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2022. https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf

вой энергии из подземных источников. Kabeyi [33] дает подробный обзор данному источнику энергии и особо отмечает, что в настоящее время он имеет ограниченную область применения на территориях высокой геологической активности. Исходя из указанных особенностей, суммарная мощность на 2023 г. была небольшой — 14,84 ГВт, составляя всего 0,17 % от мировой энергомощности, прирост в 2022–2023 гг. был лишь на 1,44 %. Благодаря возможностям стабильной ежедневной работы доля в мировом производстве электроэнергии имеет несколько большую величину — 0,39 %, производя ежегодно 67 млрд кВт·ч.

Геотермальные электростанции имеют относительно высокую удельную величину материальной интенсивности в суммарных МІ-числах — 44,61 кг/кВт·ч. Такая величина, как и у гидроэлектростанций, объясняется высокими материальными затратами при строительстве капитальных объектов и расходом воды в процессе эксплуатации. Указанная ситуация обуславливает величину нормированной стоимости электроэнергии несколько выше, чем у других возобновляемых источников энергии, — 0,084 долл./кВт·ч. Относительно гидроэнергетики при схожих режимах работы она выше практически в два раза.

Laveet et al. [34] делают заключение, что гидроэлектростанции, как правило, при высоких капитальных затратах имеют значительно большую суммарную мощность и жизненный цикл проекта. Себестоимость геотермальной энергии в последнее десятилетие оставалась стабильной, сократившись на небольшую величину в 6,5 %.

3.2.6. Ядерная энергетика

Ядерная энергетика основана на использовании энергии расщепления атомных ядер в активной зоне реакто-

ров атомных электростанций. В 2023 г. в мире функционировало 440 ядерных реакторов, обладающих мощностью в 396,27 ГВт¹. Величина составляет 4,65 % от мировых энергомощностей.

Vossard [35], оценивая преимущество атомных реакторов, выделяет стабильный ежедневный и круглогодичный режим работы, в связи с чем доля атомной энергетики в общей выработке электроэнергии существенно выше — 2,66 трлн кВт·ч, достигая 9,4 % от мирового производства. В 2022–2023 гг. произошел некоторый прирост энергомощностей, однако он был небольшим и составил 0,57 %. По всей видимости, ситуация объясняется тем, что себестоимость ядерной энергии за последнее десятилетие выросла на 26 %, ее показатель нормированной стоимости электроэнергии составляет 0,155 долл./кВт·ч. Это существенно отличает ее от большинства других источников низкоуглеродной энергии, где, наоборот, отмечалось значительное уменьшение себестоимости.

Основная причина роста себестоимости ядерной энергетики — значительно возросшие требования к экологической безопасности, которые стали предъявлять к строящимся объектам после аварии на АЭС «Фукусима-1» в 2011 г. Указанные меры потребовали увеличения капитальных затрат, что в долгосрочной перспективе сказывается на конкурентоспособности ядерной энергетики относительно других источников низкоуглеродной энергии, о чем делается вывод в работе Krumins & Klavins [36].

Высокая капиталоемкость объектов ядерной энергетики, перемещение огромных масс вещества при добыче, использовании и утилизации ядерного то-

¹ World Nuclear Association. <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today>

плива обуславливают высокую величину удельного материального потребления. В суммарных МП-числах она составляет 79,815 кг/кВт·ч¹.

Sfez et al. [37] объясняют данную ситуацию тем, что ядерная энергетика обладает очень высокой водоемкостью так же, как и гидро- и геотермальные источники энергии. Важная особенность ядерной энергетики при ее деятельности, как и при работе возобновляемых источников энергии, наблюдается полное отсутствие эмиссии углекислого газа.

3.2.7. Угольные и газовые тепловые электростанции

Угольные и газовые тепловые электростанции (ТЭС), использующие современные технологии улавливания углерода (Carbon capture, use, and storage (CCUS)), основаны на сжигании традиционного ископаемого топлива, однако с применением инновационных технологий по нейтрализации углекислого газа. Технологии начали практически использоваться лишь в последние годы [38], и к настоящему времени установленная мощность таких энергообъектов крайне невелика — 3 ГВт угольные и 0,7 ГВт газовые электростанции². Это всего 0,043 % от мировых энерго мощностей.

Общее производство электроэнергии пока также невелико и составляет 14 млрд кВт·ч (угольные ТЭС) и 4 млрд кВт·ч (газовые ТЭС), 0,064 % от мировой выработки. Международное энергетическое агентство прогнозирует их существенный рост в будущем, к 2035 г. суммарная мощность может достичь 1,23 ТВт, составив 14,5 % от мировой

доли энергоустановок, т. е. прирост более чем в 332 раза³.

Особо большое значение технологии улавливания углекислого газа могут иметь в реализации стратегий перехода к «углеродной нейтральности» для ряда экономик, где в энергетике сейчас доминирует природный газ и уголь, в России (47,7 % природный газ) и Китае (60,7 % уголь).

Pelissari et al. [39] делают вывод, что в настоящее время технологические способы улавливания CO₂ позволяют достигать эффективности более 90 %, однако процесс неизбежно сказывается на себестоимости производимой электроэнергии. Усредненные цифры для современных электростанций с подобными технологиями позволили выявить, что остаточная эмиссия для газовых электростанций составляет 0,049 кгCO₂/кВт·ч, для угольных электростанций — 0,082 кгCO₂/кВт·ч.

Нормированная стоимость электроэнергетики у подобных электростанций довольно высокая, у газовых — 0,137 долл./кВт·ч, угольных — 0,087 долл./кВт·ч. Может показаться неожиданным, что у газовых величина оказалась существенно выше. Причина такого явления в том, что технологии по улавливанию углекислого газа на угольных электростанциях начали разрабатываться раньше и отработаны гораздо лучше, в будущем возможно изменение ситуации [40].

За прошедшее десятилетие в газовой и угольной энергетике, использующей технологии улавливания углекислого газа, произошло небольшое сокращение себестоимости на 33 и 2 %, соответственно. Удельная материальная интенсивность, выраженная в суммарных МП-числах для данных электростанций, схожа, в основном связана с исполь-

¹ <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/59294/1/485276682.pdf>

² IEA. The role of CCUS in low-carbon power systems. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-ccus-in-low-carbon-power-systems/how-carbon-capture-technologies-support-the-power-transition>

³ IEA. It is time for CCUS to deliver. <https://www.iea.org/commentaries/it-is-time-for-ccus-to-deliver>

зованием водных ресурсов и составляет следующие величины: газовые электростанции — 80,657 кг/кВт·ч, угольные — 81,88 кг/кВт·ч.

4. Результаты

Таким образом, в 2023 г. доля мировых энерго мощностей, относящихся к низкоуглеродным, стала преобладать, достигнув величины в 4,41 ТВт, составив в общемировой структуре 51,8 %, представлено на рис. 1.

Однако доминирование среди них возобновляемых источников энергии, до настоящего времени сильно зависящих от особенностей технологий и природных условий, привело к тому, что существующие энерго мощности зачастую не могут использоваться в полной мере. Поэтому объем производства электроэнергии составил 11,12 трлн кВт·ч, в общемировой структуре составляя лишь 39,4 %, представлено на рис. 2.

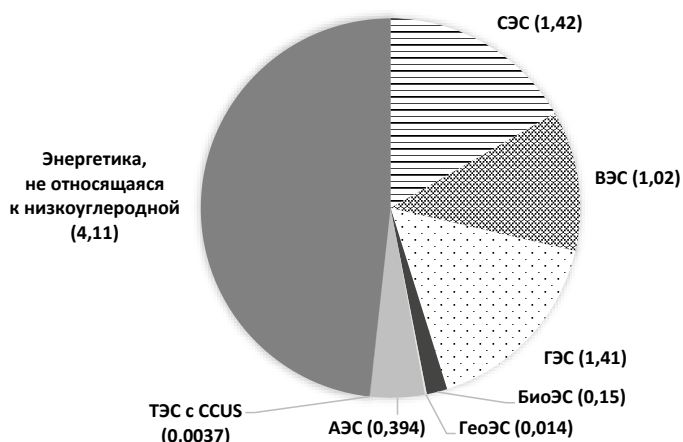


Рис. 1. Мировые энерго мощности низкоуглеродных источников энергии, ТВт

Figure 1. World energy capacity of low-carbon energy sources, TW

Источник: составлено авторами.

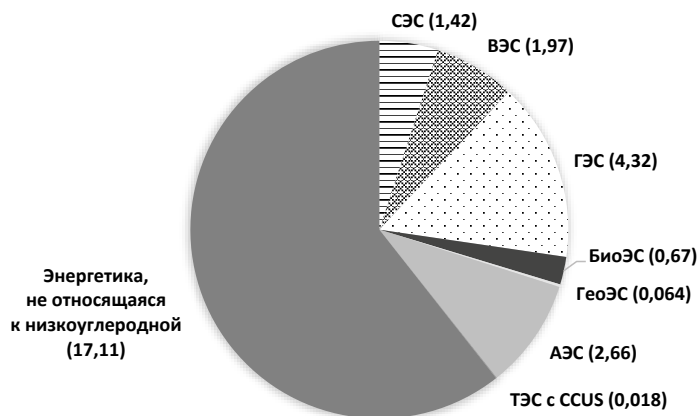


Рис. 2. Мировое производство электроэнергии низкоуглеродными источниками энергии, трлн кВт·ч

Figure 2. World electricity production from low-carbon energy sources, trillion kWh

Источник: составлено авторами.

На основе собранной информации была сформирована табл. 1 с целью проведения многокритериального анализа.

Поскольку приведенные параметры обладают различной размерностью, изначально они были приведены к безразмерному виду. Для этой цели параметры проранжированы, ранжирование осуществлялось по шкале от 1 до 8, где 8 определено как наиболее предпочтительная величина.

Итоговый показатель для различных источников низкоуглеродной энергии определен как сумма балльных оценок всех показателей по следующей формуле:

$$R_i = \sum_{i=1}^n E_i S_i, \tag{3}$$

где R_i — итоговый показатель для i -го источника низкоуглеродной энергии; E_i — балльная оценка для i -го параметра;

S_i — уровень значимости i -го параметра; n — количество параметров.

При этом балльная оценка E_i определена по формуле:

$$E_i = \frac{P_i}{P_M}, \tag{4}$$

где P_i — значение i -го параметра для конкретного источника низкоуглеродной энергии; P_M — максимально возможное значение i -го параметра. Полученные результаты представлены на рис. 3.

Проведенный многокритериальный анализ позволил выявить, что наиболее высокой итоговой оценкой по всем трем оцениваемым параметрам (LCOE/LEC, долл./кВт·ч; удельной величины эмиссии CO₂, кг/кВт·ч; суммарных МП-чисел, кг/кВт·ч) обладают ветряные электростанции, они получили максимально возможный балл по всем параметрам.

Таблица 1. Эколого-экономические параметры, характеризующие низкоуглеродные источники энергии

Table 1. Ecological and economic parameters characterizing low-carbon energy sources

Тип низкоуглеродного источника энергии	LCOE/LCE, долл./ кВт·ч	Суммарное МП-число, кг/кВт·ч	Удельная эмиссия углекислого газа, кг/кВт·ч
Ветряные электростанции	0,036	0,938	0
Солнечные электростанции	0,058	5,051	0
Гидроэлектростанции	0,047	10964,8	0
Биоэнергетика	0,043	4,99	0,37
Атомные электростанции	0,155	79,815	0
Геотермальные электростанции	0,084	44,609	0
Газовые электростанции с технологиями улавливания CO ₂	0,137	80,657	0,049
Угольные электростанции с технологиями улавливания CO ₂	0,083	81,88	0,082

Источник: составлено авторами.

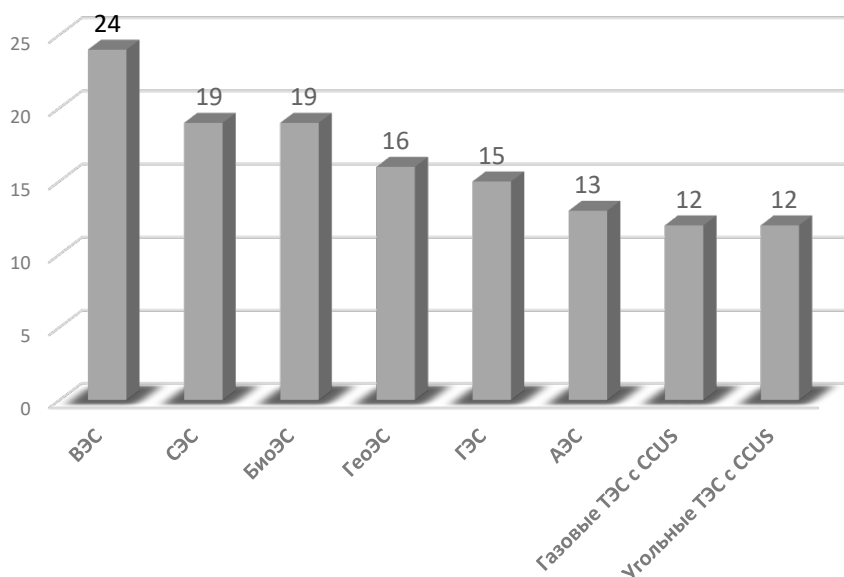


Рис. 3. Комплексная эколого-экономическая оценка низкоуглеродных источников энергии, в баллах

Figure 3. Comprehensive environmental and economic assessment of low-carbon energy sources, in points

Источник: составлено авторами.

Солнечная и биоэнергетика набрали одинаковую величину в 19 баллов и разделили второе место. Третье и четвертое место заняли геотермальные и гидроэлектростанции, получив по 16 и 15 баллов, соответственно.

Атомные электростанции в комплексной эколого-экономической оценке немного опередили газовые и угольные с технологиями улавливания углекислого газа, по всей видимости, результат связан с полным отсутствием его эмиссии в процессе деятельности. Однако серьезным фактором, сказывающимся на их итоговой оценке, является высокая величина нормированной стоимости электроэнергии, возросшая за последние годы.

Некоторым неожиданным выявленным фактом следует считать, что газовые и угольные электростанции, использующие технологии улавливания углекислого газа, получили одинаковые балльные оценки, разделив совместно шестое место.

5. Обсуждение результатов

Исследование позволило определить низкоуглеродные источники энергии, обладающие в настоящее время наибольшей эколого-экономической эффективностью, наивысшую оценку в 24 балла по всем трем оцениваемым критериям получила ветряная энергетика, солнечная энергетика получила всего лишь 19 баллов, что может показаться неожиданным.

Torres & Petrakopoulou [41] при сравнении солнечных энергоустановок с ветряными на основе комплексного анализа жизненного цикла было установлено, что ветроустановки всегда являются более экологическими эффективными. Использование редких материалов при строительстве некоторых фотоэлектрических систем делает их более эффективными только относительно угольных электростанций.

Xie [42] приводит комплексный анализ воздействия на климатическую си-

стему тепловых, ветряных и гидроэлектростанций. Общий вывод, сделанный в работе аналогичный: ветряная энергетика получила наивысшую оценку, гидроэнергетика значительно отстает по эффективности, а тепловая энергетика наиболее проблематична.

Таким образом, наши результаты в целом согласуются с данными от других исследовательских групп, использовавших иные методики работы. Можно считать подтвержденной нашу гипотезу, введение в комплексную оценку критерия материальной интенсивности в МП-числах позволяет адекватно оценивать общее негативное воздействие на окружающую среду, а значит, и выявлять низкоуглеродные источники энергии с наибольшим эколого-экономическим эффектом.

Ограниченность проведенного исследования заключается в актуальности полученных результатов для некоторого конкретного периода времени, поскольку дальнейшие технологические инновации способны изменить любой из трех критериев, в итоге эколого-экономическая эффективность анализируемых низкоуглеродных источников энергии неизбежно изменится.

Другой важный момент: если критерии нормированной стоимости электроэнергии и удельной эмиссии углекислого газа в настоящий момент собираются и анализируются многими организациями, данные о материальной интенсивности представлены пока у отдельных исследовательских групп, по мере дальнейших исследований они могут корректироваться.

В рамках обсуждения полученных результатов следует особо отметить, что в настоящее время при изучении эколого-экономической эффективности низкоуглеродных источников энергии к ним следует относить не только возобновляемые источники, но и использу-

ющие ископаемое углеродосодержащее топливо с технологиями по улавливанию углекислого газа. Инновационные установки по консервации углерода, применяемые некоторыми электростанциями, работающими на угольном и газовом топливе, позволяют снизить эмиссию в выбросах углекислого газа более чем на 90 %.

Однако подобные технологии являются достаточно энергозатратными, в итоге указанная ситуация приводит к увеличению нормированной стоимости электроэнергии, делая такие энергетические источники менее конкурентоспособными. Увеличение усилий и средств, направляемых в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), по совершенствованию данных технологий способно несколько исправить данную ситуацию, что имеет огромное значение для российской энергетики с преобладающим газовым топливом в энергобалансе.

В последнее десятилетие нормированная стоимость электроэнергии газовых и угольных электростанций с технологиями улавливания углекислого газа снизилась на небольшую величину (2 и 33 % соответственно) относительно ветровой и солнечной энергии (70 и 89 %). Ситуация, видимо, объясняется колоссальными вложениями в мире в исследования по технологическому удешевлению возобновляемых источников энергии, в то время как вложения в НИОКР по изучению возможностей превращения традиционных источников энергии в низкоуглеродные были существенно меньше, в особенности в установки, работающие на газовом топливе.

При их существенном росте можно спрогнозировать значительное увеличение экономической эффективности данных источников энергии, что содер-жится и в прогнозе международного

энергетического агентства, их технологический потенциал по удешевлению поглощения углекислого газа в полной мере не использован. Ядерная энергетика как источник низкоуглеродной энергии имеет более лучшую эколого-экономическую эффективность в сравнении с угольными и газовыми электростанциями с технологиями улавливания углекислого газа, однако в последние годы у нее выросла нормированная стоимость электроэнергии, увеличившись за десятилетие с 0,123 долл./кВт·ч до 0,155 долл./кВт·ч.

Данный факт неизбежно будет сказываться на дальнейшей конкурентоспособности ядерной энергетике относительно иных источников низкоуглеродной энергии, для ее улучшения также потребуются увеличение НИОКР с перспективной целью снизить себестоимость электроэнергии при безусловном сохранении всех существующих мер экологической безопасности.

Исследование позволило установить интересный факт: общие энергопотребности низкоуглеродных энергии в 2023 г. стали доминирующими в мире, достигнув величины в 51,8 %, а доля вырабатываемой энергии составляет только 39,4 %, т. е. меньше в 1,31 раза. Данная ситуация объясняется существующими технологическими и природными проблемами возобновляемых источников энергии, не способных в полной мере реализовать собственную установленную мощность. Особенно велико расхождение у солнечной энергетики, чья мощность, достигшая 16,6 % от общемировой, позволяет вырабатывать лишь 5,03 % мировой энергии. В то время как у ядерной энергетике с 4,65 % от мировой энергопотребности, доля вырабатываемой электроэнергии составляет 9,4 %.

Установленный факт означает, что традиционные источники энергии рабо-

тают в гораздо более стабильном режиме и в меньшей степени зависят от окружающих природных факторов. В дальнейших исследованиях предполагается придать значение указанному явлению и предложить специальный коэффициент, позволяющий учитывать в многокритериальном анализе стабильность работы и возможность более полного использования установленной энергопотребности для различных низкоуглеродных источников энергии.

Другой важный фактор: переход к низкоуглеродной энергетике должен вести не только к сокращению эмиссии углекислого газа и достижению «углеродной нейтральности», но и к общему улучшению состояния окружающей среды, остановке глобального биосферного кризиса. Это возможно при существенном уменьшении биосферных материальных потоков, используемых энергетикой, поскольку общий перенос вещества одной электроэнергетической отраслью экономики России в настоящее время достигает 2 млрд тонн, что в 6,5 раз больше речного стока российских рек (300 млн тонн) и сопоставимо с речным стоком твердых веществ реками всей Земли (2,5–5 млрд тонн) [4]. Поэтому для полной и адекватной оценки эколого-экономической эффективности низкоуглеродных источников энергии, необходимо проведение обязательного анализа влияния на существующие биосферные потоки.

Использование разработанного методического инструментария в некоторых случаях уже позволяет получать неожиданные результаты, так, в частности, было выявлено, что газовые и угольные электростанции, использующие технологии улавливания углекислого газа, в настоящее время обладают одинаковым уровнем эколого-экономической эффективности.

6. Заключение

Поставленная цель исследования была достигнута, проведенный многокритериальный анализ позволил выявить, что наибольшей эколого-экономической эффективностью обладают ветряные электростанции, у них наименьшая величина LCOE/LEC — 0,036 долл./кВт·ч и суммарного МП-числа — 0,938 кг/кВт·ч, а выбросы углекислого газа полностью отсутствуют.

Немного им уступают в показателе нормированной стоимости электроэнергии солнечные и биоэлектростанции, величина их материальной интенсивности, выраженная в суммарных МП-числах, хуже, соответственно, в 5,38 и 5,31 раз. При производстве солнечных панелей и подготовке биотоплива биосферные материально-энергетические потоки трансформируются в большей степени.

Геотермальные и гидроэлектростанции обладают низкой нормированной стоимостью электроэнергии и высокими величинами материальной интенсивности. Причина — высокие капитальные затраты и изменения водного режима на прилегающих территориях, сказывающиеся на состоянии окружающей природной среды.

Ядерная энергетика как источник низкоуглеродной энергии занимает промежуточное положение между возобновляемыми и традиционными источниками энергии. Ее комплексная эколого-экономическая эффективность выше, чем у газовых и угольных электростанций, использующих технологии улавливания CO₂. Ядерную энергетику и возобновляемую объединяет практически полное отсутствие эмиссии углекислого газа, факт, имеющий

важное значение при переходе энергетики к «углеродной нейтральности». Однако необходимо отметить довольно высокую себестоимость электроэнергии новых АЭС. Из-за возросших требований к экологической безопасности она увеличивалась последние годы, достигнув к настоящему моменту величины в 0,155 долл./кВт·ч.

У иных современных источников энергии, использующих ископаемое топливо и применяющих технологии улавливания углекислого газа, произошло некоторое снижение себестоимости, хотя и не очень существенное. В качестве неожиданного факта было выявлено, что, несмотря на изначально большую углеродную эффективность газовых электростанций по сравнению с угольными (в 1,81 раза) и примерно равную удельную материальную интенсивность, благодаря большим затратам на утилизацию углекислого газа, они имеют одинаковую эколого-экономическую эффективность.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании необходимости комплексной оценки низкоуглеродных источников энергии с целью выявления среди них эффективно снижающих эмиссию парниковых газов при наименьших затратах и одновременно уменьшающих нарушенность естественных материальных биосферных потоков в процессе хозяйственной деятельности.

С практической точки зрения полученные результаты позволят при принятии решений определить наиболее перспективные низкоуглеродные источники энергии, первоочередное развитие которых обеспечит достижение «углеродной нейтральности» с наибольшей эколого-экономической эффективностью.

Список использованных источников

1. Saleh H., Hassan A. The challenges of sustainable energy transition: A focus on renewable energy // *Applied Chemical Engineering*. 2024. Vol. 7, No. 2. 2084. <https://doi.org/10.59429/ace.v7i2.2084>

2. Dorninger C., Abson D., Fischer J., Wehrden H. Assessing sustainable biophysical human–nature connectedness at regional scales // *Environmental Research Letters*. 2017. Vol. 12. 055001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa68a5>
3. Gorshkov V. G., Makarieva A. M. Key ecological parameters of immotile versus locomotive life // *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2020. Vol. 5, No. 1. Pp. 1–18. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2020-1-1>
4. Двинин Д. Ю., Даванков А. Ю. Влияние альтернативных источников энергии на социо-эколого-экономическую сбалансированность регионов. Челябинск: ЧелГУ, 2022. 126 с. <https://doi.org/10.47475/9785727118245>
5. Guo H. Case study analysis of low-carbon economy // *Advances in Economics Management and Political Sciences*. 2023. Vol. 63. Pp. 249–255. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/63/20231431>
6. Elizbarashvili N., Meladze G., Yeghyan M., Elizbarashvili R. Geographical indicators of sustainable development and assessment of the impact on the environment // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 381. 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012022>
7. Korhonen J., Honkasalo A., Seppala J. Circular Economy: The Concept and its Limitations // *Ecological Economics*. 2018. Vol. 143. Pp. 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
8. Chen J., Gao M., Cheng S., Xu Y., Song M., Liu Y., Hou W., Wang S. Evaluation and drivers of global low-carbon economies based on satellite data // *Humanities and Social Sciences Communications*. 2022. Vol. 9. 153. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01171-y>
9. Ali E. B., Anufriev V. P. Revisiting the energy consumption, economic growth and the environmental Kuznets curve in developing countries // *Economy of Regions*. 2023. Vol. 19, No. 1. Pp. 75–84. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-6>
10. Стародубец Н. В., Грищенко Ю. О., Белик И. С., Никулина Н. Л. Экономическая оценка последствий введения трансграничного углеродного регулирования для регионально-го промышленного комплекса (на примере Свердловской области) // *Journal of Applied Economic Research*. 2022. Т. 21, № 4. С. 708–733. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2022.21.4.025>
11. Proskuryakova L. The Contribution of Low-Carbon Energy Technologies to Climate Resilience // *Climate*. 2023. Vol. 11, Issue 12. 231. <https://doi.org/10.3390/cli11120231>
12. Fan J., Wei S., Yang L., Wang H., Zhong P., Zhang X. Comparison of the LCOE between coal-fired power plants with CCS and main low-carbon generation technologies: Evidence from China // *Energy*. 2019. Vol. 176. Pp. 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.003>
13. Porfiriev B. N., Shirov A. A. Strategies for Socioeconomic Development with Low Greenhouse Gas Emissions: Scenarios and Realities for Russia // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2022. Vol. 92, No. 3. Pp. 230–238. <https://doi.org/10.1134/s1019331622030030>
14. Мальцев Ю. Г., Султанов Б. Р. Исследование социо-эколого-экономической сбалансированности регионов РФ // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2022. № 6–1. С. 110–115. <https://doi.org/10.17513/vaael.2253>
15. Ковалева Н. О., Столпникова Е. М. Экология: жизнь в «неустойчивой биосфере» // *История и современность*. 2022. № 4. С. 58–80. <https://doi.org/10.30884/iis/2022.04.04>
16. Akimoto K., Sano F., Nakano Y. Assessment of comprehensive energy systems for achieving carbon neutrality in road transport // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2022. Vol. 112. 103487. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103487>
17. Wu L. Comprehensive evaluation and analysis of low-carbon energy-saving renovation projects of high-end hotels under the background of double carbon // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8, Supplement 7. Pp. 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.05.082>
18. Saraji M. K., Streimikiene D. An analysis of challenges to the low-carbon energy transition toward sustainable energy development using an IFCM-TOPSIS approach: A case study // *Journal of Innovation & Knowledge*. 2024. Vol. 9, Issue 2. 100496. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100496>

19. Filimonova I. V., Kozhevnikov V. D., Provornaya I. V., Komarova A. V., Nemov V. Y. Green energy through the LCOE indicator // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8, Supplement 15. Pp. 887–893. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.165>
20. Sklar-Chik M., Brent A., De Kock I. Critical review of the levelised cost of energy metric // *South African Journal of Industrial Engineering*. 2016. Vol. 27, No. 4. Pp. 124–133. <https://doi.org/10.7166/27-4-1496>
21. Saurat M., Ritthoff M. Calculating MIPS 2.0 // *Resources*. 2013. Vol. 2, Issue 4. Pp. 581–607. <https://doi.org/10.3390/resources2040581>
22. Muniyandy E., Dilli Babu P. Study of Solar Energy and Future Needs // *International Research Journal on Advanced Science*. 2021. Vol. 3, Issue 9S. Pp. 23–28. <https://doi.org/10.47392/irjash.2021.244>
23. Liedtke C., Biengen K., Teubler J. Resource Use in the Production and Consumption System — The MIPS Approach // *Resources*. 2014. Vol. 3, Issue 3. Pp. 544–574. <https://doi.org/10.3390/resources3030544>
24. Huang C., Liu C., Zhong M., Sun H., Gao T., Zhang Y. Research on Wind Turbine Location and Wind Energy Resource Evaluation Methodology in Port Scenarios // *Sustainability*. 2024. Vol. 16, Issue 3. 1074. <https://doi.org/10.3390/su16031074>
25. Vivchar A. N., Sigitov O. Y. Operational Problems in Incorporating Wind Farms and Thermal Power Plants into an Electric Power System // *Power Technology and Engineering*. 2023. Vol. 57. Pp. 129–135. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01633-6>
26. Bayazit Y. The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey // *Renewable Energy*. 2021. Vol. 170. Pp. 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.130>
27. Berga L. The Role of Hydropower in Climate Change Mitigation and Adaptation: A Review // *Engineering*. 2016. Vol. 2, Issue 3. Pp. 313–318. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.03.004>
28. Dvinin D. Y. Comparative analysis of traditional and alternative energy in the Russian Federation // *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 157. 03015. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202015703015>
29. Сорокин В. В. Экономические аспекты перехода на низкоуглеродную энергетику // *Дискуссия*. 2023. Т. 116, № 1. С. 46–56. <https://doi.org/46320/2077-7639-2023-1-116-46-56>
30. Магарил Е. Р., Гительман Л. Д., Караева А. П., Киселев А. В., Кожевников М. В. Методический подход к эколого-экономической оценке проектов биогазовой энергетики // *Journal of Applied Economic Research*. 2022. Т. 21, № 2. С. 217–256. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2022.21.2.009>
31. Modeling and Control Dynamics in Microgrid Systems with Renewable Energy Resources / edited by C. B. Ramesh, J. J. Justo, F. Mwasilu. Academic Press, 2023. 419 p. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02542-9>
32. Yao Y., Xu J.-H., Sun D.-Q. Untangling global levelised cost of electricity based on multi-factor learning curve for renewable energy: Wind, solar, geothermal, hydropower and bioenergy // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 285. 124827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124827>
33. Kabeyi M. Geothermal Electricity Generation, Challenges, Opportunities and Recommendations // *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*. 2019. Vol. 5, No. 8. Pp. 53–95. <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2019.33408>
34. Laveet K., Md H., Mamdouh E., Mansoor U. Technological Advancements and Challenges of Geothermal Energy Systems: A Comprehensive Review // *Energies*. 2022. Vol. 15, Issue 23. 9058. <https://doi.org/10.3390/en15239058>
35. Krumins J., Klavins M. Investigating the Potential of Nuclear Energy in Achieving a Carbon-Free Energy Future // *Energies*. 2023. Vol. 16, Issue 9. 3612. <https://doi.org/10.3390/en16093612>

36. Bocard N. The cost of nuclear electricity: France after Fukushima // *Energy Policy*. 2014. Vol. 66. Pp. 450–461. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.037>
37. Sfez S., Dewulf J., De Soete W., Schaubroeck T., Mathieux F., Kralisch D., De Meester S. Toward a Framework for Resource Efficiency Evaluation in Industry: Recommendations for Research and Innovation Projects // *Resources*. 2017. Vol. 6, Issue 1. 5. <https://doi.org/10.3390/resources6010005>
38. Alsanousie A., Attia A., Elhelw M., Elsamni O. Towards nearly zero emissions natural gas-fired power plants using cryogenic carbon dioxide capture technology // *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2023. Vol. 127. 103928. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103928>
39. Pelissari M., Canas S., Barbosa M., Tassinari C. Decarbonizing coal-fired power plants: Carbon capture and storage applied to the Jorge Lacerda thermoelectric complex // *Results in Engineering*. 2023. Vol. 19. 101249. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101249>
40. Wang Y., Zhao L., Otto A., Robinius M., Stolten D. A review of post-combustion CO₂ capture technologies from coal-fired power plants // *Energy Procedia*. 2017. Vol. 114. Pp. 650–665. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1209>
41. Torres J. F., Petrakopoulou F. A Closer Look at the Environmental Impact of Solar and Wind Energy // *Global Challenges*. 2022. Vol. 6, Issue 8. 2200016. <https://doi.org/10.1002/gch2.202200016>
42. Xie R. The Impacts of Different Power Plants on Climate: Evidence from Fossil-fuel, Hydroelectric & Wind Power // *E3S Web of Conferences*. 2023. Vol. 424. 02007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342402007>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Двинин Дмитрий Юрьевич

Кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник, доцент кафедры геоэкологии и природопользования Челябинского государственного университета, г. Челябинск, Россия (454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9451-4445> e-mail: dvinin1981@mail.ru

Даванков Алексей Юрьевич

Доктор экономических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры экономической теории и регионального развития Челябинского государственного университета, г. Челябинск, Россия (454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0209-5301> e-mail: iserp@csu.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-00900, <https://rscf.ru/project/24-28-00900/>

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Двинин Д. Ю., Даванков А. Ю. Комплексная эколого-экономическая оценка низкоуглеродных источников энергии // *Journal of Applied Economic Research*. 2024. Т. 23, № 3. С. 696–720. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.028>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 17 июня 2024 г.; дата поступления после рецензирования 18 июля 2024 г.; дата принятия к печати 24 июля 2024 г.

Comprehensive Environmental and Economic Assessment of Low-Carbon Energy Sources

Dmitry Y. Dvinin  , Alexey Y. Davankov 

Chelyabinsk State University,
Chelyabinsk, Russia

 dvinin1981@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a study of various low-carbon energy sources based on a multi-criteria analysis for the purpose of a comprehensive environmental and economic assessment of the effectiveness of their use. The peculiarity of the study is that it analyzed both renewable energy sources and traditional fossil fuel based ones using innovative technologies for carbon dioxide capture and storage, as well as nuclear energy. The purpose of this work is to conduct a comprehensive assessment based on three criteria: normalized cost of electricity LCOE (Levelized Cost of Energy)/ LEC (Levelized Energy Cost), specific value of carbon dioxide emissions and material intensity expressed in total MI (Material Input) numbers. The hypothesis of the study is as follows: the introduction of the criterion of material intensity in MI numbers into a comprehensive assessment will allow one to identify low-carbon energy sources with the greatest ecological and economic effect. As a result, it was found that in 2023, the global energy capacity of low-carbon energy sources reached 51.8 %, but the share of energy produced by them is significantly lower, amounting to only 39.4 %. The multi-criteria analysis made it possible to identify low-carbon energy sources that, at the lowest cost, provide the greatest reduction in carbon dioxide emissions, and at the same time reduce the overall environmental impact by reducing the disturbance of biospheric material flows. Wind farms have high ecological and economic efficiency, while solar energy sources and bioelectric power plants — slightly less so. Geothermal and hydroelectric power plants have a low normalized cost of electricity, but they have relatively high values of material intensity. The environmental and economic efficiency of nuclear power is higher than that of gas and coal-fired power plants using carbon dioxide capture technologies; it occupies an intermediate position between renewable and traditional energy sources. An unexpected established fact is that gas and coal-fired power plants with carbon dioxide capture technologies have the same environmental and economic efficiency. The results obtained can be useful in making decisions about the possibility of prioritizing the development of individual low-carbon energy sources.

Key words: low-carbon energy sources; levelised cost of energy; specific carbon dioxide emission; material intensity; integrated environmental and economic efficiency.

JEL C18, Q42, Q43

References

1. Saleh, H., Hassan, A. (2024). The challenges of sustainable energy transition: A focus on renewable energy. *Applied Chemical Engineering*, Vol. 7, No. 2, 2084. <https://doi.org/10.59429/ace.v7i2.2084>
2. Dorninger, C., Abson, D., Fischer, J., Wehrden, H. (2017). Assessing sustainable biophysical human-nature connectedness at regional scales. *Environmental Research Letters*, Vol. 12, 055001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa68a5>
3. Gorshkov, V.G., Makarieva, A.M. (2020). Key ecological parameters of immobile versus locomotive life. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, Vol. 5, No. 1, 1–18. <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2020-1-1>

4. Dvinin, D.Y., Davankov, A.Y. (2022). *The Influence of Alternative Energy Sources on the Socio-Ecological and Economic Balance of Regions*. Chelyabinsk, ChelSU, 126 p. (In Russ.). <https://doi.org/10.47475/9785727118245>
5. Guo, H. (2023). Case study analysis of low-carbon economy. *Advances in Economics Management and Political Sciences*, Vol. 63, 249–255. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/63/20231431>
6. Elizbarashvili, N., Meladze, G., Yeghyan, M., Elizbarashvili, R. (2019). Geographical indicators of sustainable development and assessment of the impact on the environment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 381, 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012022>
7. Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppala, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, Vol. 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
8. Chen, J., Gao, M., Cheng, S., Xu, Y., Song, M., Liu, Y., Hou, W., Wang, S. (2022). Evaluation and drivers of global low-carbon economies based on satellite data. *Humanities and Social Sciences Communications*, Vol. 9, 153. <https://doi.org/10.1057/s41599-022-01171-y>
9. Ali, E.B., Anufriev, V.P. (2023). Revisiting the energy consumption, economic growth and the environmental Kuznets curve in developing countries. *Economy of Regions*, Vol. 19, No. 1, 75–84. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2023-1-6>
10. Starodubets, N.V., Grischenko, Y.O., Belik, I.S., Nikulina, N.L. (2022). Economic assessment of the consequences of the introduction of transboundary carbon regulation for the regional industrial complex (based on the example of the Sverdlovsk region). *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 21, No. 4, 708–733. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/vestnik.2022.21.4.025>
11. Proskuryakova, L. (2023). The Contribution of Low-Carbon Energy Technologies to Climate Resilience. *Climate*, Vol. 11, Issue 12, 231. <https://doi.org/10.3390/cli11120231>
12. Fan, J., Wei, S., Yang, L., Wang, H., Zhong, P., Zhang, X. (2019). Comparison of the LCOE between coal-fired power plants with CCS and main low-carbon generation technologies: Evidence from China. *Energy*, Vol. 176, 143–155. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.003>
13. Porfiryev, B.N., Shirov, A.A. (2022). Strategies for Socioeconomic Development with Low Greenhouse Gas Emissions: Scenarios and Realities for Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, Vol. 92, No. 3, 230–238. <https://doi.org/10.1134/s1019331622030030>
14. Maltsev, Yu.G., Sultanov, B.R. (2022). Study of socio-ecological-economic balance of regions of the Russian Federation. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, No. 6–1, 110–115. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/vaael.2253>
15. Kovaleva, N.O., Stolpnikova, E.M. (2022). Ecology: Life in an “unstable biosphere”. *History and Modernity*, No. 4, 58–80. (In Russ.). <https://doi.org/10.30884/iis/2022.04.04>
16. Akimoto, K., Sano, F., Nakano, Y. (2022). Assessment of comprehensive energy systems for achieving carbon neutrality in road transport. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 112, 103487. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103487>
17. Wu, L. (2022). Comprehensive evaluation and analysis of low-carbon energy-saving renovation projects of high-end hotels under the background of double carbon. *Energy Reports*, Vol. 8, Supplement 7, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.05.082>
18. Saraji, M.K., Streimikiene, D. (2024). An analysis of challenges to the low-carbon energy transition toward sustainable energy development using an IFCM-TOPSIS approach: A case study. *Journal of Innovation & Knowledge*, Vol. 9, Issue 2, 100496. <https://doi.org/10.1016/j.jik.2024.100496>
19. Filimonova, I.V., Kozhevin, V.D., Provornaya, I.V., Komarova, A.V., Nemov, V.Y. (2022). Green energy through the LCOE indicator. *Energy Reports*, Vol. 8, Supplement 15, 887–893. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.10.165>
20. Sklar-Chik, M., Brent, A., De Kock, I. (2016). Critical review of the levelised cost of energy metric. *South African Journal of Industrial Engineering*, Vol. 27, No. 4, 124–133. <https://doi.org/10.7166/27-4-1496>

21. Saurat, M., Ritthoff, M. (2013). Calculating MIPS 2.0. *Resources*, Vol. 2, Issue 4, 581–607. <https://doi.org/10.3390/resources2040581>
22. Muniyandy, E., Dilli Babu, P. (2021). Study of Solar Energy and Future Needs. *International Research Journal on Advanced Science*, Vol. 3, Issue 9S, 23–28. <https://doi.org/10.47392/ir-jash.2021.244>
23. Liedtke, C., Bienge, K., Teubler, J. (2014). Resource Use in the Production and Consumption System — The MIPS Approach. *Resources*, Vol. 3, Issue 3, 544–574. <https://doi.org/10.3390/resources3030544>
24. Huang, C., Liu, C., Zhong, M., Sun, H., Gao, T., Zhang, Y. (2024). Research on Wind Turbine Location and Wind Energy Resource Evaluation Methodology in Port Scenarios. *Sustainability*, Vol. 16, Issue 3, 1074. <https://doi.org/10.3390/su16031074>
25. Vivchar, A.N., Sigitov, O.Y. (2023). Operational Problems in Incorporating Wind Farms and Thermal Power Plants into an Electric Power System. *Power Technology and Engineering*. Vol. 57, 129–135. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01633-6>
26. Bayazit, Y. (2021). The effect of hydroelectric power plants on the carbon emission: An example of Gokcekaya dam, Turkey. *Renewable Energy*, Vol. 170, 181–187. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.01.130>
27. Berga, L. (2016). The Role of Hydropower in Climate Change Mitigation and Adaptation: A Review. *Engineering*, Vol. 2, Issue 3, 313–318. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.03.004>
28. Dvinin, D.Y. (2020). Comparative analysis of traditional and alternative energy in the Russian Federation. *E3S Web of Conferences*, Vol. 157, 03015. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202015703015>
29. Sorokin, V.V. (2023). Economic aspects of the transition to low-carbon energy. *Discussion*, Vol. 116, No. 1, 46–56. (In Russ.). <https://doi.org/46320/2077-7639-2023-1-116-46-56>
30. Magaril, E.R., Gitelman, L.D., Karaeva, A.P., Kiselev, A.V., Kozhevnikov, M.V. (2022). Methodological approach to environmental and economic assessment of biogas energy projects. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 21, No. 2, 217–256. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/vestnik.2022.21.2.009>
31. *Modeling and Control Dynamics in Microgrid Systems with Renewable Energy Resources*. (2023). Edited by C. B. Ramesh, J. J. Justo, F. Mwasilu. Academic Press, 419 p. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-02542-9>
32. Yao, Y., Xu, J.-H., Sun, D.-Q. (2021). Untangling global levelised cost of electricity based on multi-factor learning curve for renewable energy: Wind, solar, geothermal, hydropower and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 285, 124827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124827>
33. Kabeyi, M. (2019). Geothermal Electricity Generation, Challenges, Opportunities and Recommendations. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, Vol. 5, No. 8, 53–95. <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2019.33408>
34. Laveet, K., Md, H., Mamdouh, E., Mansoor, U. (2022). Technological Advancements and Challenges of Geothermal Energy Systems: A Comprehensive Review. *Energies*, Vol. 15, Issue 23, 9058. <https://doi.org/10.3390/en15239058>
35. Krumins, J., Klavins, M. (2023). Investigating the Potential of Nuclear Energy in Achieving a Carbon-Free Energy Future. *Energies*, Vol. 16, Issue 9, 3612. <https://doi.org/10.3390/en16093612>
36. Bocard, N. (2014). The cost of nuclear electricity: France after Fukushima. *Energy Policy*, Vol. 66, 450–461. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.037>
37. Sfez, S., Dewulf, J., De Soete, W., Schaubroeck, T., Mathieux, F., Kralisch, D., De Meester, S. (2017). Toward a Framework for Resource Efficiency Evaluation in Industry: Recommendations for Research and Innovation Projects. *Resources*, Vol. 6, Issue 1, 5. <https://doi.org/10.3390/resources6010005>

38. Alsanousie, A., Attia, A., Elhelw, M., Elsamni, O. (2023). Towards nearly zero emissions natural gas-fired power plants using cryogenic carbon dioxide capture technology. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Vol. 127, 103928. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103928>
39. Pelissari, M., Canas, S., Barbosa, M., Tassinari, C. (2023). Decarbonizing coal-fired power plants: Carbon capture and storage applied to the Jorge Lacerda thermoelectric complex. *Results in Engineering*, Vol. 19, 101249. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101249>
40. Wang, Y., Zhao, L., Otto, A., Robinius, M., Stolten, D. (2017). A review of post-combustion CO₂ capture technologies from coal-fired power plants. *Energy Procedia*, Vol. 114, 650–665. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1209>
41. Torres, J.F., Petrakopoulou, F. (2022). A Closer Look at the Environmental Impact of Solar and Wind Energy. *Global Challenges*, Vol. 6, Issue 8, 2200016. <https://doi.org/10.1002/gch2.202200016>
42. Xie, R. (2023). The Impacts of Different Power Plants on Climate: Evidence from Fossil-fuel, Hydroelectric & Wind Power. *E3S Web of Conferences*, Vol. 424, 02007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342402007>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Dmitry Yurievich Dvinin

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Associate Professor of the Department of Geoecology and Environmental Management, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia (454001, Chelyabinsk, Kashirin Brothers street, 129); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9451-4445> e-mail: dvinin1981@mail.ru

Alexey Yurievich Davankov

Doctor of Economics, Professor, Leading Researcher, Professor of the Department of Economic Theory and Regional Development, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia (454001, Chelyabinsk, Kashirin Brothers street, 129); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0209-5301> e-mail: iserp@csu.ru

ACKNOWLEDGMENTS

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-28-00900, <https://rscf.ru/project/24-28-00900>

FOR CITATION

Dvinin, D.Yu., Davankov, A.Yu. (2024). Comprehensive Environmental and Economic Assessment of Low-Carbon Energy Sources. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 696–720. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.028>

ARTICLE INFO

Received June 17, 2024; Revised July 18, 2024; Accepted July 24, 2024.



Моделирование функциональных связей региональных экономических систем по малым выборкам на основе байесовских интеллектуальных измерений

Р. А. Жуков¹ , С. В. Прокопчина² , М. А. Плинская¹ , М. А. Желунцова¹ 

¹Тульский филиал Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации,
г. Тула, Россия

²Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
г. Москва, Россия

 pluszh@mail.ru

Аннотация. Экономика субъектов Российской Федерации, представляющих собой социо-эколого-экономические системы, характеризуется быстро меняющимися условиями, влияющими на их функционирование. Следовательно, при моделировании недостаточно традиционных подходов на основе долгосрочных трендов и построения соответствующих моделей и требуется их развитие, в том числе за счет сочетания с другими подходами, учитывающими изменчивость условий. Кроме того, информационные базы из открытых источников обладают неопределенностью (в разных источниках для одного показателя могут быть отличные значения). Некоторые показатели постоянно корректируются: вносятся изменения в значения для предыдущих периодов. Периодов оценки недостаточно для методологически обоснованного, с точки зрения математической статистики, построения моделей. Результаты функционирования зависят от влияющих факторов так же, как и результаты измерений. Обозначенные проблемы приводят к необходимости прибегать к вероятностным оценкам и учитывать неполноту и нечеткость данных, а также получать выборки достаточного объема из данных малой мощности. Целью исследования является моделирование связей между объемами валового внутреннего продукта и факторами, характеризующими функционирование экономической подсистемы регионов, в условиях неопределенности и ограниченности данных в заданный период времени. Рабочая гипотеза исследования: возможность методологически обоснованного построения эконометрических моделей по данным для отдельного субъекта Российской Федерации в определенный период времени. В основу исследования легли методы эконометрического моделирования и методология байесовских интеллектуальных измерений, а также методика формирования достаточного объема данных по малым выборкам. На примере Тульской области по данным за 2022 г. были построены степенные мультипликативные модели для объема ВРП (14 разделов по ОКВЭД), что позволило провести апробацию представленной методологии, базирующейся на сочетании эконометрического и байесовского подходов к моделированию функционирования сложных систем, с выводами теоретической и практической направленности на устойчивое развитие региона.

Ключевые слова: валовой региональный продукт; производственная функция; социо-эколого-экономическая система; модель, байесовские интеллектуальные измерения; малая выборка.

1. Введение

Рассматривая экономику субъектов Российской Федерации, представляющих собой социо-эколого-экономические системы (СЭЭС), исследователи оценивают их функционирование посредством макроэкономических показателей, а экономическую подсистему — объемом валового регионального продукта (ВРП) с детализацией по отдельным видам экономической деятельности (ОКВЭД). Зависимость между объемом ВРП и основными факторами производства традиционно моделируется посредством производственных функций (ПФ), чаще всего нелинейных функциональных форм. Каждый из субъектов развивается по собственной траектории, причем в каждый период времени условия функционирования (факторы) отличны от других временных интервалов, в которых проводились измерения, что подразумевает и изменение параметров моделей — коэффициентов чувствительности, учитывающих характер влияния таких факторов на результаты деятельности СЭЭС. Тогда при построении модели возникают дополнительно две проблемы: 1) ограниченность выборки; 2) неопределенность данных, связанная в том числе с их достоверностью.

В этом аспекте представляется актуальным для конструирования моделей использовать традиционные методы построения эконометрических моделей в сочетании с методологией байесовских интеллектуальных измерений (БИИ), хорошо работающей в условиях неопределенности, и методикой формирования совокупности данных достаточного объема, сгенерированной по малой выборке с известным типом распределения.

Исследовательский вопрос: возможно ли методологически обоснованно построить модели связи между ВРП по ОКВЭД и влияющими факторами по малым выборкам посредством инте-

грации эконометрического моделирования и методологии байесовских интеллектуальных измерений?

Цель исследования — моделирование связей между объемами валового внутреннего продукта и факторами, характеризующими функционирование экономической подсистемы регионов, в условиях неопределенности и ограниченности данных в заданный период времени.

Объект исследования — экономическая подсистема социо-эколого-экономической системы с однотипными результативными признаками (Тульская область).

Предмет исследования — особенности построения моделей в условиях неполноты и нечеткости данных.

Рабочая гипотеза исследования — возможность методологически обоснованного построения эконометрических моделей по данным для отдельного субъекта Российской Федерации в определенный период времени.

Структура статьи включает введение, степень проработанности проблемы, раздел методологии и информационной базы исследования, результаты исследования, обсуждение результатов и заключение.

2. Степень проработанности проблемы

Моделируя экономику регионов, представляющую собой экономическую подсистему СЭЭС, обычно строят эконометрические модели, отображающие связь между результатами функционирования элементов СЭЭС и условиями (факторами) их деятельности. Элементы СЭЭС — совокупность хозяйствующих субъектов на территории региона (резиденты), функционирующих в соответствии с СНС.

Модели позволяют изучать поведение элементов, подсистем и системы

в целом в зависимости от изменяющихся условий, проводить оценку и анализ с целью разработки управленческих решений, направленных на обеспечение сбалансированного и устойчивого функционирования и развития СЭЭС.

Значения результативных признаков СЭЭС дают возможность проводить их сравнительную оценку с ожидаемыми (плановыми, нормативными) значениями, установленными органами управления либо вычисленными по специальным методикам, в том числе при построении соответствующих моделей.

Функционирование сложных систем, какими являются СЭЭС, сопряжено с неопределенностью внешних условий, а также воздействием факторов, которые неидентифицируемы и не могут быть явно включены модель. Поэтому при изучении СЭЭС, в том числе в экономических исследованиях, помимо использования традиционных эконометрических методов, прибегают к специальным методам, работающим в условиях нечеткости и неполноты данных.

Akperov & Kurianov [1], используя логику Zadeh [2], предложили оценивать региональный экономический потенциал (низкий, средний, высокий) посредством достаточности ресурсов (недостаточный, достаточный объем и избыточный), возможности привлечения дополнительных ресурсов (низкая, средняя, высокая) и эффективности управления ресурсами (низкая, средняя, высокая). Такая оценка осуществляется при использовании набора параметров, характеризующих экономику региона и сводящихся к агрегированным трехкомпонентным лингвистическим факторам с применением элементов нечеткой логики и нейронных сетей.

Zolfani et al. [3] применили нечеткие множества, включающие социально-экономические показатели,

для оценки потенциала стран Южной и Восточной Европы и их взаимодействия. Результатом исследования стало обоснование эффективности предложенной модели и факт наличия соперничества между соответствующими регионами.

Huang et al. [4] предложили модель прогнозирования 3 продуктового промышленного сектора китайской экономики посредством формирования нечетких временных рядов первого порядка, что позволило осуществить оценку будущих значений переменных в условиях нечеткости данных. Результаты показали, что многомерная нечеткая модель обладает большей точностью по сравнению с традиционными ARIMA моделями и моделью, построенной на основе нейронной сети обратного распространения (BPNN). Такой подход в какой-то мере коррелирует с эконометрическим моделированием, однако переход от нечетких к классическим моделям параметрической формы не был исследован.

Ouifak & Idri [5] на основании глубокого анализа 48 исследований, посвященных методам моделирования на нейросетевых системах различного типа, доказали, что модели, построенные на базе нейро-нечетких ансамблей, поддаются лучшей интерпретации по сравнению с остальными системами. Это еще раз доказывает необходимость сочетания эконометрических и нечетких подходов, в том числе байесовских интеллектуальных технологий при изучении сложных систем, какими являются социо-эколого-экономические системы.

Huning & Wahl [6] применили нечеткую пространственную регрессию степенной мультипликативной формы для оценки экономики Западной Германии, что позволило им сделать обоснованный вывод о влиянии исторического развития территорий, их экономической специализации и традиций на по-

вышение доходов, плотность населения и уровень индустриализации в соответствующих регионах. Данные были взяты, начиная с XIX по XXI век. Однако если применить такой подход для России, то очевидно, что обоснованные выводы сделать будет трудно, в силу ограниченности данных. Это приводит к необходимости искусственно формировать выборку достаточной для обоснованности применения эконометрических моделей мощности.

Kutty et al. [7] в виду множественности факторов, влияющих на устойчивое развитие «умных» городов Европы, успешно использовали методы нечеткой оценки для их рейтингования по набору индексов.

Ruben et al. [8] на основе построения модели структурных взаимосвязей с нечеткими входными данными выявили барьеры внедрения технологий индустрии 4.0.

Особое место в экономических исследованиях занимает байесовский подход, позволяющий нечеткость интерпретировать вероятностными оценками.

Ziesmer et al. [9] удалось скомбинировать байесовский подход и CGE-модель для оценки устойчивого развития экономики. В качестве основных параметрических моделей авторы рассмотрели полиномиальные и линейные формы, встречавшиеся в работах Forrester et al. [10] и Myers [11].

Iacopini et al. [12] на основе одномерной байесовской квантильной регрессии осуществили прогноз условных значений ВВП США, которые строго связаны с количественной оценкой стоимости, подверженной риску ожидаемого дефицита и разницы между процентиями прогнозов реального ВВП, в том числе на недостающих низкочастотных данных, восстановленных по данным более высокой частоты в предположении о нормальности их распределений.

Иными словами, в этой ситуации байесовский подход был применен в условиях неполноты датасетов, что характерно и для российских данных, имеющихся в открытых источниках.

D'Andrea [13] для сглаживания неопределенности во влияющих на экономический рост факторах применила усреднение по байесовской модели, показав, что для данной выборки (по 19 европейским странам) модель является лучшим статистическим инструментом для оценки переменных, включаемых в регрессию роста. В исследовании применялось как эконометрическое моделирование (линейная регрессия), так и байесовский подход с оценкой вероятностей (апостериорных и априорных вероятностей) моделей из выбранного набора на базе метода Монте-Карло. Авторами выборка генерировалась на основании гипотез с заданными параметрами распределения факторов (в данном случае нормальными). Однако исходные, фактические данные не «размывались» и не были представлены в виде нечеткого числа, идентифицирующего неопределенность имеющейся информации.

Duan et al. [14] использовали байесовский стохастический поиск и метод Монте-Карло, примененный D'Andrea, для исследования влияния набора социально-экономических факторов при анализе цен на жилье в Китае. В качестве типа распределения было выбрано распределение Бернулли.

Canoz & Kalkavan [15] провели аналогичное исследование для рынка жилья Стамбула.

Salles et al. [16] применили байесовский подход для определения плотности вероятностей исходных данных с целью анализа экономического развития лесной промышленности в Бразилии.

Debnath et al. [17] ориентировались на аналогичную [3] трехкомпонентную структуру оценки развития мебельной

промышленности в Бангладеш на основе BWM (байесовский метод анализа наилучшего и наихудшего) и концепции устойчивого бережливого производства.

Klein et al. [18] использовали байесовский подход при расчете неэффективности, что позволило авторам скорректировать оценки неэффективности функционирования фермерских хозяйств в сочетании с моделью стохастической границы.

Szafranek et al. [19] на основе байесовской структурной модели VAR (BSVAR) смогли описать эволюцию восьми ключевых макроэкономических переменных с набором нулевых и знаковых ограничений. Это дало возможность корректно проанализировать внутренние экономические шоки, в том числе связанные со всплеском инфляции в Польше. Применение BSVAR позволило избежать излишней параметризации уравнений за счет использования априорного распределения коэффициентов. В исследовании, как и в большинстве аналогичных работ, распределение предполагалось нормальным.

Mozdzen et al. [20] комбинацией байесовского моделирования и кластеризации попытались устранить проблемы обоснованности применения теоретической базы и возможности использования стандартных вычислительных методов при работе с пространственно-временными данными. Как утверждают авторы, их модель дает более точные оценки, а дополнительная информация, полученная в результате кластеризации, позволяет расширить экономическую интерпретацию уровня безработицы в итальянских провинциях.

Elhorst [21] — яркий представитель школы пространственной эконометрики — анализирует байесовскую оценку при работе с динамической пространственной эконометрической моделью об-

щей вложенности для пространственных панелей с общими факторами. То есть байесовский подход он использует как средство построения эконометрической модели и, в отличие от Mozdzen, подступает с другой стороны к решению проблемы неопределенности данных.

Noia et al. [22] расширили класс байесовских моделей скрытых переменных за счет учета данных о размере и форме откликов гауссовского распределения.

Aivazian [23] достаточно полно описал применение байесовского подхода в эконометрических исследованиях. К сожалению, большая часть исследований, связанная с развитием байесовского подхода и нечеткого моделирования, относится к техническим и информационным системам, в том числе включая использование искусственного интеллекта, что отражено, например, в работах Potapenko et al. [24] и Averkin & Yarushev [25].

Бормотов и др. [26] использовали методологию байесовских интеллектуальных измерений (далее — БИИ) для оценки ценностного мира российской молодежи, продемонстрировав возможность применения БИИ для систем различного типа на основе развиваемой Прокопчиной методологии байесовских интеллектуальных технологий (далее — БИТ) в рамках регуляризирующего байесовского подхода (далее — РБП) [27] и методики определения типа распределения по малым выборкам [28].

При описании сложных систем исследователи часто сталкиваются с проблемой выбора функциональных форм моделей.

Zhong et al. [29] применили линейные модели для формирования интегральных индикаторов, сформированных на основе влияющих факторов посредством унифицированного преобразования, использованного как один из этапов формирования системы универсальных

индикаторов оценки функционирования социо-эколого-экономических систем в работе Zhukov et al. [30].

Andrews et al. [31] использовали инструментальные переменные для построения регрессионных моделей.

Одним из базовых показателей оценки экономики субъектов Российской Федерации является объем валового регионального продукта, в том числе оцениваемого по видам экономической деятельности. Его можно описать с помощью модели, имеющей вид степенной мультипликативной функции, аналогичной форме Кобба — Дугласа, как это представлено в работе Макарова и др. [32].

Жуков и др. [33] показали, что в случае статистической адекватности моделей они являются инвариантными относительно изучаемого процесса и выбор можно осуществлять по критерию приоритетности того или иного направления развития субъектов экономики.

Как видно, все больше исследователей применяют нечеткие модели, модели, построенные в рамках байесовского подхода, а также комбинируют их с классическими моделями, задавая мейнстрим в экономических и других исследованиях на мировом уровне. Это означает обоснованность выбора авторов данной статьи в сторону сочетания соответствующих моделей, в том числе конструирование эконометрических моделей на основе байесовского подхода в условиях неполноты и нечеткости данных. Кроме того, байесовский подход используют как для построения моделей, которые должны адекватно описывать функционирование систем в условиях неопределенности (в том числе для отдельных отраслей промышленности), так и при решении частных задач, например для генерации выборки, обеспечивающей полноту данных.

Отметим, что наряду с выявленными проблемами выбора функциональных форм моделей, методологии оценки

параметров в условиях неполноты и нечеткости данных существует проблема, связанная с тем, что в каждый период времени субъекты экономики функционируют в уникальных для себя условиях даже при неизменных пространственных характеристиках, а измерения являются единичными. Следовательно, модели должны строиться на основании таких измерений, что приводит к существенному ограничению объема имеющейся в распоряжении исследователя выборки и к необходимости ее расширения.

Это обуславливает необходимость развития методов моделирования, которые могли бы сочетать в себе как традиционные и часто используемые в практике эконометрического моделирования, так и вероятностные подходы, в том числе на основе БИТ с возможностью получения датасетов достаточной мощности.

3. Методология и информационная база исследования

3.1. Методология исследования

Обозначим за k номер субъекта Российской Федерации ($k = 1, \dots, K$), а i — номер элемента экономической подсистемы региона ($i = 1, \dots, I$). В данном случае это совокупность институциональных единиц, осуществляющих деятельность i вида по ОКВЭД. Каждый элемент характеризуется результативным признаком y_{ik} и набором факторов (факторных признаков) x_{ikj} ($j = 1, \dots, J$), последние из которых представляют собой условия функционирования ik элемента.

Эконометрическое соотношение между результатами и факторами определим как:

$$y_i = \hat{y}_i + \varepsilon_i. \quad (1)$$

Здесь $\hat{y}_{i,k} = f_{i,k}(x_{i,k,j})$ — производственная функция; ε_i — нормальная случайная компонента (в простейшем случае $N(0, \sigma)$).

Пусть в один тот же период времени проведены измерения, на основании которых получены соответствующие значения результативных y_p , k и факторных признаков x_p , k , j . Будем полагать, что измерения проведены в условиях неопределенности, характеризуемые наличием множества метрологических требований $\{MX(i)\}$, множеств априорной информации A , ограничений и допущений O .

Тогда целесообразно результаты измерений представить в виде нечеткого числа, определяемого набором пар чисел $(h_{(\cdot),l}; p_{(\cdot),l})$, где $h_{(\cdot),l}$ — значение признака $(\cdot) = y_{i,k}, x_{i,k,j}$, соответствующее положению репера l на шкале с диапазоном динамических ограничений $(l = 1, \dots, L_p)$; $p_{(\cdot),l}$ — вероятность того, что значение $(\cdot) = h_{(\cdot),l}$. Число реперов L_r на числовой шкале задается пользователем. В случае использования лингвистической шкалы число реперов соответствует числу классов (9 классов = предельно ниже нормы, ..., норма, ..., предельно выше нормы) [27].

Интервал шкалы динамическими ограничениями (далее — ШДО) может быть задан как:

$$[(\cdot)_{\min} - \sigma_{(\cdot)}; (\cdot)_{\max} + \sigma_{(\cdot)}]. \quad (2)$$

Здесь $(\cdot)_{\min}^{\max}$ — минимальное и максимальное значения среди $y_{k,i}$ или $x_{k,i,j}$, которые могут быть определены или экспертами, или на основании множества измерений, проведенных ранее (в другие периоды времени $t = 1, \dots, T$); $\sigma_{(\cdot)}$ — корректировка интервала, рассчитываемая по формуле:

$$\sigma_{(\cdot)} = \left(\frac{(\cdot)_{\max} + (\cdot)_{\min}}{2} \right)^a / 3, \quad (3)$$

где a — обозначение априорной шкалы.

Отметим, что расширение шкалы обусловлено тем, что при появлении новых данных может возникнуть необходимость расширения диапазона, опреде-

ляемого формулой (2), что практически всегда происходит при изучении экономических явлений. Кроме того, при прогнозировании результатов и факторов их значения могут выйти за границы интервала без корректирующего параметра.

На практике будущие значения признаков обычно не выходят за пределы 3σ . При этом если факторы демонстрируют восходящую или нисходящую без аномалий (резких «всплесков») динамику, то для того, чтобы их значения находились в заданном априорном диапазоне, оказывается достаточным расширить его на величину σ , что и отражает формула (3).

Для каждого признака определяется норма — ожидаемое (плановое, нормативное) значение признака. Она задается априорно: экспертами, в соответствии со стандартами или в простейшем случае как среднее известных значений $(\cdot)$.

В более сложном случае для построения нормативов необходимо использовать преобразование мягких норм к средневзвешенным значениям для конкретного периода. Мягкие нормы для фактора зависят от условий (влияющих факторов), в которых осуществляется измерение. Так, например, норма объема ВРП может зависеть от стоимости основных фондов и численности занятых, если опираться на неоклассическую модель Кобба — Дугласа, представленную в виде производственной функции [33]. В данном исследовании будем ограничиваться нормой, вычисленной как среднее.

Длина интервалов для числовой шкалы определяется по формуле:

$$l_{(\cdot),h_l} = \left(\frac{(\cdot)_{\max} - (\cdot)_{\min} + 2 \cdot \sigma_{(\cdot)}}{L_r} \right). \quad (4)$$

Тогда:

$$h_{(\cdot),l} \in [(\cdot)_{\min} - \sigma_{(\cdot)} + l_{(\cdot),h_l} \cdot (l-1); (\cdot)_{\min} - \sigma_{(\cdot)} + l_{(\cdot),h_l} \cdot l]. \quad (5)$$

В случае, если $l = Lr$, то

$$h_{(\cdot),Lr} \in \left[\binom{(\cdot)}{\min} - \sigma_{(\cdot)} + l_{(\cdot),h_l} \cdot (L_r - 1); \binom{(\cdot)}{\max} + \sigma_{(\cdot)} \right].$$

В случае лингвистической шкалы рассчитываются отдельно длины интервалов, которые выше нормы и ниже нормы по соотношениям:

$$l_{(\cdot),h_l, \text{left}} = \left(\frac{\binom{(\cdot)}{\max} - \binom{(\cdot)}{\min}}{5} \right),$$

$$l_{(\cdot),h_l, \text{right}} = \left(\frac{\binom{(\cdot)}{\max} - \binom{(\cdot)}{\min}}{5} \right). \quad (6)$$

Вероятность априорная для $h_{(\cdot),l}$ в простейшем случае задается равновероятной как для числовой, так и для лингвистической шкалы:

$$P^a \left(H_{(\cdot),l} = p_{(\cdot),l} = \frac{1}{L} \right), \quad (7)$$

где $L = Lr$ для числовой шкалы и 9 для лингвистической шкалы; a — обозначение априорной вероятности; $H_{(\cdot),l}$ — набор гипотез или альтернативных решений (значение $(\cdot) = h_{(\cdot),l}$). Число реперов числовой шкалы может совпадать с числом классов лингвистической шкалы (традиционный вариант задания числа реперов).

В результате такого представления в соответствии с формулами (4)–(7), вероятность того, что значение случайной величины равно значению репера или попадает в один из девяти классов, будет равновероятным, а соответствующее распределение окажется равномерным.

В более сложном случае априорные вероятности можно задать в соответствии с известным (если он известен для данного фактора) распределением в соответствии с классическими типами распределений, разделенных на 25 классов, как показано в работе Прокопчиной [27].

Апостериорную вероятность факторов можно определить аналогичным байесовской формуле соотношением [27]:

$$p_{(\cdot),l}^{ap} = P^{ap} \left(H_{(\cdot),l} | S \right) = P^a \left(H_{(\cdot),l} \right) \times \times P \left(S | H_{(\cdot),l} \right) / \sum_{j=1}^J P^a \left(H_{(\cdot),l} \right) P \left(S | H_{(\cdot),l} \right), \quad (8)$$

где ap — апостериорная вероятность; S — событие совместного появления оценок $\tilde{h}_{(\cdot),l}$ для $(\cdot)$.

Следующая формула дает возможность вычислить условную вероятность (условие появления S события):

$$P \left(S | H_{(\cdot),l} \right) = \int_{-\infty}^{(\cdot)} f \left(x, h_{(\cdot),l}, \sigma_{(\cdot),norm} \right) dx, \quad (9)$$

где $f \left(x, h_{(\cdot),l}, \sigma_{(\cdot),norm} \right)$ — плотность нормального распределения с математическим ожиданием $h_{(\cdot),l}$ и дисперсией $(\sigma_{(\cdot),norm})^2 = (l_{(\cdot),h_l})^2$.

В результате таких действий будем иметь набор интервалов, реперов и вероятностей, соответствующих тому, что случайная величина (в данном случае результативный или факторные признаки) будет находиться в заданном интервале, а объем выборки будет равен числу интервалов (реперов). Такое представление формируется для каждого фактора и для каждого периода времени, в котором значение исходного измерения известно. В более сложном случае можно отойти от нормального распределения и использовать другие функции распределения вероятностей (например, Вейбулла, гамма и др.) в случае уверенности в обоснованности такого выбора.

Для получения выборки достаточной мощности (число наблюдений (измерений) должно быть порядка $N = 7000$ [27]) необходимо на каждом из интервалов сгенерировать $n_{(\cdot),l} = \left\lceil N \cdot p_{(\cdot),l}^{ap} \right\rceil$ значений (квадратные скобки означают, что от выражения нужно взять целую часть) с заданным распределением. Отметим, что в качестве базовой функции распре-

деления рекомендуется использовать треугольное распределение [28].

В результате будет получена выборка требуемого объема для $(\cdot)$ признаков, позволяющая методологически обоснованно переходить к построению эконометрических моделей (1). То есть для единичного (уникального) измерения оказывается возможным получить выборку достаточной мощности.

В дальнейшем сгенерированную выборку для случайной величины можно оценить на ее соответствие определенному типу распределения и его классу (25 классов), отображаемых на плоскости моментов Пирсона с разделяющимися границами [27]. Обоснованность такого подхода подтверждена его апробацией в работе Жуков и др. [28].

3.2. Последовательность реализации методологии

Этапы предлагаемой методологии можно описать следующим образом.

1. Сбор и обработка данных для выбранных элементов СЭС субъектов Российской Федерации, характеризующихся однотипными результативными и факторными признаками, выбранными в качестве переменных производственных функций. Стоимостные характеристики могут быть приведены к сопоставимому виду. Реализация данного этапа опирается на подтвержденную гипотезу об инвариантности процесса относительно моделей, скорректированных на инфляцию, и отраженную в работе Жукова и др. [33].

2. Представление данных в виде нечетких чисел (для каждого из признаков), включая процедуру задания априорных и апостериорных шкал с динамическими ограничениями и нормами для каждого из показателей. На данном этапе рассчитываются пары (значение, вероятность) для каждого признака (результативный или факторный) для конкретного пери-

ода времени. Наиболее интересна оценка последнего известного периода. Такое представление дает возможность из одного значения — результата измерения получить множества значений (для числового или лингвистического отображения), мощности которых соответствуют числу реперов или числу классов в рамках РБП.

3. Формирование выборки достаточного объема для выбранных факторных и результативных признаков для периода t . Данный этап опирается на методологию идентификации типа распределения по малым выборкам, примененную в авторском исследовании [28].

4. Построение моделей в виде эконометрических моделей, содержащих производственные функции (соотношение результатов и факторов) методами OLS или MLE. Этап включает классическое построение эконометрических моделей, где в качестве аппроксимирующей функции выступает производственная функция, например мультипликативная.

5. Статистическая оценка моделей. Предполагает расчет статистических характеристик с целью проверки адекватности и точности моделей, в том числе с использованием стандартных тестов, например критерия Фишера, Стьюдента и других.

В качестве базовых инструментальных средств применены программные платформы «ЭФРА» [34] и «Инфоаналитик 2.0», разработанной на основе более ранней версии [35].

«Инфоаналитик 2.0», с помощью которого реализуются этапы 2 и 3, предусматривает автоматический или ручной ввод данных после их предварительной обработки на этапе 1 в сконструированную иерархическую информационную модель. Иерархическая информационная модель отображается в виде структуры объектов, идентифицируемых на основе интегральных и частных факторов (атрибутов модели).

Следующий функционал комплекса содержит форму генерации априорных и апостериорных шкал в соответствии с формулами (3)–(9), где задается нижняя и верхняя границы, а также норма для каждого факторов. В случае интегрального фактора рекомендуется использовать шкалу от 0 до 10 и нормой 5.

Следующий блок программной платформы вычисляет динамику, интерпретацию динамики (выявление тенденций изменения) факторов, а также рассчитывает метрологические характеристики изменения факторов, в том числе точность, надежность, риск, энтропию априорной и апостериорной информации. Кроме того, предусмотрен функционал прогноза факторов с заданием порядка производной, числа точек (число периодов обучающей выборки) и шага прогноза, что дает возможность аналитику варьировать параметры прогнозных моделей.

Следующий блок — блок рекомендаций, включающий авторекомендации, позволяет на основании нечеткого логического вывода дать предложения по усилению или ослаблению влияющих на результативный или интегральный признак факторов, включенных в модель. Для генерации выборки используется дополнительный модуль байесовской математической статистики, куда подгружаются данные из числовой или лингвистической шкал, содержащие значения реперов, термы, соответствующие им вероятности, нижние и верхние границы интервалов в формате csv. Задается объем выборки. По данным на каждом из интервалов шкалы генерируется выборка с заданным числом значений (можно задать априорный тип распределения). По встроенному алгоритму определяется тип распределения полученной выборки. Результат генерации представляется в виде файла excel или json.

Созданные файлы формата excel загружаются в «ЭФРА» через соответствующий интерфейс программного комплекса и осуществляется четвертый и пятый этапы методологии. После получения данных предоставляется возможность строить эконометрические модели и прогноз. Из формы списка признаков выбирается результативный признак и передается в соответствующий виджет (y_i). В виджет факторов переносятся влияющие факторы (условия). Кроме того, может быть задан период оценки (период обучающей выборки). Для сгенерированных данных эту процедуру делать нецелесообразно. Выбирается функциональная форма (линейная, логарифмическая, экспоненциальная или мультипликативная). Далее при нажатии на кнопки осуществляются:

- 1) построение модели;
- 2) оценка качества и параметров модели (в том числе для нелинейных моделей) с помощью критериев Фишера с расчетом коэффициента детерминации и (t -статистика) Стьюдента;
- 3) загрузка дополнительных тестов ((по коэффициентам корреляции Спирмена) гетероскедастичность и (Фаррара — Глобера) мультиколлинеарность);
- 4) прогнозирование (на основании ожидаемых значения влияющих факторов, из файла или в ручном режиме);
- 5) формирование результатов в виде настраиваемого отчета, в котором предусмотрены в том числе вывод линеаризованных, нелинеаризованных и стандартизованных моделей; итоги тестирования, а также значения коэффициентов эластичности. Это дает возможность получить соответствующие модели с их статистической оценкой в удобной для аналитика форме.

Таким образом реализуются этапы представленной методологии исследования на основе «Инфоаналитик 2.0»

и «ЭФРА». В дальнейшем эти модели выступают в качестве нормативных моделей или моделей функционирования СЭЭС с целью определения результативных показателей (интегральных и частных) и построения оптимизационных моделей, дающих возможность получить количественно выраженные значения изменения влияющих факторов, улучшающих результаты функционирования СЭЭС, ее подсистем и элементов. Для этого в «ЭФРА» реализованы соответствующие программные модули с интерфейсной частью, где можно настраивать набор анализируемых показателей, а также выбирать класс оптимизационной модели и систему ограничений.

3.3. Информационная база

Информационную базу составили ежегодные сборники Росстата показателей социально-экономического развития регионов (2007–2022)¹, датасеты из единой межведомственной информационно-статистической базы ЕМИСС²; таблицы уровней инфляции (по данным Росстат)³. Использованы данные об объеме ВРП в Тульской области (2022)⁴ и структуре ВРП в этот же период⁵.

4. Результаты исследования

4.1. Подготовка данных

В рамках исследования отобраны производственные функции в виде степенных мультипликативных форм:

$$\hat{y}_{k,i} = a_{k,i,0} \cdot \prod_{j=1}^J x_{k,i,j}^{a_{k,i,j}}, \quad (10)$$

где $\hat{y}_{k,i}$ — результативный признак — ВРП по i разделу ОКВЭД для k области;

$x_{k,i,j}$ — факторы, характеризующие условия функционирования. В данном случае для Тульской области $k = 19$ и в дальнейшем этот индекс опущен.

При выборе факторов и функциональных форм моделей авторы руководствовались ранее проведенными исследованиями [30].

Для устранения влияния изменения цен стоимостные индикаторы корректировались на инфляцию и приводились к 2007 г. Кроме того, данные, представленные по ОКВЭД 2 (действует с 2017 г.), были приведены к ОКВЭД 1.

В частности, были выбраны факторы (буквенное обозначение соответствующий раздел по ОКВЭД 1 (в скобках ОКВЭД 2)):

1) А (А) (сельское хозяйство) — стоимость основных фондов (ОФ) $x_{1,1}$; численность занятых (средняя за год) (ЧЗ) $x_{1,2}$;

2) С (В) (добыча полезных ископаемых) — ОФ $x_{2,1}$; ЧЗ $x_{2,2}$;

3) D (С) (обрабатывающие производства) — ОФ $x_{3,1}$; ЧЗ $x_{3,2}$; инвестиции в основной капитал (И) $x_{3,3}$;

4) Е (Е, D) (производство электроэнергии, газа и воды) — ОФ $x_{4,1}$; ЧЗ $x_{4,2}$;

5) F (F) (строительство) — ОФ $x_{5,1}$; ЧЗ $x_{5,2}$;

6) G (G) (оптовая и розничная торговля) — ОФ $x_{6,1}$; ЧЗ $x_{6,2}$; И $x_{6,3}$;

7) H (I) (гостиницы и рестораны) — ЧЗ $x_{7,2}$; И $x_{7,3}$;

8) I (H, J) (транспорт и связь) — ОФ $x_{8,1}$; ЧЗ $x_{8,2}$; пассажирооборот (автобусы) общего пользования $x_{8,4}$ и отправление железнодорожным транспортом пассажиров $x_{8,5}$;

9) J (K) (финансовая деятельность) — ОФ (всего) x_1 ; среднегодовая численность населения (далее — ЧН) x_2 ;

10) K (L, M, N) (операции с недвижимым имуществом) — ЧЗ $x_{10,2}$; И $x_{10,3}$;

11) L (O) (государственное управление) — ЧН x_2 ; расходы на социальную

¹ <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>

² <https://www.fedstat.ru/>

³ <https://уровень-инфляции.рф/таблицы-инфляции>

⁴ <https://realnoevremya.ru/attachments/1760>

⁵ <https://www.fedstat.ru/indicator/59450>

политику (консолидированный бюджет) $x_{11,2}$;

12) М (Р) (образование) — ЧЗ $x_{12,1}$; расходы на образование (консолидированный бюджет) $x_{12,2}$;

13) N (Q) (здравоохранение) — ЧН x_2 ; заболеваемость $x_{13,2}$;

14) О (R, S) (предоставление прочих услуг) — ЧН x_2 ; расходы на социальную политику (консолидированный бюджет) $x_{11,2}$.

4.2. Анализ результативных признаков по разделам

Динамика изменения результативных признаков для Тульской области за 2018–2022 гг. представлена в табл. 1.

Из данных табл. 1 видно, что для раздела «Сельское хозяйство» наблюдается увеличение объема ВРП, за исключением последних двух оцениваемых лет. При этом численность занятых уменьшалась, начиная с 2013 г., а стоимость

Таблица 1. Динамика изменения результативных признаков для Тульской области за 2018–2022 гг., млн руб.

Table 1. Dynamics of changes in performance indicators for the Tula region in 2018–2022, million rubles

№	Модель	1	2	3	4	5
1	A (A)	16695,520	21420,629	22757,904	21722,825	16327,694
2	C (B)	1113,035	447,340	1422,369	1448,188	1507,172
3	D (C)	125494,659	111155,695	113505,045	123964,920	110023,537
4	E (E, D)	11408,605	11578,718	11663,426	10716,594	7535,859
5	F (F)	14469,451	18236,481	12516,847	16219,709	12057,374
6	G (G)	28660,643	26052,116	24464,747	22591,738	21351,600
7	H (I)	2226,069	2315,744	1706,843	2027,464	1758,367
8	I (H, J)	19478,107	19683,821	19059,744	15640,434	17583,670
9	J (K)	834,776	868,404	853,421	579,275	502,391
10	K (L, M, N)	23930,245	40525,514	40110,805	41418,186	33157,778
11	L (O)	10852,088	12157,654	11947,900	10426,956	10047,812
12	M (P)	8069,501	8105,103	8249,740	7530,579	8038,249
13	N (Q)	11408,605	11868,186	13085,795	11295,869	7787,054
14	O (R, S)	3617,363	4052,551	3129,212	4054,927	3516,734

Примечание: А, ..., О — модель для раздела по ОКВЭД 1; () — обозначение по ОКВЭД 2; 1, ... 5, 2018–2022 гг.

Источник: Рассчитано авторами по данным^{12,3,4}.

¹ <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204>

² <https://уровень-инфляции.рф/таблицы-инфляции>

³ <https://realnoevremya.ru/attachments/1760>

⁴ <https://www.fedstat.ru/indicator/59450>

основных фондов увеличивалась до 2020 г. с последующим незначительным снижением в 2021 и 2022 гг. То есть наблюдалось замещение фактора численности занятых фактором основных фондов. Увеличение ВРП при снижении основных факторов (ОФ, ЧЗ) можно объяснить вероятным изменением технологий и структуры производства сельскохозяйственной продукции, которые не учитываются в модели. При этом прослеживается явная корреляция ВРП со стоимостью основных фондов и численностью занятых.

Для раздела «Добыча полезных ископаемых» в целом, по сравнению с 2007 г., наблюдается рост, с колебаниями к снижению объема в 2020 г. по отношению к 2019 г. и последующими ростом в 2021 и 2022 гг. При общем росте основных фондов в абсолютном значении в скорректированных величинах их стоимость 2021 и 2022 гг. уменьшилась, что и сказалось на объеме ВРП по разделу С. В этот же период снизилась и занятость. Неизменный рост, вероятно, связан с изменением структуры добычи ископаемых, основными из которых в Тульской области являются уголь, железные руды, гипс и поваренная соль. Кроме того, наблюдался рост добычи строительных камней, что отразилось на объеме ВРП.

Если проследить динамику для обрабатывающих производств (раздел D, скорректированные данные), то в 2022 г. по сравнению с 2020 г. наблюдалось снижение ВРП. Аналогичные изменения претерпели основные фонды и численность занятых по данному виду деятельности.

Раздел «Производство электроэнергии, газа и воды» продемонстрировал положительную динамику до 2020 г. В 2022 г., как и для раздела D, наблюдалось снижение ввиду того, что в Тульской области основными потребителями, например электроэнергии, относящейся к данному разделу, явля-

ются обрабатывающие производства. Аналогичное снижение характерно и для стоимости основных фондов.

Сектор строительства F имел разнонаправленную динамику с ростом в 2021 г. по отношению к 2020 г. и снижением в 2022 г. по отношению к 2021 г. При этом в 2021 и 2022 гг. по отношению к 2020 г. наблюдался рост числа занятых и резкое снижение стоимости основных фондов в скорректированных ценах.

Сохранилась тенденция снижения ВРП в сфере оптовой и розничной торговли (G) на фоне колебаний численности занятых и изменениями основных фондов. При этом пик стоимости основных фондов пришелся на 2020 г. Для розничной торговли это был проблемный год, связанный с произошедшим локдауном, что видно по снижению численности занятых. Снижение ВРП может быть связано также с «перегретостью» этого рынка.

Аналогичная ситуация снижения ВРП в 2020 г. характерна и для сферы гостиничных и ресторанных услуг, что вызвано одной из причин — локдауном, с последующим восстановлением в 2021 г. и снижением до уровня 2019 г. в 2022 г. Последнее изменение, вероятно, обусловлено политическими причинами, которые трудно формализовать и ввести в качестве факторов в модель. При этом рост инвестиций в 2021 и 2022 гг. не позволили исправить ситуацию в краткосрочном периоде.

ВРП по разделу I (транспорт и связь) также наблюдалось снижение с 2019 по 2021 г. и рост в 2022 г. по сравнению с 2021 г., но его уровень не достиг уровня даже 2020 г. Очевидно, это явилось последствиями 2020 г. на фоне роста численности занятых, уменьшения основных фондов, а также уменьшения объема перевозок автобусами и железнодорожным транспортом. Кроме того, рост в 2022 г. объема ВРП в данной сфере связан с изменением стоимости транспортных услуг

и услуг связи, темп роста которых оказался выше, чем уровень инфляции.

Для финансовой деятельности снижение в Тульской области наблюдалось с 2019 г., что связано с уменьшением объема выданных кредитов вследствие увеличения процентной ставки на фоне тенденций снижения численности населения и сокращения стоимости основных фондов (2020–2022) (ввиду невозможности их обновления).

Рост инвестиций не привел к положительному эффекту в области операций с недвижимым имуществом.

Для раздела «Финансовая деятельность», начиная с 2020 г., наблюдалось снижение объема ВРП с уменьшением темпа на фоне негативной тенденции изменения среднегодовой численности населения, так же как и расходов на социальную политику.

Аналогичные выводы можно сделать и для других видов деятельности.

Как видно из результатов анализа, за рассматриваемые периоды меняются

как результаты, так и факторы, причем ряд факторов (условий) ввиду объективных обстоятельств не могут быть включены в модель. Поэтому целесообразно рассматривать последний период оценки и строить модель конкретно для него. Для реализации предложенной методологии и построения моделей необходимо перейти к нечетким представлениям результативных и факторных признаков.

4.3. Представление данных по факторам в виде нечетких чисел

Для каждого из факторов были получены значения в виде нечетких чисел.

Для их расчета была использована программная платформа «Инфоаналитика 2.0» [35].

На рис. 1 представлено значение объема ВРП по разделу А на числовой и лингвистической шкалах для Тульской области в 2022 г. В качестве нормы использовано среднее значение за 2007–2022 гг., число реперов классов равно 9.

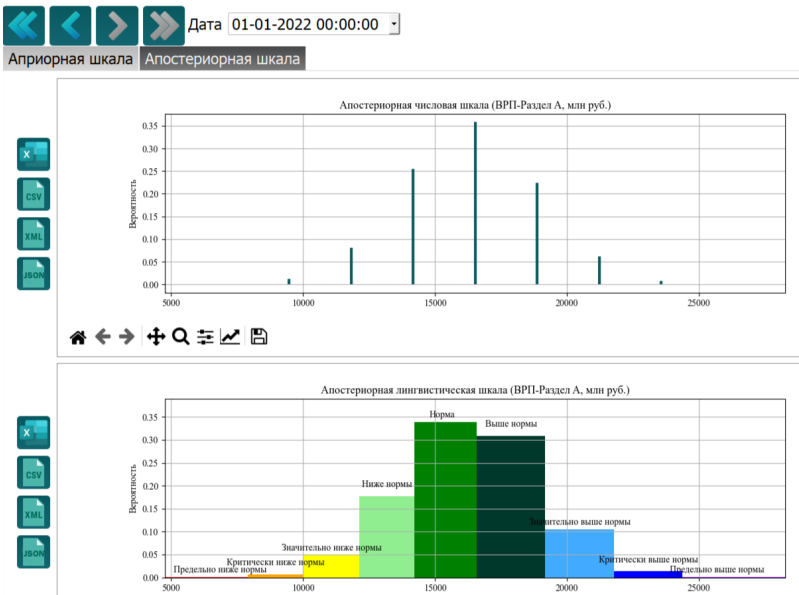


Рис. 1. Значение ВРП по разделу А на числовой и лингвистической шкалах для Тульской области в 2022 г.

Figure 1. The value of the GDP by region according to section A on numerical and linguistic scales for the Tula region in 2022

Таблица 2. Значения реперов и вероятности для объема ВРП по разделу А для Тульской области в 2022 г.

Table 2. Reference values and probabilities for the GDP by region according to section A for the Tula region in 2022

№	Значение репера	Терм	Вероятность	Нижняя граница	Верхняя граница
1	6869,584	Предельно ниже нормы	0,001	4767,469	7920,641
2	8971,699	Критически ниже нормы	0,007	7920,641	10022,756
3	11073,813	Значительно ниже нормы	0,049	10022,756	12124,871
4	13175,928	Ниже нормы	0,178	12124,871	14226,986
5	15278,043	Норма	0,339	14226,986	16576,537
6	17875,030	Выше нормы	0,309	16576,537	19173,524
7	20472,017	Значительно выше нормы	0,104	19173,524	21770,511
8	23069,004	Критически выше нормы	0,013	21770,511	24367,498
9	25665,991	Предельно выше нормы	0,001	24367,498	28262,978

Источник: рассчитано авторами.

Числовые значения реперов и вероятностей представлены в табл. 2.

4.4. Формирование выборки достаточного объема

На каждом из интервалов были сгенерированы значения результативных и факторных признаков общим объемом 7 000 наблюдений. В качестве базового

распределения использовано треугольное распределение.

Гистограммы сгенерированных выборок для ВРП, основных фондов и численности занятых по разделу А для Тульской области в 2022 г. представлены на рис. 2.

Фрагмент сгенерированных выборок представлен в табл. 3.

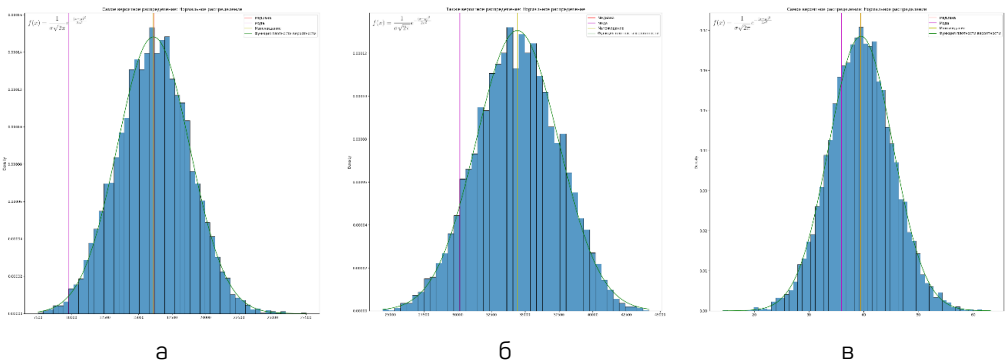


Рис. 2. Гистограммы сгенерированных выборок для ВРП (а), основные фонды (б) и численность занятых (в) по разделу А для Тульской области в 2022 г.

Figure 2. Histograms of the generated samples for GDP by region (a), Fixed Assets (б) and Employees (в) according to section A For the Tula region in 2022

Таблица 3. Фрагмент сгенерированных выборок ВРП, основных фондов и численности занятых по разделу А для Тульской области в 2022 г.

Table 3. Fragment of the generated samples for the GDP by region, Fixed Assets and Employees according to section A for the Tula region in 2022

№ п/п	Объем ВРП, млн руб.	Основные фонды, млн руб.	Численность занятых, тыс. чел.
1	5851,260	20434,485	28,334
2	7291,065	21860,154	27,685
3	7169,684	25732,702	26,452
4	7188,605	24592,437	25,468
5	8684,472	24886,831	26,409
6	8496,640	25623,197	26,093
7	8932,262	25377,953	26,954
8	8811,436	23745,217	24,385
9	8483,644	25401,627	25,415
10	9358,944	25372,247	28,355

Источник: рассчитано авторами.

4.5. Построение и тестирование моделей

Для каждого из разделов Тульской области по сгенерированным выборкам были построены соответствующие модели в форме (10). Для их расчета была использована программная платформа «ЭФРА» [34].

Спецификация и результаты тестирования моделей представлены в табл. 4.

Из данных табл. 4 видно, что коэффициенты модели значимы, а коэффициент детерминации значимо отличается

от 0. Кроме того, для моделей (за исключением модели раздела С) средняя относительная ошибка не превышает 5 %, что свидетельствует о их высокой точности.

В табл. 5 приведены значения стандартизованных (* — обозначение) коэффициентов моделей.

По данным табл. 5 можно судить о степени влияния факторов на результативный признак.

В табл. 6 представлены эластичности факторов моделей.

Таблица 4. Спецификация и результаты тестирования моделей для Тульской области по сгенерированным выборкам

Table 4. Specification and test results of models for the Tula region based on generated samples

№	Модель	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2	MAPE, %
1	A (A)	2,243	0,758	0,287	—	—	0,834	4,594
2	C (B)	3,314	0,503	1,084	—	—	0,775	14,074
3	D (C)	30,023	0,195	0,933	0,111	—	0,881	3,638

Окончание табл. 4

№	Модель	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	R^2	$MAPE$, %
4	E (E, D)	6,623	0,349	1,044	—	—	0,909	3,734
5	F (F)	55,498	0,211	1,025	—	—	0,890	3,950
6	G (G)	12,722	0,137	0,694	0,042	—	0,895	3,902
7	H (I)	209,067	0,742	0,502	—	—	0,836	6,256
8	I (H, J)	520,708	0,137	0,473	0,054	0,052	0,902	2,732
9	J (K)	2,783	0,265	0,699	—	—	0,832	3,660
10	K (L, M, N)	480,674	0,154	0,456	—	—	0,843	4,744
11	L (O)	0,142	1,116	0,293	—	—	0,887	3,632
12	M (P)	27,460	0,647	0,292	—	—	0,844	3,140
13	N (Q)	0,012	0,760	1,164	—	—	0,816	6,882
14	O (R, S)	0,108	0,803	0,440	—	—	0,807	4,820

Примечание: a_i ($i = 0, \dots, 4$) — коэффициенты модели (для коэффициентов оценка осуществлялась по критерию Стьюдента, $p\text{-value} < 0,001$); A, ..., O — модель для раздела по ОКВЭД 1; () — обозначение по ОКВЭД 2; R^2 — коэффициент детерминации (значимость определялась по критерию Фишера, $p\text{-value} < 0,001$); $MAPE$ — средняя относительная ошибка выборки.

Источник: рассчитано авторами.

Таблица 5. Значения коэффициентов стандартизованных моделей для Тульской области по сгенерированным выборкам

Table 5. Coefficient values of standardized models for the Tula region based on the generated samples

№ п/п	Модель	a_1^*	a_2^*	a_3^*	a_4^*
1	A (A)	0,635	0,304	—	—
2	C (B)	0,357	0,509	—	—
3	D (C)	0,193	0,591	0,186	—
4	E (E, D)	0,324	0,651	—	—
5	F (F)	0,281	0,687	—	—
6	G (G)	0,194	0,642	0,139	—
7	H (I)	0,468	0,481	—	—
8	I (H, J)	0,213	0,482	0,128	0,165
9	J (K)	0,386	0,562	—	—
10	K (L, M, N)	0,463	0,507	—	—
11	L (O)	0,706	0,271	—	—
12	M (P)	0,598	0,362	—	—

Окончание табл. 5

№ п/п	Модель	a_1^*	a_2^*	a_3^*	a_4^*
13	N (Q)	0,353	0,560	—	—
14	O (R, S)	0,523	0,418	—	—

Примечание: a_i^* ($i = 1, \dots, 4$) — стандартизованные коэффициенты модели; A, ..., O — модель для раздела по ОКВЭД; () — обозначение по ОКВЭД2.

Источник: рассчитано авторами.

Таблица 6. Значения эластичностей факторов моделей для Тульской области по сгенерированным выборкам, %

Table 6. Elasticity values of models for the Tula region based on the generated samples, %

№	Модель	E_1	E_2	E_3	E_4
1	A (A)	0,811	0,107	—	—
2	C (B)	0,646	0,162	—	—
3	D (C)	0,203	0,408	0,095	—
4	E (E, D)	0,414	0,373	—	—
5	F (F)	0,177	0,420	—	—
6	G (G)	0,173	0,449	0,037	—
7	H (I)	0,226	0,205	—	—
8	I (H, J)	0,158	0,123	0,037	0,042
9	J (K)	0,372	0,523	—	—
10	K (L, M, N)	0,044	0,362	—	—
11	L (O)	0,885	0,327	—	—
12	M (P)	0,290	0,342	—	—
13	N (Q)	0,621	0,877	—	—
14	O (R, S)	0,718	0,554	—	—

Примечание: a_i^* ($i = 1, \dots, 4$) — стандартизованные коэффициенты модели; A, ..., O — модель для раздела по ОКВЭД; () — обозначение по ОКВЭД2.

Источник: рассчитано авторами.

По данным табл. 6 можно судить, насколько изменится результативный признак при изменении фактора на 1 %.

Рассмотрим раздел А. Среднемесячная заработная плата по сельскому хозяйству в Тульском регионе в 2022 г. была 49188,3 руб.

Увеличение численности занятых (в 2022 г. — 39,5 тыс. чел.) на 1 % составит 395 человек. Тогда общие среднегодовые затраты будут 233,2 млн руб. В этом случае прирост ВРП (коэффициент эластичности равен 0,107) будет насчитывать 1747,1 млн руб.

Изменение стоимости основных фондов на 1 % (в 2022 г. — 37347,8 млн руб.) приведет к увеличению основных фондов на 373,5 млн руб., а ВРП на 13241,8 млн руб. Если увеличить численность занятых в стоимостном выражении на величину стоимости основных фондов (то есть в 1,6 раза), то изменение ВРП будет в объеме 2798,5 млн руб., то есть полученный эффект почти в 4,7 раза меньше, чем при увеличении стоимости основных фондов.

Это означает, что производителю выгоднее модернизировать собственное производство, сокращая численность занятых в данной сфере. Такую стратегию хозяйствующих субъектов можно проследить по динамике сокращения численности занятых, начиная с 2013 г. Это подтверждает ранее высказанное предположение о замещении основными фондами трудовых ресурсов на фоне увеличения объема ВРП в рассматриваемые периоды.

Кроме того, заработная плата по разделу А составляет 84,7 % от среднемесячной заработной платы по разделу D (обрабатывающие производства), который является основным и приоритетным видом деятельности для Тульской области. Это также не стимулирует экономически активное население работать в данной сфере.

По разделу D эластичность для фактора занятости (0,408) существенно выше (почти в два раза), чем эластичность стоимости основных фондов. Согласно данным табл. 5, ситуация аналогична. Низкая эластичность 0,095 характерна для инвестиций. Вероятно, такой результат получен вследствие того, что в Тульском регионе обрабатывающая промышленность наукоемка и инвестиции дают эффект с запозданием, что не учитывает предложенная модель, хотя влияние инвестирования безусловно.

Еще одной возможной причиной такого результата может служить и управление инвестициями в данной сфере, что требует корректировки инвестиционной политики в области. В 2022 г. по разделу D заработная плата в среднем за месяц составила 58047,7 руб., численность занятых — 161,1 тыс. чел. Изменение ЧЗ на 1 % приведет к увеличению численности на 1610 чел. и затрат со стороны предприятия на (без учета страховых взносов) 1122,2 млн руб., а также увеличению объема ВРП на 44889,6 млн руб.

С другой стороны, увеличение стоимости основных фондов на 1 % даст дополнительные затраты на сумму 1813,4 млн руб. и, соответственно, ВРП на величину 22334,8 млн руб., что в 2,0 раза меньше, чем при увеличении численности занятых. Если уравнивать затраты на трудовые ресурсы и основные фонды, увеличив численность на 1,6 % (тогда затраты составят 1813,4 млн руб.), то прирост ВРП по разделу D составит 72541,1 млн руб., или в 3,2 раза больше, чем при изменении стоимости ОФ. Учитывая страховые выплаты (примем их равными 30 %), затраты на увеличение численности на 1 % составят 1458,8 тыс. руб., а при выравнивании затрат на ОФ и численность занятых даст прирост ВРП на 55800,8 млн руб., что в 2,5 раза выше. Следовательно, и в этом случае предприятиям обрабатывающей промышленности выгодней увеличивать трудовые ресурсы, чем обновлять или модернизировать основные фонды. Такая стратегия, за исключением 2021 г., прослеживалась с 2017 г.

Поскольку есть потенциал и стимул со стороны предприятий обрабатывающих производств, можно корректировать и уровень заработной платы, например до уровня заработной платы в финансовой сфере, где он выше почти в 1,3 раза выше. Однако невнимание к модернизации и обновлению основных фондов

со стороны органов управления может дать негативный эффект в среднесрочной перспективе ввиду возможного отставания в использовании современных средств производства.

Согласно данным табл. 6, для раздела G (оптовая и розничная торговля) прослеживается аналогичная разделу D ситуация по эластичности (0,173 — ОФ, 0,449 — ЧЗ, 0,037 — И). Увеличение численности занятых на 1 % приведет к увеличению затрат (среднемесячная заработная плата в 2022 г. составила 42928,5 тыс. руб., или 79 % от уровня по разделу D) на 838,4 млн руб. (с учетом страховых выплат), тогда как для основных фондов (в 2022 г. — 12682,9 млн руб.) — на 126,8 млн руб. В свою очередь такое изменение даст прирост ВРП соответственно на 9586,9 млн руб. и 3693,8 млн руб.

Если воспользоваться аналогичным уравниванием затрат (для численности занятых затраты в 6,6 раз больше, чем стоимость основных фондов) и уменьшить изменение численности занятых до 0,2 %, то увеличение ВРП составит 1450,2 млн руб., что в 2,5 раза меньше, чем при корректировке основных фондов.

Следовательно, предприятиям оптовой и розничной торговли целесообразно увеличивать стоимость основных фондов и уменьшать численность занятых. Последняя тенденция как раз и наблюдалась в 2022 г., по сравнению с 2021 г.

Однако увеличение стоимости основных фондов может привести к менее ожидаемому результату со снижением темпов роста, что прежде всего связано с возможным насыщением данной сферы деятельности. Действительно, наблюдавшийся в последние годы рост количества торговых центров, оптовых баз и других торговых точек привел к перераспределению потребителей среди новых структур и оттоку из точек про-

даж, существовавших ранее в силу ограниченной и постоянно уменьшающейся численности населения. А рост потребления замедляется инфляционными процессами на фоне незначительного роста реальных денежных доходов населения согласно официальной статистике¹. Эластичность по инвестициям также незначительна и составила в 2022 г. 0,037.

Аналогичные рассуждения можно провести и для остальных видов деятельности, осуществляемых в Тульской области.

5. Обсуждение

Результаты, рассмотренные в данной статье и посвященные применению комбинации эконометрического моделирования и нечеткого моделирования на основе байесовских интеллектуальных измерений к изучению экономической подсистемы СЭЭС, дают возможность методологически обоснованно, в силу наличия достаточного объема выборки (согласно [27]), использовать методы математической статистики для построения корректных регрессионных моделей. Полученные соотношения и правомерность их использования подтверждаются работами Huning & Wahl [6] и Zhukov et al. [30].

В отличие, например, от исследований D'Andrea [13] и Duan et al. [14], генерация выборки осуществлялась на нечетких данных, но с учетом конкретных условий функционирования региона, что расширяет возможности применения байесовского подхода при изучении экономических процессов в сложных системах.

Полученные модели для объема ВРП по разделам ОКВЭД обладают статистически значимыми R^2 и низкой MAPE. Таким образом, возможно мето-

¹ https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Urov_11subg-nm.xlsx

дологически обоснованное построение эконометрических моделей по данным для отдельного субъекта Российской Федерации (а именно, рассматривается экономическая подсистема Тульской области) в определенный период времени, что подтверждает поставленную гипотезу.

Кроме того, полученные модели дают возможность оценить степень влияния факторов на результативный признак, в частности при преобразовании моделей к стандартизованному виду (табл. 2) или вычислении соответствующих эластичностей.

Превалирующее влияние основных фондов по отношению к другим факторам, включенным в модели, на результативный признак характерно для разделов А (А); численности занятых — для С (В), D (С), E (Е, D), F (F), G (G), I (H, J), M (P); инвестиций — K (L, M, N); среднегодовой численности населения — J (K), L (O), O (R, S). За счет замещения факторов моделей можно добиться заданных (плановых) значений результативных признаков, что с точки зрения управления представляет собой регулирование процессов в рамках социально-экономического развития территорий, таких, например, как модернизация основных фондов, корректировка политики занятости, демографическая политика, перераспределение расходов в консолидированном бюджете области и т. п. Например, Тульская область обладает промышленной специализацией (доля в ВРП в 2022 г. — 43,8 %). Однако степень влияния основных фондов существенно ниже, чем численности занятых. Это может означать, что необходимо улучшать и модернизировать ОФ в ближайшем будущем.

На втором месте по доле в ВРП Тульской области стоит раздел К (операции с недвижимым имуществом; предоставление услуг; профессиональная,

научная и техническая деятельность по ОКВЭД2) (13,2 %). Здесь соотношение между коэффициентами численности занятых (0,463) и инвестициями (0,507) близко к единице 0,921. Отметим, что это единственный вид деятельности, в котором влияние инвестиций выше относительно других факторов. Следовательно, можно сделать вывод о заинтересованности институциональных единиц области в развитии данного направления.

На третьем месте по доле находится раздел G (торговля) (8,5 %), где значения стандартизованных коэффициентов соответственно равны 0,194 (основные фонды), 0,642 (численность занятых) и 0,139 (инвестиции). Такой результат (наибольшее влияние у занятых) ожидаем вследствие специфики данного вида деятельности. Значения коэффициентов для основных фондов и инвестиций сравнимы между собой, их отношение к численности занятых составляет 0,302 и 0,217 соответственно.

Четвертое место занимает раздел I (транспорт и связь) (доля ВРП 7,0 %). Соответствующие стандартизованные коэффициенты равны 0,213 — основные фонды, 0,482 — численность занятых, 0,128 — пассажирооборот автобусами, а для отправления пассажиров РЖД — 0,165. И по этому разделу превалирует влияние численности занятых.

На пятом месте находится раздел А (6,5 %). В отличие от остальных видов деятельности, наибольшее влияние оказывает наличие основных фондов. Если посмотреть на тенденцию изменения численности занятых, то она неуклонно уменьшается, начиная с 2013 г. Одной из причин может являться низкий уровень заработной платы по сравнению с другими сферами деятельности.

Таким образом, характер влияния факторов на результативный признак

(при анализе стандартизованных коэффициентов) может дать ответ на особенности функционирования элементов экономической подсистемы. Кроме того, сравнение с параметрами моделей (например, по датасетам других областей (Центральный федеральный округ)) по кроссекционной или панельной (объединенной по пространству и во времени) выборкам даст возможность оценить соответствие функционирования субъектов Российской Федерации общерегиональным тенденциям. Полученные таким образом модели могут выступать в качестве нормативных моделей, представленных, например, в [33, 34].

Следует отметить наличие ограничений на построенные модели, касающиеся того, что они могут быть использованы только для Тульской области. Для других субъектов Российской Федерации необходимо строить собственные модели по собственным данным. Кроме того, разработанные модели могут быть применены для поиска количественных значений, необходимых для улучшения результатов функционирования экономической подсистемы в рамках оптимизационных моделей, аналогичных моделям в работе Жукова [34] лишь на краткосрочный период без введения дополнительных предположений.

Работа по преодолению таких ограничений будет проведена в дальнейших исследованиях.

6. Заключение

Данное исследование устраняет методологический пробел при построении эконометрических моделей по данным, характеризующимся ограниченным набором, неполнотой и нечеткостью, что, по сути, дает возможность корректно и методологически обосновано моделировать функциони-

рование сложных систем в условиях неопределенности, характерных для социо-эколого-экономических систем. По его результатам можно сформулировать следующие выводы.

1. Подтверждена гипотеза относительно возможности методологически обоснованного построения эконометрических моделей по данным для отдельного субъекта Российской Федерации в определенный период времени в условиях неполноты и нечеткости данных.

2. Предложены этапы, позволяющие объединить методологии эконометрического моделирования и байесовских интеллектуальных измерений применительно к социо-эколого-экономической системе, ее подсистемам (в частности, экономическим подсистемам) и элементам.

3. Проведена апробация представленной методологии на примере экономической подсистемы Тульской области, в результате которой были построены модели связи объема ВРП для 14 разделов ОКВЭД 1 по данным за 2022 г., обладающие высоким качеством и статистически значимыми параметрами.

4. Построенные модели могут служить инструментом анализа степени воздействия влияющих факторов на результативный признак с целью дальнейшего регулирования социально-экономической политики Тульской области в рамках разрабатываемых программ развития.

Проведенное исследование вносит определенный вклад в развитие моделирования функционирования сложных систем — социо-эколого-экономических систем, за счет комбинирования методов эконометрики с методологией байесовских интеллектуальных измерений с целью методологически обоснованного построения моделей по единичным датасетам и измерениям, которые обладают специфическими условиями и ограниче-

ниями. Это определяет теоретическую значимость работы.

Дальнейшее применение моделей заключается в их использовании в оптимизационных моделях, дающих возможность получить количествен-

но выраженные изменения факторов, необходимые для обеспечения устойчивого и сбалансированного развития области, что представляет собой практическую значимость проведенного исследования.

Список использованных источников

1. Akperov I., Kurianov N. The assessment of regional economic potential based on the methodology of fuzzy set theory // *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 120. Pp. 372–375. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.252>
2. Zadeh L. A. The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning // *Information Sciences*. 1975. Vol. 8, Issue 3. Pp. 199–249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)
3. Zolfani S. H., Krishankumar R., Pamucar D., Gorçün O. F. The potentials of the Southern & Eastern European countries in the process of the regionalization of the global supply chains using a q-rung orthopair fuzzy-based integrated decision-making approach // *Computers & Industrial Engineering*. 2022. Vol. 171. 108405. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108405>
4. Huang H., Tian Y., Tao Zh. Multi-rule combination prediction of compositional data time series based on multivariate fuzzy time series model and its application // *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 238. 121966. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121966>
5. Ouifak H., Idri A. Application of neuro-fuzzy ensembles across domains: A systematic review of the two last decades (2000–2022) // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 124. 106582. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106582>
6. Huning T. R., Wahl F. The fetters of inheritance? Equal partition and regional economic development // *European Economic Review*. 2021. Vol. 136. 103776. <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2021.103776>
7. Kutty A. A., Kucukvar M., Onat N. C., Ayvaz B., Abdella G. M. Measuring sustainability, resilience and livability performance of European smart cities: A novel fuzzy expert-based multi-criteria decision support model // *Cities*. 2023. Vol. 137. 104293. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104293>
8. Ruben R. B., Rajendran C., Ram R. S., Kouki F., Alshahrani H. M., Assiri M. Analysis of barriers affecting Industry 4.0 implementation: An interpretive analysis using total interpretive structural modeling (TISM) and Fuzzy MICMAC // *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Issue 12. e22506. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22506>
9. Ziesmer J., Jin D., Mukashov A., Henning Ch. Integrating fundamental model uncertainty in policy analysis A Bayesian averaging approach combining CGE-models with metamodeling techniques // *Socio-Economic Planning Sciences*. 2023. Vol. 87. 101591. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101591>
10. Forrester A, Sobester A, Keane A. *Engineering Design via Surrogate Modelling: A Practical Guide*. John Wiley & Sons, 2008. <https://doi.org/10.1002/9780470770801>
11. Myers R. H., Montgomery D., Vining G. G., Robinson T. J. *Generalized Linear Models: With Applications in Engineering and the Sciences*. Second Edition. John Wiley & Sons, 2012. <https://doi.org/10.1002/9780470556986>
12. Iacopini M., Poon A., Rossini L., Zhu D. Bayesian mixed-frequency quantile vector autoregression: Eliciting tail risks of monthly US GDP // *Journal of Economic Dynamics & Control*. 2023. Vol. 157. 104757. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2023.104757>
13. D'Andrea S. Are there any robust determinants of growth in Europe? A Bayesian Model Averaging approach // *International Economics*. 2022. Vol. 171. Pp. 143–173. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2022.06.001>

14. Duan K., Lan F., Zhao Y., Huang Y. Housing networks in urban China: A panel VAR model with Bayesian stochastic search // *Cities*. 2023. Vol. 140. 104400. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104400>
15. Canoz I., Kalkavan H. Forecasting the dynamics of the Istanbul real estate market with the Bayesian time-varying VAR model regarding housing affordability // *Habitat International*. 2024. Vol. 148. 103055. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2024.103055>
16. Salles Th.T, Nogueira D. A., Beijo L. A., Silva L. F. Bayesian approach and extreme value theory in economic analysis of forestry projects // *Forest Policy and Economics*. 2019. Vol. 105. Pp. 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.05.021>
17. Debnath B., Shakur M. S., Bari A. B.M.M., Karmaker Ch.L. A Bayesian Best-Worst approach for assessing the critical success factors in sustainable lean manufacturing // *Decision Analytics Journal*. 2023. Vol. 6. 100157. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100157>
18. Klein N., Herwartz H., Kneib Th. Modelling regional patterns of inefficiency: A Bayesian approach to geoadditive panel stochastic frontier analysis with an application to cereal production in England and Wales // *Journal of Econometrics*. 2020. Vol. 214, Issue 2. Pp. 513–539. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2019.07.003>
19. Szafranek K., Szafranski G., Leszczyńska-Pachecna A. Inflation returns. Revisiting the role of external and domestic shocks with Bayesian structural VAR // *International Review of Economics and Finance*. 2024. Vol. 93. Pp. 789–810. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.03.054>
20. Mozdzen A., Cremaschi A., Cadonna A., Guglielmi A., Kastner G. Bayesian modeling and clustering for spatio-temporal areal data: An application to Italian unemployment // *Spatial Statistics*. 2022. Vol. 52. 100715. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2022.100715>
21. Elhorst J. P. The dynamic general nesting spatial econometric model for spatial panels with common factors: Further raising the bar // *Review of Regional Research*. 2022. Vol. 42. Pp. 249–267. <https://doi.org/10.1007/s10037-021-00163-w>
22. Noia A. D., Mastrantonio G., Lasinio G. J. Bayesian size-and-shape regression modelling // *Statistics and Probability Letters*. 2024. Vol. 204. 109928. <https://doi.org/10.1016/j.spl.2023.109928>
23. Aivazian S. A. Quality of Life and Living Standards Analysis: An Econometric Approach. De Gruyter, 2016. <https://doi.org/10.1515/9783110316254>
24. Potapenko A., Popov A., Vorontsov K. Interpretable probabilistic embeddings: Bridging the gap between topic models and neural networks // *Proceedings of 6th Conference Artificial Intelligence and Natural Language. AINL 2017*. Edited by A. Filchenkov, L. Pivovarova, J. Žižka. Communications in Computer and Information Science. Vol. 789. Springer, Cham, 2018. Pp. 167–180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71746-3_15
25. Averkin A., Yarushev S. Deep neural networks in semantic analysis // *Proceedings of 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions — ICSCCW-2019*. Edited by R. A. Aliev, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, M. Jamshidi, M. B. Babanli, F. M. Sadikoglu. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 1095. Springer, Cham, 2020. Pp. 846–853. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35249-3_112
26. Бормотов И. В., Жуков Р. А., Руднева И. Д., Спиридонова К. А. Ценностный мир молодежи: состояние и перспективы в условиях экономических санкций // *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2023. Т. 243, № 5. С. 34–50. <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2023-243-5-34-50>
27. Прокопчина С. В. Проектный менеджмент в условиях неопределенности на основе регуляризирующего байесовского подхода // *Мягкие измерения и вычисления*. 2023. Т. 69, № 8. С. 50–68. <https://doi.org/10.36871/26189976.2023.08.004>
28. Жуков Р. А., Прокопчина С. В., Гиниатов И. А., Николина Е. М. Применение библиотеки «Байесовская математическая статистика» в программном комплексе «Инфоинтегратор» // *Мягкие измерения и вычисления*. 2022. Т. 54, № 5. С. 99–108. <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.05.008>

29. Zhong F., Chen R., Luo X., Song X., Ullah A. Assessing regional resilience in China using a sustainable livelihoods approach: Indicators, influencing factors, and the relationship with economic performance // *Ecological Indicators*. 2024. Vol. 158. 111588. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111588>

30. Zhukov R. A., Kuznetsov G. V., Fomicheva I. V., Myasnikova E. B., Vasina M. V., Tsigler M. V. A Model of socio-ecological and economic system: the Tula region of the Russian Federation // *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2019. Vol. 10. No. 7. Pp. 1539–1558. [https://doi.org/10.14505/jemt.v10.7\(39\).12](https://doi.org/10.14505/jemt.v10.7(39).12)

31. Andrews I., Stock J. H., Sun L. Weak Instruments in Instrumental Variables Regression: Theory and Practice // *Annual Review of Economics*. 2019. Vol. 11. Pp. 727–753. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080218-025643>

32. Макаров В. Л., Айвазян С. А., Афанасьев М. Ю., Бахтизин А. Р., Нанавян А. М. Моделирование развития экономики региона и эффективность пространства инноваций // *Форсайт*. 2016. Т. 10, № 3. С. 76–90. <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.3.76.90>

33. Жуков Р. А., Плинская М. А., Манохин Е. В. Оценка функционирования регионов на основе производственных функций с приведенными стоимостными факторами // *Journal of Applied Economic Research*. 2023. Т. 22, № 3. С. 657–682. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.027>

34. Жуков Р. А. Подход к оценке функционирования иерархических социально-экономических систем и принятию решений на базе программного комплекса «ЭФРА» // *Бизнес-информатика*. 2020. Т. 14, № 3. С. 82–95. <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.82.95>

35. Жуков Р. А., Прокопчина С. В., Бормотов И. В., Манохин Е. В., Руднева И. Д. Модель ценностного мира российской молодежи на основе байесовских байесовских интеллектуальных измерений // *МИР (Модернизация. Инновации. Развитие)*. 2024. Т. 15, № 1. С. 96–114. <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жуков Роман Александрович

Доктор экономических наук, доцент, научный сотрудник Тульского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, г. Тула, Россия (300012, г. Тула, ул. Оружейная, 1а); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2280-307X> e-mail: pluszh@mail.ru

Прокопчина Светлана Васильевна

Доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа в экономике Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, г. Москва, Россия (125167, Москва, Ленинградский просп., 49/2); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5500-2781> e-mail: svprokopchina@mail.ru

Плинская Мария Александровна

Магистрант Тульского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, г. Тула, Россия (300012, г. Тула, ул. Оружейная, 1а); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1307-0935> e-mail: plinskaya@gmail.com

Желункина Мария Анатольевна

Магистрант Тульского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, г. Тула, Россия (300012, г. Тула, ул. Оружейная, 1а); ORCID <https://orcid.org/0009-0006-3129-2749> e-mail: maria202001@yandex.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-20020, <https://rscf.ru/project/24-28-20020/> и Тульской области.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Жуков Р. А., Прокопчина С. В., Плинская М. А., Желуница М. А. Моделирование функциональных связей региональных экономических систем по малым выборкам на основе байесовских интеллектуальных измерений // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 721–750. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.029>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 26 мая 2024 г.; дата поступления после рецензирования 18 июня 2024 г.; дата принятия к печати 22 июня 2024 г.

Modeling of Functional Relationships of Regional Economic Systems Based on Small Samples Based on Bayesian Intelligent Measurements

Roman A. Zhukov¹  , Svetlana V. Prokopchina² , Maria A. Plinskaya¹ ,
Maria A. Zhelunitsina¹ 

¹Tula Branch of The Financial University under the Government
of the Russian Federation,
Tula, Russia

²The Financial University under the Government of the Russian Federation,
Moscow, Russia

 pluszh@mail.ru

Abstract. Regional economies, which are economic subsystems of a socio-ecological-economic system, are characterized by rapidly changing conditions affecting their functioning. Therefore, traditional approaches based on long-term trends and the construction of appropriate models are not enough for modeling and need to be over updated, including through combination with other approaches that take into account the volatility of conditions. Open sources datasets are fraught with uncertainty (different sources may have different values for the same indicator). So, some indicators are being constantly adjusted: changes are introduced into datasets from the previous periods; evaluation periods are not sufficient for model construction that would be methodologically valid from the point of view of mathematical statistics. Additionally, the results of functioning depend on influencing factors as well as measurement results. These problems lead to the need to resort to probabilistic estimates and the incompleteness and fuzziness dataset, as well as to obtain samples of sufficient volume from low-power data. The purpose of the study is to model the relationship between the volume of gross domestic product and the factors characterizing the functioning of the economic subsystem of the regions, under the conditions of uncertainty and limited data in a given period of time. The case study is constructed on The Tula region dataset. The working hypothesis is that it is possible to construct a methodologically correct econometric models using the dataset of a specific region of the Russian Federation over a certain period of time. We applied the methods of econometric modeling and the methodology of Bayesian intelligent measurements, as well as the methodology for generating a sufficient amount of data on small samples. For the Tula region and dataset for 2022, nonlinear models for the GDP by region volumes (14 sections of the NACE) were built. This made it possible to test the presented methodology based on a combination of econometric and Bayesian approaches to modeling the complex systems functioning, with conclusions having both theoretical and practical value for the region's sustainable development.

Key words: gross domestic product by region; production function; socio-ecological-economic system; model; Bayesian intellectual measurements; small sample.

JEL C10, C43, P25, R15, R11

References

1. Akperov, I, Kurianov, N. (2017). The assessment of regional economic potential based on the methodology of fuzzy set theory. *Procedia Computer Science*, Vol. 120, 372–375. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.252>
2. Zadeh, L.A. (1975). The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. *Information Sciences*, Vol. 8, Issue 3, 199–249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)

3. Zolfani, S.H., Krishankumar, R., Pamucar, D., Gorçün, O.F. (2022). The potentials of the Southern & Eastern European countries in the process of the regionalization of the global supply chains using a q-rung orthopair fuzzy-based integrated decision-making approach. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 171, 108405. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108405>
4. Huang, H., Tian, Y., Tao, Zh. (2024). Multi-rule combination prediction of compositional data time series based on multivariate fuzzy time series model and its application. *Expert Systems with Applications*, Vol. 238, 121966. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121966>
5. Ouifak, H., Idri, A. (2023). Application of neuro-fuzzy ensembles across domains: A systematic review of the two last decades (2000–2022). *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 124, 106582. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106582>
6. Huning, T.R., Wahl, F. (2021). The fetters of inheritance? Equal partition and regional economic development. *European Economic Review*, Vol. 136, 103776. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103776>
7. Kutty, A.A., Kucukvar, M., Onat, N.C., Ayvaz, B., Abdella, G.M. (2023). Measuring sustainability, resilience and livability performance of European smart cities: A novel fuzzy expert-based multi-criteria decision support model. *Cities*, Vol. 137, 104293. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104293>
8. Ruben, R.B., Rajendran, C., Ram, R.S., Kouki, F., Alshahrani, H.M., Assiri, M. (2023). Analysis of barriers affecting Industry 4.0 implementation: An interpretive analysis using total interpretive structural modeling (TISM) and Fuzzy MICMAC. *Heliyon*, Vol. 9, Issue 12, e22506. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22506>
9. Ziesmer, J., Jin, D., Mukashov, A., Henning, Ch. (2023). Integrating fundamental model uncertainty in policy analysis A Bayesian averaging approach combining CGE-models with meta-modeling techniques. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 87, 101591. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2023.101591>
10. Forrester, A., Sobester, A., Keane, A. (2008). *Engineering Design via Surrogate Modelling: A Practical Guide*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470770801>
11. Myers, R.H., Montgomery, D., Vining, G.G., Robinson, T.J. (2012). *Generalized Linear Models: With Applications in Engineering and the Sciences*. Second Edition. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470556986>
12. Iacopini, M., Poon, A., Rossini, L., Zhu, D. (2023). Bayesian mixed-frequency quantile vector autoregression: Eliciting tail risks of monthly US GDP. *Journal of Economic Dynamics & Control*, Vol. 157, 104757. <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2023.104757>
13. D'Andrea, S. (2022). Are there any robust determinants of growth in Europe? A Bayesian Model Averaging approach. *International Economics*, Vol. 171, 143–173. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2022.06.001>
14. Duan, K., Lan, F., Zhao, Y., Huang, Y. (2023). Housing networks in urban China: A panel VAR model with Bayesian stochastic search. *Cities*, Vol. 140, 104400. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104400>
15. Canoz, I., Kalkavan, H. (2024). Forecasting the dynamics of the Istanbul real estate market with the Bayesian time-varying VAR model regarding housing affordability. *Habitat International*, Vol. 148, 103055. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2024.103055>
16. Salles, Th.T., Nogueira, D.A., Beijo, L.A., Silva, L.F. (2019). Bayesian approach and extreme value theory in economic analysis of forestry projects. *Forest Policy and Economics*, Vol. 105, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.05.021>
17. Debnath, B., Shakur, M.S., Bari, A.B.M.M., Karmaker, Ch.L. (2023). A Bayesian Best-Worst approach for assessing the critical success factors in sustainable lean manufacturing. *Decision Analytics Journal*, Vol. 6, 100157. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100157>
18. Klein, N., Herwartz, H., Kneib, Th. (2020). Modelling regional patterns of inefficiency: A Bayesian approach to geoadaptive panel stochastic frontier analysis with an application to

cereal production in England and Wales. *Journal of Econometrics*, Vol. 214, Issue 2, 513–539. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2019.07.003>

19. Szafranek, K., Szafranski, G., Leszczyńska-Paczesna, A. (2024). Inflation returns. Revisiting the role of external and domestic shocks with Bayesian structural VAR. *International Review of Economics and Finance*, Vol. 93, 789–810. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.03.054>

20. Mozdzen, A., Cremaschi, A., Cadonna, A., Guglielmi, A., Kastner, G. (2022). Bayesian modeling and clustering for spatio-temporal areal data: An application to Italian unemployment. *Spatial Statistics*, Vol. 52, 100715. <https://doi.org/10.1016/j.spasta.2022.100715>

21. Elhorst, J.P. (2022). The dynamic general nesting spatial econometric model for spatial panels with common factors: Further raising the bar. *Review of Regional Research*, Vol. 42, 249–267. <https://doi.org/10.1007/s10037-021-00163-w>

22. Noia, A.D., Mastrantonio, G., Lasinio, G.J. (2024). Bayesian size-and-shape regression modelling. *Statistics and Probability Letters*, Vol. 204, 109928. <https://doi.org/10.1016/j.spl.2023.109928>

23. Aivazian, S.A. (2016). *Quality of Life and Living Standards Analysis: An Econometric Approach*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110316254>

24. Potapenko, A., Popov, A., Vorontsov, K. (2018). Interpretable probabilistic embeddings: Bridging the gap between topic models and neural networks. *Proceedings of 6th Conference Artificial Intelligence and Natural Language. AINL 2017*. Edited by A. Filchenkov, L. Pivovarova, J. Žižka. Communications in Computer and Information Science, Vol. 789. Springer, Cham, 167–180. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71746-3_15

25. Averkin, A., Yarushev, S. (2020). Deep neural networks in semantic analysis. *Proceedings of 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions — ICSCCW-2019*. Edited by R. A. Aliev, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, M. Jamshidi, M. B. Babanli, F. M. Sadikoglu. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1095. Springer, Cham, 846–853. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35249-3_112

26. Bormotov, I.V., Zhukov, R.A., Rudneva I. D., Spiridonova K. A. (2023). Youth World of Values: Status and Trends under Economic Sanctions. *Scientific Works of the Free Economic Society of Russia*, Vol. 243, No. 5, 34–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2023-243-5-34-50>

27. Prokopchina, S.V. (2023). Project management in conditions of uncertainty based on the regularizing Bayesian approach. *Soft Measurements and Computing*, Vol. 69, No. 8, 50–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.36871/26189976.2023.08.004>

28. Zhukov, R.A., Prokopchina, S.V., Giniatov, I.A., Nikolina, E.M. (2022). Application of The Bayesian Mathematical Statistics Library in the Infointegrator Software Package. *Soft Measurement and Computing*, Vol. 54, No. 5, 99–108. (In Russ.). <https://doi.org/10.36871/2618-9976.2022.05.008>

29. Zhong, F., Chen, R., Luo, X., Song, X., Ullah, A. (2024). Assessing regional resilience in China using a sustainable livelihoods approach: Indicators, influencing factors, and the relationship with economic performance. *Ecological Indicators*, Vol. 158, 111588. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111588>

30. Zhukov, R.A., Kuznetsov, G.V., Fomicheva, I.V., Myasnikova, E.B., Vasina, M.V., Tsigler, M.V. (2019). A Model of socio-ecological and economic system: the Tula region of the Russian Federation. *Journal of Environmental Management and Tourism*, Vol. 10, No. 7, 1539–1558. [https://doi.org/10.14505/jemt.v10.7\(39\).12](https://doi.org/10.14505/jemt.v10.7(39).12)

31. Andrews, I., Stock, J.H., Sun, L. (2019). Weak Instruments in Instrumental Variables Regression: Theory and Practice. *Annual Review of Economics*, Vol. 11, 727–753. <https://doi.org/10.1146/annurev-economics-080218-025643>

32. Makarov, V., Ayvazyan, S., Afanasyev, M., Bakhtizin, A., Nanavyan, A. (2016). Modeling the Development of Regional Economy and an Innovation Space Efficiency. *Foresight and STI Governance*, Vol. 10, No. 3, 76–90. (In Russ.). <https://doi.org/10.17323/1995-459X.2016.3.76.90>

33. Zhukov, R.A., Plinskaya, M.A., Manokhin, E.V. (2023). Assessment of the Regions Functioning Based on Production Functions with the Above Cost Factors. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 22, No. 3, 657–682. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/vestnik.2023.22.3.027>

34. Zhukov, R.A. (2020). An approach to assessing the functioning of hierarchical socio-economic systems and decision-making based on the EFRA software package. *Business Informatics*, Vol. 14, No. 3, 82–95. (In Russ.). <https://doi.org/10.17323/2587-814X.2020.3.82.95>

35. Zhukov, R.A., Prokopchina, S.V., Bormotov I. V., Manokhin E. V., Rudneva I. D. (2024). The model of the value system of Russian youth based on Bayesian intellectual measurements. *MIR (Modernization. Innovation. Research)*, Vol. 15, No. 1, 96–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.18184/2079-4665.2024.15.1.96-114>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Roman Aleksandrovich Zhukov

Doctor of Economics, Associate Professor, Researcher of The Financial University under the Government of the Russian Federation (Tula Branch), Tula, Russia (300012, Tula, Oruzheynaya street, 1a); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2280-307X> e-mail: pluszh@mail.ru

Svetlana Vasilievna Prokopchina

Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of System Analysis in Economics, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia (125167, Moscow, Leningradsky Prospekt, 49/2); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5500-2781> e-mail: svprokopchina@mail.ru

Maria Aleksandrovna Plinskaya

Master Student, The Financial University under the Government of the Russian Federation (Tula Branch), Tula, Russia (300012, Tula, Oruzheynaya street, 1a); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1307-0935> e-mail: plinskaya@gmail.com

Maria Anatolievna Zhelunitsina

Master Student, The Financial University under the Government of the Russian Federation (Tula Branch), Tula, Russia (300012, Tula, Oruzheynaya street, 1a); ORCID <https://orcid.org/0009-0006-3129-2749> e-mail: maria202001@yandex.ru

ACKNOWLEDGMENTS

The study was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 24-28-20020, <https://rscf.ru/project/24-28-20020/> and Tula region.

FOR CITATION

Zhukov, R.A., Prokopchina, S.V., Plinskaya, M.A., Zhelunitsina, M.A. (2024). Modeling of Functional Relationships of Regional Economic Systems Based on Small Samples Based on Bayesian Intelligent Measurements. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 721–750. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.029>

ARTICLE INFO

Received May 26, 2024; Revised June 18, 2024; Accepted June 22, 2024.



Влияние межрегиональных пространственных эффектов на экономическое развитие регионов России

П. А. Попова , Т. В. Букина , Д. В. Кашин  

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»,

г. Пермь, Россия

 dvkashin@hse.ru

Аннотация. В работе проводится анализ межрегиональных пространственных эффектов и оценивается их влияние на развитие регионов России. Учитывая различия в географическом положении регионов, а также особенности региональной экономики в каждом субъекте РФ. Актуальным вопросом является оценка и анализ межрегиональных пространственных взаимодействий для разработки современных программ регионального развития. Цель данного исследования — изучить неоднородность регионов РФ, выявив межрегиональные пространственные взаимодействия. В работе представлена методология оценки межрегиональных пространственных эффектов, выбраны показатели для выявления и оценки эффектов. В исследовании используются данные по 77 регионам России. При оценке пространственных эффектов учитывались регионы, вошедшие в состав Российской Федерации в 2014 г.: Республика Крым и город федерального значения Севастополь. Ключевая зависимая переменная в эконометрических моделях — темп роста ВРП. В числе независимых переменных мы рассматриваем 17 показателей, также характеризующих региональное развитие за период 2015–2020 гг. В ходе исследования выявлено, что межрегиональные пространственные эффекты присутствуют для всех регионов России, для западных эти эффекты положительные, а для восточных — отрицательные. Показано, что уровень инновационного развития в одном регионе оказывает более сильное влияние на темпы роста ВРП соседних регионов, чем в самом регионе. Выявлено, что сокращение инвестиций в основной капитал способствует увеличению темпов роста ВРП, а также, что увеличение импорта в одном регионе приводит к снижению темпов роста ВРП в других. Полученные результаты устойчивы к выбору весовых матриц и свидетельствуют о том, что для развития западных регионов РФ необходимы комплексные меры, затрагивающие все регионы, — в таком случае эффект от данных изменений за счет наличия пространственных эффектов будет усиливаться. В части восточных регионов, наоборот, необходима разработка индивидуальных программ развития для каждого отдельного региона.

Ключевые слова: межрегиональные эффекты; пространственная эконометрика; взаимодействия между регионами; пространственные лаги; индекс Морана; косвенные пространственные зависимости регионов.

1. Введение

Особенности регионального развития в России определяются наличием достаточно сильного территориального неравенства — величина разрывов в уровне развития регионов превышает десятки, а по некоторым

показателям — сотни раз [1]. Каждый регион России имеет свою природно-географическую, экономическую и социально-демографическую специфику, которая, с одной стороны, является одним из ключевых преимуществ страны и позволяет использовать весь

спектр факторов и возможностей для ее развития, с другой — представляет угрозу, заключающуюся в увеличении территориального разрыва по динамике социально-экономического развития и уровню жизни населения.

В условиях турбулентности экономики фактором, который возможно окажет влияние на сокращение территориального неравенства, может стать взаимодействие регионов и, как результат, возникновение пространственных эффектов, исследование которых стало одним из ключевых направлений экономической науки в XXI в.

Основной идеей в моделировании регионального развития с учетом пространственных эффектов стало то, что на развитие региона влияют не только его внутренние характеристики — социально-экономические, общественно-политические, экологические и другие факторы, но и характеристики смежных с ним регионов-соседей. Так, например, регион, развиваясь, может стягивать на себя экономические ресурсы, что будет негативно влиять на экономический рост соседей. Такой эффект говорит о наличии отрицательной пространственной взаимосвязи между регионами. Возможна и обратная ситуация, когда механизмы кооперации позволяют расти соседним регионам за счет роста региона-локомотива. В таком случае существует положительная пространственная взаимосвязь [2]. Инструментом, позволяющим оценить описываемые межрегиональные взаимосвязи, является пространственная эконометрика, современный уровень исследований в которой характеризуется применением пространственных моделей на кросс-секционных и панельных данных.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что обнаружение значимого влияния пространственных эффектов на региональное развитие позво-

лит выявить группы сформированных региональных кластеров и сетей, где регионы взаимодействуют и сотрудничают друг с другом для достижения синергетических эффектов и улучшения своих экономических показателей. Это, в свою очередь, может способствовать поиску оптимальных мер по стимулированию регионального развития и повышению конкурентоспособности регионов через разработку современных программ регионального развития, учитывающих найденные межрегиональные пространственные взаимодействия.

Исследовательский вопрос в том, какое влияние оказывают межрегиональные пространственные эффекты на экономический рост регионов России?

Цель исследования — изучить неоднородность регионов РФ, выявив межрегиональные пространственные взаимодействия, и провести анализ чувствительности результатов расчетов по пространственным регрессионным моделям к выбору весовых матриц и к разным наборам независимых переменных.

В работе представлена методология оценки межрегиональных пространственных эффектов, выбраны показатели для выявления и оценки эффектов. В исследовании используются данные по 77 регионам России. При оценке пространственных эффектов впервые учитывались регионы, вошедшие в состав Российской Федерации в 2014 г., это Республика Крым и город федерального значения Севастополь. Ключевая зависимая переменная в эконометрических моделях — темп роста ВРП. В числе независимых переменных мы рассматриваем 17 показателей, также характеризующих региональное развитие за период 2015–2020 гг.

Гипотезы исследования:

H1: Пространственные эффекты влияют на экономический рост всех регионов Российской Федерации.

H2: Для западных регионов Российской Федерации присутствуют положительные пространственные эффекты.

H3: Для восточных регионов Российской Федерации присутствуют отрицательные пространственные эффекты.

Отметим, что географическая граница между восточными и западными регионами РФ проходит по восточному основанию Уральских гор и Мугоджар, реке Эмбе, по северному берегу Каспийского моря, по Кумо-Манычской впадине и Керченскому проливу.

Структура работы. Обзор литературы отражает подходы к моделированию пространственных эффектов, существующие взгляды исследователей на вопрос влияния межрегиональных эффектов на экономический рост территорий. В разделе с данными и методами описана эмпирическая база исследования, логика процедур отбора переменных, а также проводится оценка влияния межрегиональных пространственных эффектов на экономический рост регионов России. Раздел «Обсуждение» отражает анализ полученных результатов и ограничения их использования. Заключение статьи обосновывает возможность применения полученных результатов на практике и предлагает направления дальнейших исследований.

2. Обзор литературы

Cliff & Ord [3] впервые ввели термин «пространственный эффект». На примере анализа взаимосвязи между экономической активностью и урбанизацией в Великобритании авторы показали, что в некоторых случаях существует связь между расположенными рядом в пространстве наблюдениями по одной и той же переменной. Авторы обнаружили, что города, могут как положительно, так и отрицательно коррелировать друг

с другом и что имеет место особый случай корреляции в пространстве — пространственная автокорреляция. Наличие этого эффекта также означало необходимость учета пространственной структуры при построении эконометрических моделей.

Cliff & Ord [4] в более поздней работе исследовали концепцию пространственной автокорреляции и ее последствия для изучения регионального развития. Авторы показали, что невключение пространственного лага в оцениваемую модель ведет к смещенным и несостоятельным оценкам коэффициентов регрессии.

Несмотря на то, что работы [3] и [4] стали важными вехами в развитии пространственной эконометрики, они были ограничены в некоторых аспектах ввиду еще неразвитой на тот момент методологии. Например, в этих работах не рассматривалась проблема пространственной неоднородности, которая относится к различиям в экономических условиях в разных регионах. Не рассматривались и другие, актуальные на данный момент, проблемы, такие как гетероскедастичность, неправильная спецификация моделей и т. д. Требовалось решение и других накопившихся к этому моменту методологических проблем.

Doreian [5] отмечал, что если пространственная зависимость существует, то применение обычных методов оценки линейных уравнений становится проблематичным. Это связано с тем, что хотя пространственная автокорреляция и может рассматриваться как частный случай автокорреляции, однако размерность задачи повышается с временной до пространственно-временной, что не позволяет использовать стандартные тесты и методы оценки.

Getis [6] показал, что стандартный тест Дарбина — Уотсона на наличие автокорреляции оказался неприме-

ним к стандартным линейным моделям, и требовалась его модификация.

Demidova et al. [2] обосновали, что есть и другая проблема — учет пространственных взаимосвязей в спецификации модели. Авторы показали, что если воспользоваться стандартными методами эконометрики и вводить дополнительные переменные для учета влияния каждого региона, то число степеней свободы в итоговой модели будет недостаточным для того, чтобы все эти переменные оценить. Невозможной представляется и оценка ковариационной матрицы, так как число ковариаций увеличивается квадратично при линейном росте числа наблюдений, что порождает проблемы, связанные с некорректной спецификацией модели.

Anselin [7, 8] предложил модель пространственного лага и модель пространственной ошибки, которые и сегодня используются при оценке межрегиональных пространственных эффектов. Модель пространственного лага учитывает пространственную автокорреляцию путем введения пространственной весовой матрицы, которая отражает взаимосвязи между наблюдениями. Модель пространственной ошибки, с другой стороны, учитывает как пространственную автокорреляцию, так и гетероскедастичность, вводя структуру пространственной автокорреляции в ошибку регрессионной модели. Автор также ввел методы тестирования и измерения пространственной автокорреляции: статистику Морана (Moran's I) и статистику Гири (Geary's C).

В последние годы проблема неправильной спецификации пространственной эконометрической модели и проблема выбора взвешивающих матриц стали центральными темами в пространственной эконометрике.

Plümper & Neumayer [9] на примере модели пространственной зависимости

в международной конкуренции ставок налога на капитал Хейса продемонстрировали, что совсем небольшие изменения в изначальной спецификации приводят к совершенно другим результатам, часто противоречащим друг другу.

Демидова и Семерикова [10] объясняют такую повышенную чувствительность пространственных моделей к ошибкам спецификации, обуславливаемых сложностью разграничения пространственных эффектов и общих тенденций и шоков, а также отсутствием широких знаний относительно некоторых аспектов спецификации модели. При оценке результатов по данным российских регионов авторами не было обнаружено значительных отличий в оценках коэффициентов, в то время как для регионов Германии оценки значительно разнились как между типами моделей, так и видами используемых взвешивающих матриц. Более того, во второй части исследования авторы проверили устойчивость оценок к спецификации матриц с помощью симулированных данных. Было установлено, что матрица обратных расстояний подвержена меньшему смещению в оценках коэффициентов, чем граничная матрица, что делает использование граничных матриц менее предпочтительным.

Niebuhr [11] в части проблемы выбора взвешивающих матриц решает ее применением стандартных матриц смежности и матриц расстояний.

Kolomak [12, 13] использует матрицу смежности регионов и матрицу расстояний между региональными центрами для решения проблемы выбора взвешивающих матриц.

Гафарова [14] анализирует и обобщает работы с пространственными эффектами, делая вывод об использовании достаточно стандартного набора взвешивающих матриц: матрицы смежности и различные вариации матриц обратных расстояний.

Gibbons & Overman [15] отмечают невозможность существования универсальной взвешивающей матрицы для всех объектов ввиду их неоднородности. Для преодоления данной проблемы исследователям пришлось разделить выборку на несколько частей.

Lottmann [16] также делил выборку на несколько частей — на восточные и западные регионы. Schioppa & Basile [17] использовали деление на северные и южные регионы. Basile [18] — на центральные и периферийные.

Basile [18] использовал набор панельных данных, охватывающих период с 1995 по 2008 г. для 20 регионов Италии. Для включения пространственной структуры автор использовал матрицу, основанную на евклидовом расстоянии между регионами, где учитывались k -ближайших соседей каждого региона. Результаты исследования показали, что миграция оказывает значительное влияние на региональную безработицу, причем в регионах с более высоким уровнем притока мигрантов уровень безработицы ниже. Более того, включение пространственного лага позволило обнаружить наличие пространственных эффектов для уровня безработицы.

Yu & Wei [19] моделировали темпы экономического роста пространственно-эконометрическим подходом на данных Китая. Ojede et al. [20] на данных США, Amidi & Ali Fagheh [21] — на данных ЕС. Во всех означенных работах показано существование пространственных эффектов и взаимовлияние регионов друг на друга.

Kholodilin et al. [22] изучают пространственные эффекты на данных по 76 российским регионам за 1998–2006 гг. Авторы показывают существование пространственных связей между субъектами РФ, однако отмечают, что интенсивность этих связей существенно меньше по сравнению с европейскими

из-за более дальних расстояний и более слабой развитости транспортной инфраструктуры.

Балаш [23] в своем исследовании, посвященном пространственному анализу конвергенции регионов России, подтвердил наличие пространственной зависимости для экономического роста регионов РФ. Автор тестировал спецификации spatial autoregressive model (SAR) и spatial error model (SEM) — в обоих случаях результаты были практически одинаковыми: оба коэффициента пространственной корреляции оказались значимыми, а тесты максимального правдоподобия, мультипликатора Лагранжа и Вальда подтвердили наличие пространственных эффектов в обеих спецификациях. Автор не высказал предпочтений в сторону какой-либо из спецификаций, тем не менее в случае равнозначных результатов между данными моделями предпочтение следует отдать модели SAR. Это связано с тем, что зачастую, если в результате сравнения наилучшей оказывается модель спецификации SEM, то это может свидетельствовать о наличии пропущенных пространственно-автокоррелированных переменных, из-за чего возникают проблемы неправильной спецификации.

Соотносятся эти результаты и с работами, моделирующими иные региональные процессы.

Xu et al. [24] изучали влияние городского железнодорожного транспорта на стоимость недвижимости в Китае, и, помимо стандартной модели множественной регрессии, тестировались модели SAR и SEM. Результаты статистики Морана, теста множителей Лагранжа и робастной версии теста множителей Лагранжа свидетельствуют о предпочтении выбора спецификации модели в пользу SAR. Более того, значение коэффициента детерминации и информационного критерия Акаике были

проверены для всех моделей. Модель с пространственным лагом зависимой переменной показала наилучшее качество по обоим показателям, по сравнению с остальными моделями.

Neelawala et al. [25] также занимались моделированием стоимости недвижимости. Различием с предыдущими авторами, однако, являлось то, что оценивалось влияние плавильной и горнодобывающей деятельности на примере территорий Австралии. Помимо стандартных OLS- и GWR-моделей, тестировались SAR и SEM для учета пространственных эффектов. Аналогично из двух предложенных исследователи остановились на модели спецификации SAR, основываясь на результатах робастного теста множителей Лагранжа.

В работах упомянутых авторов проводится анализ межрегионального экономического взаимодействия на основе комплекса оптимизационных межрегиональных, межотраслевых моделей. Большое внимание авторы уделяют подходам, которые позволяют оценить сбалансированность экономического пространства. Используются SAR-модели для анализа межрегионального воздействия и для анализа конвергенции регионального развития, а также для разработки инерционных и альтернативных сценариев социально-экономического развития регионов.

Применительно к российским данным используется классическое деление на западные и восточные регионы по их географической границе. При этом западные регионы характеризуются более высоким уровнем экономического развития, более высокой плотностью населения и освоенностью по сравнению с восточными регионами.

Таким образом, в данном разделе было сформировано представление о возможности применения инструментов пространственной эконометрики при

проведении региональных исследований: обоснованы важные методы спецификации пространственных взаимосвязей, выявлены и охарактеризованы виды пространственных матриц, характеризующиеся наибольшей частотностью использования в региональных исследованиях.

3. Данные и методы

3.1. Данные

В исследовании используются данные за период 2015–2020 гг. по 17 показателям экономического развития 77 регионов России. Согласно административно-территориальному делению в рассматриваемый период, в Российской Федерации насчитывалось 85 регионов.

В исследовании выбросы были обусловлены следующими факторами.

Во-первых, ввиду отсутствия сплошного временного ряда статистических данных были исключены следующие регионы: Республика Ингушетия, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Тыва, Камчатский край, Чукотский автономный округ.

Во-вторых, автономные округа рассматривались в составе соответствующих областей: Ненецкий автономный округ в составе Архангельской области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа в составе Тюменской области.

В данном исследовании при оценке пространственных эффектов учитывались регионы, вошедшие в состав Российской Федерации в 2014 г.: Республика Крым и город федерального значения Севастополь.

В качестве зависимой переменной в работе выбран показатель — темп роста ВРП, поскольку исследователи пространственных эффектов используют данный показатель в качестве индикатора экономического развития [12, 13, 26].

В качестве ключевых независимых переменных использовались следующие показатели:

1) Доля инвестиций в основной капитал. Инвестиции являются одними из ключевых факторов роста в неоклассической модели [27]. В исследовании используется их отношение к ВРП региона, чтобы нивелировать размерность региона. Такой же способ использовался в ряде других работ, посвященных моделированию экономического развития с учетом пространственных эффектов [2, 28].

2) Темп роста стоимости основных фондов. Аналогично данный показатель выступает в качестве ключевого фактора в неоклассической модели и отражает качество физического капитала в производственной функции [29].

3) Плотность населения. В моделях новой теории роста остаток в классической модели Солоу принято раскладывать на дополнительные факторы. Так, в модели Лукаса дополнительно выделяется фактор человеческого капитала [30]. Плотность населения в таком случае может использоваться в качестве прокси-показателя состояния человеческого капитала [26].

4) Доля людей с высшим образованием в составе занятого населения. Высшее образование является необходимым условием современных коммуникаций, эффективным способом повышения уровня благосостояния. Данный показатель призван отражать качество рабочей силы, поскольку чем выше уровень образования, тем больше шансов найти подходящую по уровню заработной платы работу [31].

5) ВРП на душу населения. Используется в ряде аналогичных исследований в качестве показателя общей экономической ситуации в регионе: чем больше, тем лучше общий уровень жизни, ниже безработица, выше заработная плата и т. д. [10].

6) Отношение экспорта и импорта к ВРП региона. Используются в качестве показателей открытости региона для торговли. Положительная связь между открытостью для внешней торговли и экономическим ростом была доказана в работе [32].

7) Число выданных патентов на 1 тыс. человек. Инновации также традиционно рассматриваются в теориях эндогенного экономического роста [33]. В целом инновационную активность в регионе можно отразить большим количеством показателей, однако наиболее часто используемыми являются индикаторы патентной активности [31].

8) Коэффициент миграционного прироста на 10 тыс. человек. Влияние миграционных потоков на региональный рост отражено в работе [35]. Так, значительные притоки мигрантов могут существенно изменить экономическую ситуацию в регионе. С другой стороны, мигранты стремятся в более экономически развитые регионы с высокой заработной платой, что также является индикатором более развитых регионов.

9) Число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников. Данный показатель отражает развитие Интернета в регионе. Его значимость при моделировании экономического роста региона была продемонстрирована в работе [13].

10) Отраслевая структура валовой добавленной стоимости. Учет различий в структуре экономики также используется при моделировании экономического роста [2, 34]. В данной работе это учитывается через долю видов экономической деятельности в суммарной валовой добавленной стоимости региона.

Данные показатели охватывают большинство компонент экономического развития регионов России. В исследовании также используются контрольные переменные на производственную функ-

цию (табл. 1), а именно доля инвестиций в основной капитал, темп роста стоимости основных фондов, доля людей с высшим образованием в экономически активном населении, общей плотности населения региона, число выданных заявок на 10 000 человек, миграционный прирост на 10 000 человек, число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников.

3.2. Методы

Для учета пространственных эффектов в модель вводятся взвешивающие матрицы. В работе будут использованы весовые матрицы, основанные на географическом расстоянии: это бинарная матрица смежности регионов и матрица обратных расстояний.

Бинарная матрица смежности регионов имеет вид:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если регионы } i \text{ и } j \\ & \text{имеют общую границу} \\ 0, & \text{если регионы} \\ & \text{не граничат между собой} \end{cases}. \quad (1)$$

Бинарная матрица смежности позволяет определить уровень соседства регионов: соседи первого порядка — непосредственные, то есть регионы напрямую взаимодействуют друг с другом, соседи второго, третьего и других порядков опосредованные, то есть регионы напрямую не взаимодействуют друг с другом. В целях корректной оценки коэффициентов для Калининградской области в матрицах смежности использовались ближайшие регионы РФ.

Данная матрица учитывает только непосредственный характер взаимодействия, в результате которого пространственные эффекты могут возникать в результате воздействия одного региона на соседей первого порядка.

Матрица обратных расстояний имеет вид:

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}} \\ 0, & \text{если } i = j \end{cases}, \quad (2)$$

где d_{ij} — расстояние между центрами i и j .

Значения в матрице обратных расстояний получены путем расчета расстояний между административными центрами регионов по автомобильным дорогам. Обратное расстояние обеспечивает более низкие значения для более удаленных регионов и более высокие значения для более близких расстояний.

Такой способ расчета близости регионов позволяет нивелировать тот факт, что, если два или более соседних региона географически расположены близко друг к другу, влияние соседних регионов на конкретный регион будет значительно больше.

Следующим этапом производился расчет индекса Морана. Индекс позволяет оценить, какова в данных степень пространственной автокорреляции.

$$M = \frac{N}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \times \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

где: x_i, x_j — значения вышепредставленных показателей в каждом регионе, $\bar{x}$ — среднее значение показателя, w_{ij} — элементы матрицы весов, N — количество регионов, i и j — индексы регионов.

В данном исследовании, аналогично [23], будем использовать модель с пространственным авторегрессионным лагом (SAR). Модель принимает следующий вид:

$$y_i = \rho \sum_{j=1}^N w_{ij} \cdot y_j + x_i \beta + e_i, \quad (4)$$

$$e_i \sim N(0, \sigma^2),$$

где x_i — объясняющие переменные, β — их коэффициенты, w_{ij} — матрица весов, ρ — коэффициент пространственной корреляции, i и j — индексы регионов.

Далее будут проанализированы регрессии для всех регионов РФ и для каждой их двух подвыборок регионов (западные и восточные регионы). Для оценки регрессионных моделей будет использован метод максимального правдоподобия, который позволяет получить несмещенные и состоятельные оценки [8].

На заключительных этапах исследования оцениваются косвенные эффекты, которые будут учитываться для всех независимых переменных. В моделях с пространственной корреляцией изменение независимой переменной одного региона не только сказывается на величине зависимой переменной этого региона (так называемый, прямой эффект), но и оказывает влияние на зависимую переменную в других регионах (косвенный эффект).

Рассмотрим подробнее модель пространственной авторегрессии (SAR), переписанную в следующей форме (временной эффект будем считать включенным в матрицу k объясняющих переменных X):

$$y = (I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon. \quad (5)$$

Введем следующее обозначение: $(I - \rho W)^{-1} I_N \beta_r = S_r(w)$. Запишем формулу (5) следующим образом:

$$y = \sum_{r=1}^k S_r(w) x_r + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon. \quad (6)$$

Косвенный эффект, то есть производная y по x_{jr} (влияние r -го параметра j -го региона на зависимую переменную i -го региона), выглядит следующим образом и может быть определен как среднее сумм по строкам матрицы $S_r(w)$:

$$\frac{dy}{dx_{jr}} = S_r(w)_{ij}. \quad (7)$$

3.3. Процедура исследования

Первым этапом были рассчитаны описательные статистики по всем исследуемым показателям. Для данных доступных в квартальном виде была выполнена интерполяция с сезонной корректировкой при помощи библиотеки `imputena` для Python.

Далее была построена корреляционная матрица переменных и посчитан показатель инфляции дисперсии VIF . Исследуемый набор показателей характеризуется отсутствием полной и частичной мультиколлинеарности. Временные ряды проверены на стационарность расширенным тестом Дики — Фуллера — в результате теста выявлено, что можно использовать показатели в исходном виде, не преобразовывая в первые разности.

Следующий этап — расчет индекса Морана. Данный индекс рассчитывался для всей совокупности регионов Российской Федерации, а также для западных регионов и для восточных регионов в отдельности.

Следующим шагом в исследовании пространственных эффектов является регрессионный анализ. Регрессии возможно оценить методом максимального правдоподобия (МПП), или обобщенным методом моментов (ОММ). В исследовании используется ММП, поскольку метод позволяет получить несмещенные и состоятельные оценки коэффициентов регрессии.

4. Результаты исследования

В табл. 1 представлены значения индекса Морана для всей совокупности регионов.

Для всей совокупности регионов РФ пространственная автокорреляция присутствует и для бинарной матрицы, и для матрицы обратных расстояний. Однако пространственные эффекты данных матриц различаются как по значимости, так и по направленности.

Таблица 1. Индекс Морана для всей совокупности регионов РФ

Table 1. Moran's index for all regions of Russia

Показатель	Год					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Бинарная матрица	0,3739*	0,3237*	−0,0667	0,0653	0,0713	0,1500**
Матрица обратных расстояний	−0,0167	−0,0372**	−0,0096	−0,0396*	−0,0218	−0,0291***

Примечания: получено авторами; здесь и далее во всех таблицах используются следующие обозначения: *** — уровень значимости 10 %; ** — уровень значимости 5 %; * — уровень значимости 1 %.

В период с 2017–2019 гг. индексы Морана являются незначимыми, что означает ослабевание пространственных связей между регионами. Значимость индекса Морана в 2020 г. объясняется процессами пандемийного периода — перестройкой логистических и производственных цепочек. Основное отличие матрицы обратных расстояний от бинарной заключается в том, что все значения индексов Морана отрицательные.

Далее рассмотрим подвыборку западных регионов. Результаты индекса Морана представлены в табл. 2.

Как для бинарной матрицы, так и для матрицы обратных расстояний результаты по подвыборке западных регионов схожи с результатами по всем регионам Российской Федерации. Далее рассмотрим значения индекса Морана для подвыборки восточных регионов (табл. 3).

Таблица 2. Индекс Морана для подвыборки западных регионов РФ

Table 2. Moran's index for a subsample of the western regions of Russia

Показатель	Год					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Бинарная матрица	0,4271*	0,3522*	−0,0052	0,0464	0,0992	0,1962**
Матрица обратных расстояний	−0,0287	−0,0655*	−0,0123	−0,0131	−0,0204	−0,0610*

Примечание: получено авторами.

Таблица 3. Индекс Морана для подвыборки восточных регионов РФ

Table 3. Moran's index for a subsample of the eastern regions of Russia

Показатель	Год					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Бинарная матрица	−0,0476	0,0755	−0,3958***	0,0442	−0,0226	−0,0023
Матрица обратных расстояний	−0,1009	−0,0687	−0,0632	−0,0452***	−0,0957	−0,0777

Примечание: получено авторами.

Пространственные взаимосвязи для восточных регионов оказались достаточно слабыми. Значимость для бинарной матрицы для подвыборки восточных регионов наблюдалась в 2017 г.; для матрицы обратных расстояний — в 2018 г. Объяснение этому возможно следующее. В 10-х гг. XXI в. развитие Дальнего Востока на государственном уровне было обозначено как приоритетное. Причина интереса восточным регионам была обусловлена тем, что на данных территориях длительный период времени сохранялся дисбаланс между значительными запасами природных ресурсов, научной инфраструктурой, производственной базой, с одной стороны, и низкими показателями уровня жизни населения — с другой.

Авторы проверили нормальность распределения ошибок регрессий (достаточно сильное предположение в ММП) тестами Харке — Бера и Шапиро — Уилка. Двусторонняя асим-

птотическая значимость в обоих тестах ($p\text{-value}$) $> 0,1$, что говорит в пользу возможности применения ММП для оценки регрессионных уравнений. Авторы также проверили устойчивость результатов эконометрических моделей тестами Ареллано — Бонда и Саргана — Хансена. Результаты тестов демонстрируют отсутствие автокорреляции первого и второго порядка в данных, а также свидетельствуют о выполнении условия идентифицируемости регрессионных моделей.

Поскольку в данной работе рассматриваются межрегиональные пространственные эффекты, внимание будет уделено косвенным эффектам, когда изменение независимой переменной одного региона оказывает влияние на зависимую переменную в других регионах. Рассмотрим результаты расчетов косвенных эффектов для всех регионов РФ (табл. 4).

Таблица 4. Результаты оценки косвенных эффектов для всех регионов России

Table 4. Results of the calculation of indirect effects for all regions of Russia

Показатели	Матрица обратных расстояний	Бинарная матрица
Коэффициент пространственной автокорреляции	0,77976*	0,49141*
Число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников	−0,945**	−0,263*
Доля инвестиций в основной капитал	−83,126	−16,800**
Отношение объема экспорта к ВРП региона	792,705	212,512
Доля финансовой и страховой деятельности в структуре валовой добавленной стоимости	23,946	4,895
Доля административной деятельности и сопутствующих дополнительных услуг в структуре валовой добавленной стоимости	−0,697	0,036
Отношение объема импорта к ВРП региона	−3915,033***	−698,389***
Доля добычи полезных ископаемых в структуре валовой добавленной стоимости	3,030*	0,797*

Окончание табл. 4

Показатели	Матрица обратных расстояний	Бинарная матрица
Миграционный прирост на 10 тыс. человек	0,007	−0,001
Доля обрабатывающих производств в структуре валовой добавленной стоимости	2,105**	0,665*
Доля людей с высшим образованием в составе занятого населения	0,286	−0,039
Число выданных патентов на 1 тыс. человек	−0,017**	−0,005*
Плотность населения	−0,593**	−0,134*
Доля строительства в структуре валовой добавленной стоимости	2,111	0,712**
Темп роста стоимости основных фондов	0,172	0,031
Доля оптовой и розничной торговли; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов в структуре валовой добавленной стоимости	0,748	0,259
Доля транспортировки и хранения в структуре валовой добавленной стоимости	−0,752	−0,256
ВРП на душу населения	9,11e-06	−1,29e-06

Примечание: получено авторами.

Коэффициент пространственной автокорреляции для всех регионов Российской Федерации оказался значимым на однопроцентном уровне и для бинарной матрицы, и для матрицы обратных расстояний.

Это свидетельствует о пространственном взаимодействии регионов и подтверждается гипотеза о присутствии для всех регионов Российской Федерации межрегиональных пространственных эффектов. Положительный знак при коэффициентах пространственной автокорреляции характеризует положительную пространственную взаимосвязь для всех регионов Российской Федерации — регионы-локомотивы способствуют росту соседних регионов благодаря механизмам сотрудничества.

В части оценки косвенных эффектов следующие результаты: для бинарной

матрицы и для матрицы обратных расстояний как значимость коэффициентов, так и знаки в целом совпадают. Это свидетельствует о робастности оценок к выбору взвешивающих матриц. К примеру, показатель число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников и число выданных патентов на 1 тыс. человек, характеризующие инновационное развитие в регионе, являются значимыми как для матрицы обратных расстояний, так и для бинарной матрицы (табл. 4).

При этом абсолютное значение косвенного эффекта как для показателя «Число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников», так и для показателя «Число выданных патентов на 1 тыс. человек» является значимым для матрицы обратных расстояний на 5 %-м уровне; для бинарной матрицы — на 1 %-м уровне. Это оз-

начает, что уровень инновационного развития в одном регионе оказывает более сильное влияние на темпы роста ВРП соседних регионов, чем в самом регионе.

При этом наблюдается обратная зависимость — чем выше уровень инновационного развития в данном регионе, тем меньше темпы роста ВРП соседних регионов. Объяснение этому может быть следующее: достаточно высокий уровень инновационного развития в регионе определяет наличие в нем технологически прорывных производств, что делает его более конкурентоспособным с точки зрения привлекательных рабочих мест. Это, в свою очередь, может способствовать оттоку из других регионов квалифицированной рабочей силы и, как результат, снижению в них темпов роста ВРП.

Косвенный эффект для показателя «Доля инвестиций в основной капитал» является незначимым для матрицы обратных расстояний значимым на 5 %-м уровне для матрицы обратных расстояний. Сокращение инвестиций в основной капитал способствует увеличению темпов роста ВРП.

Данный результат нельзя интерпретировать однозначно, хотя есть несколько объяснений данному фактору.

Во-первых, речь может идти об эффекте вытеснения — увеличение доли инвестиций в основной капитал может привести к сокращению другого вида инвестиций, например инвестиций в НИОКР и др., что может ограничить интенсивный рост и, как результат, отрицательно повлиять на темпы роста ВРП.

Во-вторых, инвестиции в основной капитал могут способствовать избытку производственных мощностей и, как результат, их неэффективному использованию, что негативно повлияет на темпы регионального роста.

Увеличение импорта в данном регионе приводит к снижению темпов ро-

ста ВРП в других (табл. 4). Объяснение данного факта может быть следующим: рост объемов импорта в ВРП при прочих равных условиях способствует формированию дефицита торгового баланса, большей конкурентоспособностью импортных товаров по сравнению с региональными и, как результат, оттоку денежных средств из региона.

Вид экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» в данном регионе оказывает существенное влияние на темпы роста ВРП других. Значимость коэффициента как для бинарной матрицы, так и матрицы обратных расстояний является значимым на 1 %-м уровне. Вклад обрабатывающих производств в структуру валовой добавленной стоимости является драйвером регионального роста и имеет место косвенный эффект, который определяется взаимодействием регионов: возникает мультипликативный эффект, проявляющийся в том, что при росте ВРП данного региона увеличивается спрос на необходимые для производства данного ВРП товары и услуги, производимые в других регионах, что, в свою очередь, стимулирует в данных регионах рост производства и увеличивает в них темпы роста ВРП.

Далее рассмотрим результаты расчета косвенных межрегиональных эффектов на подвыборках. Начнем с западных регионов (табл. 5).

Результаты для подвыборки западных регионов следующие. Значимым на 1 %-м уровне является коэффициент пространственной автокорреляции как для бинарной матрицы, так и для матрицы обратных расстояний. Это свидетельствует о пространственном взаимодействии регионов и подтверждается гипотеза о наличии положительных пространственных эффектов для западных регионов РФ.

Таблица 5. **Результаты расчета косвенных эффектов для западных регионов России**
Table 5. **Results of the calculation of indirect effects for the western regions of Russia**

Показатели	Матрица обратных расстояний	Бинарная матрица
Коэффициент пространственной автокорреляции	0,78034*	0,53444*
Число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников	−0,234	−0,195***
Доля инвестиций в основной капитал	−140,306**	−27,455**
Отношение объема экспорта к ВРП региона	1164,826	231,047
Доля финансовой и страховой деятельности в структуре валовой добавленной стоимости	17,205	0,362
Доля административной деятельности и сопутствующих дополнительных услуг в структуре валовой добавленной стоимости	−1,829	0,020
Отношение объема импорта к ВРП региона	−2096,756***	−527,313
Доля добычи полезных ископаемых в структуре валовой добавленной стоимости	1,934**	0,689*
Миграционный прирост на 10 тыс. человек	−0,018	−0,004
Доля обрабатывающих производств в структуре валовой добавленной стоимости	2,282**	0,818**
Доля людей с высшим образованием в составе занятого населения	0,442	−0,078
Число выданных патентов на 1 тыс. человек	−0,015**	−0,006*
Плотность населения	−0,422**	−0,132*
Доля строительства в структуре валовой добавленной стоимости	0,978	0,656
Темп роста стоимости основных фондов	0,184***	0,040***
Доля оптовой и розничной торговли; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов в структуре валовой добавленной стоимости	0,388	0,208
Доля транспортировки и хранения в структуре валовой добавленной стоимости	−0,948	−0,361
ВРП на душу населения	−0,001	−0,001

Примечание: получено авторами.

Исходя из того, что большая часть регионов расположена на Западе, вводится предпосылка о сопоставимости результатов для всех регионов и результатов для подвыборки западных регионов. Сравним результаты для вышеобозначенных групп и подробно остановимся на их отличиях (табл. 4 и табл. 5).

Для подвыборки западных регионов показатель «Число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников», характеризующий уровень инновационного развития, не является значимым для матрицы обратных расстояний и является значимым для бинарной матрицы на 10 %-м уровне. Негативный косвенный эффект является значимым, поскольку регионы, характеризующиеся достаточным уровнем развития Интернета, являются более конкурентоспособными с точки зрения привлекательных рабочих мест. Это, в свою очередь, может способствовать оттоку из других регионов квалифицированной рабочей силы и, как результат, снижению в них темпов роста ВРП.

Еще один показатель, который отличается в подвыборке западных регионов от всех регионов Российской Федерации, — это темп роста стоимости основных фондов (табл. 5). Значимость данного показателя для западных регионов определяется преобладанием в этой группе обрабатывающих фондоемких видов экономической деятельности, требующих постоянного обновления основных производственных фондов.

Темпы роста стоимости основного капитала для подвыборки западных регионов имеют положительный косвенный эффект, это значит, что рост стоимости основных фондов сопровождается расширением материально-технической базы фондоемких обрабатывающих производств и, учитывая их ключевую роль в структуре ВРП, обеспечивают устойчивые темпы роста ВРП.

Для подвыборки восточных регионов тестировалась гипотеза о присутствии в данной группе регионов отрицательных пространственных эффектов. Результаты расчетов косвенных эффектов для подвыборки восточных регионов представлены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты расчета косвенных эффектов для восточных регионов России

Table 6. Results of calculating indirect effects for the eastern regions of Russia

Показатели	Матрица обратных расстояний	Бинарная матрица
Коэффициент пространственной автокорреляции	0,52205*	0,06681
Число персональных компьютеров с доступом в Интернет на 100 работников	−0,349	−0,035
Доля инвестиций в основной капитал	14,885	0,279
Отношение объема экспорта к ВРП региона	−796,847	−3,344
Доля финансовой и страховой деятельности в структуре валовой добавленной стоимости	29,605	1,857

Окончание табл. 6

Показатели	Матрица обратных расстояний	Бинарная матрица
Доля административной деятельности и сопутствующих дополнительных услуг в структуре валовой добавленной стоимости	1,174	0,099
Отношение объема импорта к ВРП региона	−8015,226	−322,130
Доля добычи полезных ископаемых в структуре валовой добавленной стоимости	2,080***	0,127
Миграционный прирост на 10 тыс. человек	0,020	0,001
Доля обрабатывающих производств в структуре валовой добавленной стоимости	1,006	0,076
Доля людей с высшим образованием в составе занятого населения	0,137	−0,001
Число выданных патентов на 1 тыс. человек	0,001	−0,001
Плотность населения	12,209	1,280
Доля строительства в структуре валовой добавленной стоимости	2,192***	0,178
Темп роста стоимости основных фондов	−0,043	−0,003
Доля оптовой и розничной торговли; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов в структуре валовой добавленной стоимости	0,532	0,013
Доля транспортировки и хранения в структуре валовой добавленной стоимости	0,351	0,030
ВРП на душу населения	−0,001	0,001

Примечание: получено авторами.

Для подвыборки восточных регионов коэффициент пространственной автокорреляции значим только для матрицы обратных расстояний. Можно сделать вывод, что пространственные эффекты играют небольшую роль в развитии восточных регионов.

Таким образом, выдвинутая гипотеза о наличии негативных пространственных эффектов в восточных регионах не подтверждается. Можно сделать вывод, что развитие восточных регионов определяется не пространственным взаимодействием между ними, а особенностями самих регионов.

5. Обсуждение

Построение эконометрических моделей позволило определить степень влияния межрегиональных пространственных эффектов на экономический рост регионов России, а также глубже изучить механизмы взаимодействия регионов между собой.

В исследовании выдвигались три гипотезы, каждая из которых подтвердилась в ходе исследования. Гипотеза H1 является наиболее общей из трех, и она подтвердилась в первую очередь. На сегодняшний день уже не представ-

ляется возможным релевантная оценка факторов регионального роста без учета пространственных эффектов, что подтверждается в работах Kolomak [12], Demidova et al. [2].

В данном исследовании коэффициент пространственной автокорреляции для всех регионов Российской Федерации оказался значимым на однопроцентном уровне и для бинарной матрицы, и для матрицы обратных расстояний. Ранее в исследованиях Гафаровой [14], Демидовой и Семериковой [10] получены схожие результаты.

Необходимость разделения регионов на западные и восточные определяет вторую (*H2*) и третью (*H3*) гипотезы исследования. Gibbons & Overman [15] также поддерживали предположение об отсутствии релевантной и единой пространственной матрицы для всех регионов страны и отмечали, что использование такой матрицы приводит к нереалистичным оценкам эконометрических моделей и получаемым из них выводам. Разделение регионов на западные и восточные встречается в работах Kolomak [12] и Demidova [26].

В ходе исследования мы выявили, что западные регионы более развиты, характеризуются большей плотностью населения и застройки, а также ближе расположены друг к другу, а потому ожидается, что изменения, происходящие в данных регионах, будут иметь однонаправленный характер.

В предыдущих исследованиях при анализе восточных регионов отмечалось, что данные регионы более труднодоступны друг к другу ввиду природных условий, а также отличаются меньшей численностью населения и площадью застройки. Эти факторы усложняют взаимодействие регионов, а потому ожидалось и подтвердилось, что восточные регионы больше будут конкурировать

между собой, стягивая ресурсы в пользу своего регионального роста, негативно влияя на рост других регионов-соседей. Именно из-за этих отличий между группами регионов авторами в статье было выдвинуто предположение о разнонаправленном характере пространственных эффектов для восточных и западных регионов. Kolomak [13] также выявила отрицательные пространственные эффекты для восточных регионов.

Исследование имеет некоторые *ограничения*, которые могут побудить исследователей к рассмотрению более широкого круга вопросов.

1. Взаимосвязи процессов регионального развития можно изучить, не только предполагая линейные взаимосвязи, но также и с помощью анализа нелинейных связей между регионами.

2. Включение пространственной структуры, основанной на негеографических мерах расстояния может дать ценное представление о роли негеографических факторов в региональном развитии.

3. Вопрос разделения регионов России на западные и восточные также является весьма дискуссионным. С одной стороны, объединяя все регионы в одну выборку из-за высокой неоднородности данных по субъектам РФ пространственные модели могут иметь несостоятельные оценки параметров регрессии. С другой — при разделении на западные и восточные регионы возникает вопрос по поводу границы для такого разделения.

4. Исследовался значительно небольшой временной промежуток с 2015 до 2020 г. Включение новых данных позволит учесть влияние экзогенных экономических шоков на региональный экономический рост.

6. Заключение

В исследовании оценено влияние межрегиональных пространственных

эффектов на экономическое развитие регионов России. Проведенный анализ теоретических работ позволил сформировать представление о развитии пространственных методов в эконометрике и их использовании в контексте региональных исследований. На основе критического анализа теоретической части была сформирована большая часть методологии данного исследования — были выбраны оптимальные спецификации пространственных матриц, спецификация регрессионной модели, критерии и индексы, позволяющие проинтерпретировать полученные результаты, обоснован выбор зависимой и объясняющих переменных.

Основные выводы данного исследования подчеркивают значимость влияния пространственных эффектов на региональное развитие как всей совокупности регионов России, так и отдельной ее западной части. Важно, что данные эффекты характеризуются положительным влиянием, а значит, темпы роста одних регионов положительно влияют на темпы роста других, связанных с ними регионов. Для восточных регионов пространственные эффекты оказались довольно слабыми, и подтвердить их значимое влияние на темпы регионального роста не удалось. Это значит, что большая часть роста данных регионов обеспечена, скорее всего, их внутренними характеристиками.

Ограниченное развитие восточных территорий в сочетании со сложностями в их логистической доступности объясняет полученные результаты в части незначимых пространственных эффектов для этих регионов. С другой стороны, западные регионы характеризуются высокой конкурентоспособностью и более развитой экономикой, что позволяет их внутреннему росту влиять на рост других регионов. Можно предположить, что с течением времени пространствен-

ные связи между данными регионами ослабли, и на данный момент их развитие в большей степени зависит от собственных показателей и характеристик.

Результаты исследования могут быть использованы при адаптации существующих программ регионального развития с учетом пространственных взаимодействий между регионами. Полученные результаты свидетельствуют о том, что для западных регионов необходимы комплексные изменения, затрагивающие все регионы — в таком случае эффект от данных изменений за счет наличия пространственных эффектов будет усиливаться. В части восточных регионов, наоборот, необходима разработка индивидуальных программ развития для каждого отдельного региона, так как большая часть их роста обеспечена внутренними характеристиками самих регионов.

В дальнейших исследованиях предлагается уместным выделить с использованием пространственной автокорреляции Морана несколько центров экономического роста в России с зонами влияния на окружающие регионы, сгруппировать их и построить модели с пространственным лагом по каждой группе. Это позволит дополнительно детально оценить влияние пространственных эффектов на экономический рост регионов.

Результаты исследования демонстрируют наиболее значимые детерминанты экономического роста регионов России. В ходе анализа был выявлен ряд проблем в межрегиональном взаимодействии регионов, связанных, например, с изолированностью развития территориальных кластеров регионов, высокой концентрацией и слабой диверсификацией промышленного производства, выявлены логистические диспропорции в разных регионах. Пространственные эконометрические модели могут рассматриваться как инструмент поддерж-

ки принятия решений в сфере государственной региональной политики, направленной на обеспечение сбалансированного развития территорий.

Регуляторы могут использовать результаты работы для создания целостной и взаимосогласованной системы стратегических приоритетов регионального развития, децентрализации и партнерства разных групп стейкхолдеров регионального развития, совершенство-

вания инвестиционной деятельности региональных систем. Представляется возможным применить результаты при оценке согласованности налоговой, бюджетной, инвестиционной политики, для повышения качества информационно-аналитической базы принятия управленческих решений при реализации мероприятий структурной экономической политики в регионах РФ.

Список использованных источников

1. Бондаренко Н. Е., Губарев Р. В. Проблема регионального неравенства в социально-экономическом развитии Российской Федерации // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2020. Т. 17, № 5. С. 56–68. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2020-5-56-68>
2. Demidova O., Marelli E., Signorelli M. Spatial Effects on the Youth Unemployment Rate: The Case of Eastern and Western Russian Regions // Eastern European Economics. 2013. Vol. 51, Issue 5. Pp. 94–124. <https://doi.org/10.2753/EEE0012-8775510504>
3. Cliff A. D., Ord J. K. Spatial Autocorrelation. London: Pion, 1973. 178 p. <https://doi.org/10.1177/030913259501900205>
4. Cliff A. D., Ord J. K. Spatial Processes: Models & Applications. London: Pion, 1981. 266 p. <https://doi.org/10.1080/00690805.1983.10438243>
5. Doreian P. Linear Models with Spatially Distributed Data // Sociological Methods & Research. 1980. Vol. 9, Issue 1. Pp. 29–60. <https://doi.org/10.1177/004912418000900102>
6. Getis A. Reflections on spatial autocorrelation // Regional Science and Urban Economics. 2007. Vol. 37, Issue 4. Pp. 491–496. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2007.04.005>
7. Anselin L. Spatial Econometrics: Methods and Models. Springer Dordrecht, 1988. 284 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>
8. Anselin L. The Future of Spatial Analysis in the Social Sciences // Geographic Information Sciences. 1999. Vol. 5, Issue 2. Pp. 67–76. <https://doi.org/10.1080/10824009909480516>
9. Plümer T., Neumayer E. Model specification in the analysis of spatial dependence // European Journal of Political Research. 2010. Vol. 49, Issue 3. Pp. 418–442. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6765.2009.01900.x>
10. Демидова О. А., Семерикова Е. В. Анализ региональной безработицы в России и Германии: пространственно-эконометрический подход // Пространственная Экономика. 2015. № 2. С. 64–85. <https://doi.org/10.14530/se.2015.2.064-085>
11. Niebuhr A. Spatial Dependence of Regional Unemployment in the European Union // HWWA Discussion Paper. No. 186. Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv (HWWA), Hamburg Institute of International Economics, 2002. 29 p. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.26147>
12. Kolomak E. A. Evolution of spatial distribution of economic activity in Russia // Regional Research of Russia. 2015. Vol. 5, No. 3. Pp. 236–242. <https://doi.org/10.1134/S2079970515030065>
13. Kolomak E. A. Spatial Externalities as a Source of Economic Growth // Regional Research of Russia. 2011. Vol 1, No. 2. Pp. 114–119. <https://doi.org/10.1134/S2079970511020080>
14. Гафарова Е. А. Эмпирические модели регионального экономического роста с пространственными эффектами: результаты сравнительного анализа // Вестник Пермского Университета. Серия: Экономика. 2017. Т. 12, № 4. С. 561–574. <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2017-4-561-574>

15. Gibbons S., Overman H. G. Mostly pointless spatial econometrics? // *Journal of Regional Science*. 2012. Vol. 52, Issue 2. Pp. 172–191. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2012.00760.x>
16. Lottmann F. Spatial dependencies in German matching functions // *Regional Science and Urban Economics*. 2012. Vol. 42, Issues 1–2. Pp. 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbe-co.2011.04.007>
17. Schioppa K. P., Basile R. Unemployment dynamics of the ‘mezzogiorno of Europe’: Lessons for the mezzogiorno of Italy // *Centre for Economic Policy Research Discussion Paper*. No. 3594. Centre for Economic Policy Research, 2002. URL: https://www.researchgate.net/publication/5009084_Unemployment_Dynamics_of_the_Mezzogiornos_of_Europe_Lessons_for_the_Mezzogiorno_of_Italy
18. Basile R. Labour Productivity Polarization Across Western European Regions: Threshold Effects Versus Neighbourhood Effects // *The Labour Market Impact of the EU Enlargement. A New Regional Geography of Europe?* / ed. by F. Caroleo, F. Pastore. Physica-Verlag Heidelberg, 2010. Pp. 75–97. https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2164-2_4
19. Yu D., Wei Y. D. Spatial Data Analysis of Regional Development in Greater Beijing, China, in a GIS Environment // *Papers in Regional Science*. 2008. Vol. 87, Issue 1. Pp. 97–119. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2007.00148.x>
20. Ojede A., Atems B., Yamarik S. The direct and indirect (spillover) effects of productive government spending on state economic growth // *Growth and Change*. 2018. Vol. 49, Issue 1. Pp. 122–141. <https://doi.org/10.1111/grow.12231>
21. Amidi S., Majidi A. F. Geographic proximity, trade and economic growth: a spatial econometrics approach // *Annals of GIS*. 2020. Vol. 26, Issue 1. Pp. 49–63. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1714727>
22. Kholodilin K. A., Oshchepkov A., Siliverstovs B. The Russian regional convergence process: Where is it leading? // *Eastern European Economics*. 2012. Vol. 50, Issue 3. Pp. 5–26. <https://doi.org/10.2753/eee0012-8775500301>
23. Балаш О. С. Пространственный анализ конвергенции регионов России // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право*. 2012. Т. 12, № 4. С. 45–52. URL: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:002275:14077328>
24. Xu T., Zhang M., Aditjandra P. T. The impact of urban rail transit on commercial property value: New evidence from Wuhan, China // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2016. Vol. 91. Pp. 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.026>
25. Neelawala P., Wilson C., Athukorala W. The impact of mining and smelting activities on property values: a study of Mount Isa city, Queensland, Australia // *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*. 2013. Vol. 57, Issue 1. Pp. 60–78. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2012.00604.x>
26. Demidova O., Marelli E., Signorelli M. Youth labour market performances in the Russian and Italian regions // *Economic Systems*. 2015. Vol. 39, Issue 1. Pp. 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2014.06.003>
27. Solow R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth // *The Quarterly Journal of Economics*. 1956. Vol. 70, Issue 1. Pp. 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
28. Dall’erba S., Le Gallo J. Regional convergence and the impact of European structural funds over 1989–1999: A spatial econometric analysis // *Papers in Regional Science*. 2008. Vol. 87, Issue 2. Pp. 219–244. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2008.00184.x>
29. Seya H., Tsutsumi M., Yamagata Y. Income Convergence in Japan: A Bayesian Spatial Durbin Model Approach // *Economic Modelling*. 2012. Vol. 29, Issue 1. Pp. 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2010.10.022>
30. Lucas Jr R. E. On the mechanics of economic development // *Journal of Monetary Economics*. 1988. Vol. 22, Issue 1. Pp. 3–42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)

31. *Нанабян А. М.* Структура населения по уровню образования и насыщенность отраслей экономики кадрами // Экономическая наука современной России. 2016. № 2. С. 68–77. URL: <https://www.ecr-journal.ru/jour/article/view/132/131>

32. *Harrison A.* Openness and growth: A time-series, cross-country analysis for developing countries // Journal of Development Economics. 1996. Vol. 48, Issue 2. Pp. 419–447. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0304-3878(95)00042-9)

33. *Romer P. M.* Increasing Returns and Long-Run Growth // Journal of Political Economy. 1986. Vol. 94, No. 5. Pp. 1002–1037. <https://doi.org/10.1086/261420>

34. *Fingleton B., López-Bazo E.* Empirical growth models with spatial effects // Papers in Regional Science. 2005. Vol. 85, Issue 2. Pp. 177–198. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2006.00074.x>

35. *Vakulenko E.* Does Migration Lead to Regional Convergence in Russia? // Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP 53/EC/2014. 29 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2395835>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Попова Полина Александровна

Аспирант Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ — Пермь), г. Пермь Россия (614060, г. Пермь, бульвар Гагарина, 37); ORCID <https://orcid.org/0009-0005-1438-6711> e-mail pa.popova@hse.ru

Букина Татьяна Витальевна

Кандидат географических наук, доцент департамента экономики и финансов, Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ — Пермь), г. Пермь Россия (614060, г. Пермь, бульвар Гагарина, 37); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8465-1131> e-mail tbukina@hse.ru

Кашин Дмитрий Викторович

Кандидат экономических наук, доцент департамента экономики и финансов, Пермского филиала Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ — Пермь), г. Пермь Россия (614060, г. Пермь, бульвар Гагарина, 37); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0705-520X> e-mail dvkashin@hse.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность анонимным рецензентам за полезные замечания, рекомендации и ценные советы, позволившие доработать рукопись.

Данные для исследования подготовлены выпускником НИУ ВШЭ — Пермь, Ожгибесовым В. А., под руководством к. г. н., доцента департамента экономики и финансов Букиной Т. В.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Попова П. А., Букина Т. В., Кашин Д. В. Влияние межрегиональных пространственных эффектов на экономическое развитие регионов России // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 751–775. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.030>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 25 июня 2024 г.; дата поступления после рецензирования 18 июля 2024 г.; дата принятия к печати 21 июля 2024 г.

Influence of Interregional Spatial Effects on the Economic Development of Russian Regions

Polina A. Popova , Tatiana V. Bukina , Dmitriy V. Kashin  

National Research University Higher School of Economics,
Perm, Russia

 dvkashin@hse.ru

Abstract. The paper analyzes interregional spatial effects and assesses their impact on the development of Russia's regions. Given the differences in the geographical location of the regions, as well as the peculiarities of the regional economy in each constituent entity of the Russian Federation, a topical issue is the assessment and analysis of interregional spatial interactions for the development of modern regional development programs. The purpose of this research is to study the heterogeneity of the regions of the Russian Federation by identifying interregional spatial interactions. The paper presents a methodology for assessing interregional spatial effects and selects indicators for identifying and assessing them. The study uses data on 77 regions of Russia. When assessing spatial effects, we considered the regions that became part of the Russian Federation in 2014: the Republic of Crimea and the federal city of Sevastopol. The key dependent variable in the econometric models is the GRP growth rate. Among the independent variables, we consider 17 indicators that also characterize regional development for the period 2015–2020. The study revealed that interregional spatial effects are present for all regions of Russia: for the western regions these effects are positive, and for the eastern ones they are negative. It is shown that the level of innovative development in one region has a stronger impact on the growth rates of GRP in neighboring regions than in the region itself. It is revealed that a reduction in investment in fixed capital contributes to an increase in the growth rates of GRP, and that an increase in imports in one region leads to a decrease in the growth rates of GRP in others. The results obtained are stable to the choice of weight matrices and indicate that comprehensive measures affecting all regions are necessary for the development of the western regions of the Russian Federation – in this case, the effect of these changes will be enhanced due to the presence of spatial effects. In some eastern regions, on the contrary, it is necessary to develop individual development programs for each individual region.

Key words: interregional effects; spatial econometrics; interactions between regions; spatial lags; Moran's index; indirect spatial dependencies of regions.

JEL E31, E37

References

1. Bondarenko, N.E., Gubarev, R.V. (2020). The problem of regional inequality in the socio-economic development of the Russian Federation. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, Vol. 17, No. 5, 56–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2020-5-56-68>
2. Demidova, O., Marelli, E., Signorelli, M. (2013). Spatial Effects on the Youth Unemployment Rate: The Case of Eastern and Western Russian Regions. *Eastern European Economics*, Vol. 51, Issue 5, 94–124. <https://doi.org/10.2753/EEE0012-8775510504>
3. Cliff, A.D., Ord, J.K. (1973). *Spatial Autocorrelation*. London, Pion, 178 p. <https://doi.org/10.1177/030913259501900205>
4. Cliff, A.D., Ord, J.K. (1981). *Spatial Processes: Models & Applications*. London. Pion, 266 p. <https://doi.org/10.1080/00690805.1983.10438243>
5. Doreian, P. (1980). Linear Models with Spatially Distributed Data. *Sociological Methods & Research*, Vol. 9, Issue 1, 29–60. <https://doi.org/10.1177/004912418000000000>

6. Getis, A. (2007). Reflections on spatial autocorrelation. *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 37, Issue 4, 491–496. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2007.04.005>
7. Anselin, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Springer Dordrecht, 284 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7799-1>
8. Anselin, L. (1999). The Future of Spatial Analysis in the Social Sciences. *Geographic Information Sciences*, Vol. 5, Issue 2, 67–76. <https://doi.org/10.1080/10824009909480516>
9. Plümper, T., Neumayer, E. (2010). Model specification in the analysis of spatial dependence. *European Journal of Political Research*, Vol. 49, Issue 3, 418–442. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6765.2009.01900.x>
10. Demidova, O.A., Semerikova, E.V. (2015). Analysis of regional unemployment in Russia and Germany: a spatial econometric approach. *Spatial Economics*, No. 2, 64–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.14530/se.2015.2.064-085>
11. Niebuhr, A. (2002). Spatial Dependence of Regional Unemployment in the European Union. *HWWA Discussion Paper*, No. 186. Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv (HWWA), Hamburg Institute of International Economics, 29 p. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.26147>
12. Kolomak, E.A. (2015). Evolution of spatial distribution of economic activity in Russia. *Regional Research of Russia*, Vol. 5, No. 3, 236–242. <https://doi.org/10.1134/S2079970515030065>
13. Kolomak, E.A. (2011). Spatial Externalities as a Source of Economic Growth. *Regional Research of Russia*, Vol 1, No. 2, 114–119. <https://doi.org/10.1134/S2079970511020080>
14. Gafarova, E.A. (2017). Empirical models of regional economic growth with spatial effects: results of comparative analysis. *Perm University Herald. Economy*, Vol. 12, No. 4, 561–574. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/1994-9960-2017-4-561-574>
15. Gibbons, S., Overman, H.G. (2012). Mostly pointless spatial econometrics? *Journal of Regional Science*, Vol. 52, Issue 2, 172–191. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2012.00760.x>
16. Lottmann, F. (2012). Spatial dependencies in German matching functions. *Regional Science and Urban Economics*, Vol. 42, Issues 1–2, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2011.04.007>
17. Schioppa, K.P., Basile, R. (2002). Unemployment dynamics of the ‘mezzogiorno of Europe’: Lessons for the mezzogiorno of Italy. *Centre for Economic Policy Research Discussion Paper*. No. 3594. Centre for Economic Policy Research. Available at: https://www.researchgate.net/publication/5009084_Unemployment_Dynamics_of_the_Mezzogiornos_of_Europe_Lessons_for_the_Mezzogiorno_of_Italy
18. Basile, R. (2010). Labour Productivity Polarization Across Western European Regions: Threshold Effects Versus Neighbourhood Effects. *The Labour Market Impact of the EU Enlargement. A New Regional Geography of Europe?* Edited by F. Caroleo, F. Pastore. Physica-Verlag Heidelberg, 75–97. https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2164-2_4
19. Yu, D., Wei, Y.D. (2008). Spatial Data Analysis of Regional Development in Greater Beijing, China, in a GIS Environment. *Papers in Regional Science*, Vol. 87, Issue 1, 97–119. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2007.00148.x>
20. Ojede, A., Atems, B., Yamarik, S. (2018). The direct and indirect (spillover) effects of productive government spending on state economic growth. *Growth and Change*, Vol. 49, Issue 1, 122–141. <https://doi.org/10.1111/grow.12231>
21. Amidi, S., Majidi, A.F. (2020). Geographic proximity, trade and economic growth: a spatial econometrics approach. *Annals of GIS*, Vol. 26, Issue 1, 49–63. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1714727>
22. Kholodilin, K.A., Oshchepkov, A., Siliverstovs, B. (2012). The Russian regional convergence process: Where is it leading? *Eastern European Economics*, Vol. 50, Issue 3, 5–26. <https://doi.org/10.2753/eee0012-8775500301>
23. Balash. O.S. (2012). Spatial Analysis of the Convergence of Russian Regions. *Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Economics. Management. Law*, Vol. 12, No. 4, 45–52. (In Russ.). Available at: <https://EconPapers.repec.org/RePEc:scn:002275:14077328>

24. Xu, T., Zhang, M., Aditjandra, P.T. (2016). The impact of urban rail transit on commercial property value: New evidence from Wuhan, China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 91, 223–235. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2016.06.026>
25. Neelawala, P., Wilson, C., Athukorala, W. (2013). The impact of mining and smelting activities on property values: a study of Mount Isa city, Queensland, Australia. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, Vol. 57, Issue 1, 60–78. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2012.00604.x>
26. Demidova, O., Marelli, E., Signorelli, M. (2015). Youth labour market performances in the Russian and Italian regions. *Economic Systems*, Vol. 39, Issue 1, 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2014.06.003>
27. Solow, R.M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 70, Issue 1, 65–94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
28. Dall'erba, S., Le Gallo, J. (2008). Regional convergence and the impact of European structural funds over 1989–1999: A spatial econometric analysis. *Papers in Regional Science*, Vol. 87, Issue 2, 219–244. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2008.00184.x>
29. Seya, H., Tsutsumi, M., Yamagata, Y. (2012). Income Convergence in Japan: A Bayesian Spatial Durbin Model Approach. *Economic Modelling*, Vol. 29, Issue 1, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2010.10.022>
30. Lucas, Jr R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, Issue 1, 3–42. [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7)
31. Nanavyan, A.M. (2016). The structure of the population by level of education and the saturation of economic sectors with personnel. *Economics of Contemporary Russia*, No. 2, 68–77. (In Russ.). Available at: <https://www.ecr-journal.ru/jour/article/view/132/131>
32. Harrison, A. (1996). Openness and growth: A time-series, cross-country analysis for developing countries. *Journal of Development Economics*, Vol. 48, Issue 2, 419–447. [https://doi.org/10.1016/0304-3878\(95\)00042-9](https://doi.org/10.1016/0304-3878(95)00042-9)
33. Romer, P.M. (1986). Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy*, Vol. 94, No. 5, 1002–1037. <https://doi.org/10.1086/261420>
34. Fingleton, B., López-Bazo, E. (2005). Empirical growth models with spatial effects. *Papers in Regional Science*, Vol. 85, Issue 2, 177–198. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2006.00074.x>
35. Vakulenko, E. (2014). Does Migration Lead to Regional Convergence in Russia? *Higher School of Economics Research Paper* No. WP BRP 53/EC/2014, 29 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2395835>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Polina Aleksandrovna Popova

Post-Graduate Student, National Research University Higher School of Economics, Perm Campus, Perm, Russia (614060, Perm, Gagarin boulevard, 37); ORCID <https://orcid.org/0009-0005-1438-6711> e-mail pa.popova@hse.ru

Tatyana Vitalievna Bukina

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Finance, National Research University Higher School of Economics, Perm Campus, Perm, Russia (614060, Perm, Gagarin boulevard, 37); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8465-1131> e-mail tbukina@hse.ru

Dmitry Viktorovich Kashin

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Finance, National Research University Higher School of Economics, Perm Campus, Perm, Russia (614060, Perm, Gagarin boulevard, 37); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0705-520X> e-mail dvkashin@hse.ru

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the anonymous reviewers for comments and suggestions which helped us substantially improve the paper.

The data for research was collected by the graduate of HSE University, Perm, V. A. Ozhgibesov, supervised by PhD, associate professor, T. V. Bukina

FOR CITATION

Popova, P.A., Bukina, T.V., Kashin, D.V. (2024). Influence of Interregional Spatial Effects on the Economic Development of Russian Regions. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 751–775. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.030>

ARTICLE INFO

Received June 25, 2024; Revised July 18, 2024; Accepted July 21, 2024.



Assessing the Bankruptcy Risks of China's Emerging Port Industries: Modeling and Early Warning

Wang Ying  , Igor A. Mayburov , Yulia V. Leontyeva 

Ural Federal University
named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia
 van.in@urfu.ru

Abstract. Vigorously developing emerging marine industries are an important way for China to implement the strategy of "Sea Power Nation", and improving the ability of port enterprises to prevent financial and tax risks is a key link in accelerating the high-quality development of the marine economy. The research objective of this paper is to construct a reasonable early warning financial model for emerging port industries in Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area. The research hypothesis is that the original Z-SCORE model and F-SCORE model are not able to accurately predict the financial risk of emerging marine industries. The data of typical port enterprises are utilized to compare the financial risk; after that risk assessment and early warning are carried out. This paper adopts the Delphi method to assign weights to different indicators and utilizes the Analytic Hierarchy Process method to derive a financial and tax early warning model applicable to Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area. The results of the study found that the traditional "Z-score model" and "F-score model" are less applicable to the emerging industries in the ports of Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area. This paper will construct a financial and tax risk control model corresponding to the development of port emerging industries and provide early warning when exceeding a certain threshold to help enterprises develop better. In addition, this paper also puts forward policy suggestions for risk management of emerging port industries from the aspects of system improvement and government-enterprise linkage.

Key words: port emerging industry; financial early warning model; Y-score model; F-score model; Delphi method; Analytic Hierarchy Process method.

JEL G32

1. Introduction

At present, the Chinese government has strongly supported the rapid development of the marine industry, especially the emerging marine industry, and regarded it as an important hand in accelerating the strategy of "Ocean Power". According to the data issued by State Oceanic Administration of China (SOA), the contribution of marine industry is more than 8.9 trillion yuan per year, with an average annual growth rate of more than 8.1 %, and the GDP accounted for more than 9 % of China's gross domestic product (GDP).

The marine industry, the marine emerging industry is an important field for breeding new industries and leading new growth, and at the same time, as a new point of economic growth, it is becoming more and more prominent, and it also shows that the national level is becoming more and more enriched in the top-level design and arrangement of the marine economy [1].

In 2023, the GDP of the emerging marine industry is more than 9.46 trillion RMB, with an average annual growth reaches 7.1 %. However, the development is not smooth. in early 2020, affected by the

epidemic, China's port cargo and container throughput declined year-on-year, but then both continued to rebound, and port throughput was overall lower than expected due to the epidemic. The scale, technology and model of the marine emerging industry are still at an immature stage, and its development is also characterized by great uncertainty.

The main risks are as follows:

Firstly, legal risk and compliance risk. Environmental protection in overseas ports, overseas projects will have additional expenditure increase, project stoppage and rework. Piraeus Port had its expansion plan rejected because it did not provide sufficient environmental impact assessment.

Secondly, social and cultural risks, the transnational business activities of port enterprises have to face the dual risks of organizational culture and national culture. the construction of a fence in an industrial park had triggered a controversy among residents in 2018, and the attack on the personnel of the Guinea project of COSCO Shipping Port in 2021.

Thirdly, there are market risks caused by changes in interest rates and exchange rates, strategic risks caused by overly aggressive overseas investment, operational risks caused by natural disasters, strikes, etc., uncontrolled project cost management, and financial risks caused by poor port operations, and so on. Therefore, marine emerging industries need to formulate their own personalized development strategy.

Taking the selected enterprises in this paper as an example, their development is characterized by high investment, long return cycle, high policy sensitivity and high uncertainty of maritime operation, so this kind of enterprises belongs to high-risk, high-yield and high-debt industries.

At present, when China's modern port enterprises carry out financial early warning, they generally start from a qualitative point of view, through certain financial

characteristics of the enterprises. However, due to the interference of internal and external factors, there will be certain errors in the qualitative analysis.

In order to reduce the judgment error, it is necessary to combine the qualitative and quantitative analysis methods for calculation. Quantitative analysis is generally carried out through the construction of financial early warning model. The financial early warning model can discover the hidden problems of the enterprise financial operation system within a certain range in a timely manner to avoid the financial risk from becoming a financial crisis [2].

The purpose of our study is to construct a reasonable financial early warning model for port emerging industries in Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area.

Research hypothesis:

H1: Verify through empirical analysis that the original F-SCORE financial early warning model and Z-SCORE financial early warning model are not applicable to the forecasting of the new industries in the ports of Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area.

H2: Through empirical analysis, it is verified that the newly constructed Y-SCORE model in this paper is applicable to the financial forecasting of new industries in the ports of Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area.

2. Literature Review

Xhu & Chen [3] used 19 companies as samples to make predictions using a single financial indicator and pioneered a one-dimensional judgmental early warning model. Although the model was able to predict the future performance of the firms, the prediction accuracy was not high because only a single financial variable was introduced for the analysis.

Altman et al. [4] used multivariate analysis techniques to analyze the operating data

of 33 firms before their bankruptcies during the period 1946–1954. By gradually updating and correcting a series of reference variables, he firstly proposed a multivariate financial early warning model.

The size of Z value can reflect the financial status of the enterprise, and the enterprise managers can judge whether there is a crisis in the enterprise by the size of Ohlson [5] and others established a multivariate logistic regression based on the method of probabilistic regression (Logit) model. The logit method he used overcame the problems in traditional discriminant analysis and resulted in a substantial increase in this model.

Jing [6] combed through the development status of Chinese enterprises, selected 67 financial crisis companies, and further researched based on the “Z-score model” by using principal component analysis, and put forward the Y-value model, which has an accuracy rate of about 86 %.

Yang et al. [7] used feed-forward neural network to conduct financial early warning research on enterprises, which has strong foresight.

Pendharkar [8] used BP artificial neural network algorithm for the first time to analyze the comprehensive ability of the enterprise’s operation, and the accuracy rate reached more than 90 %. Deep learning data mining methods based on the combination of artificial intelligence and big data have also appeared in China in recent years. All the above studies aim to help enterprises discover financial crises in a timely manner.

Lepetit et al. [9] used the traditional Z-score model as a basis to revisit the Z-score model with the bank bankruptcy risk as a topic and concluded that the traditional method is inaccurate in its prediction.

Ko et al. [10] used Taiwan’s solar industry as a case study and found that solving evidential coefficients of financial ratios for the distressed companies.

Elliott et al. [11] builds a double hidden Markov model (DHMM) based on the original Z-score model from the corporate accounting ratio assessment of Z-scores and published credit ratings to extract information about a firm’s “true” credit quality. This approach is more conducive to forecasting accuracy.

Chiaramonte et al. [12] examines the accuracy of the Z-value, a widely used proxy indicator of bank robustness examines the accuracy of the Z-value, a widely used proxy indicator of bank robustness, using a sample of European banks from 12 countries over the period 2001–2011. Specifically, we analyze the Z-value and CAMELS-related covariates. we find that the Z-score is at least as good as the CAMELS variable in identifying crisis events, both in the whole period and in the crisis period (2008–2011), but has the advantage of being less demanding on the data. Finally, Z-score is more effective in situations where the bank’s business model is more complex, as is the case for large commercial banks.

Li et al. [13] builds on the previous work by studying the four largest banks in New Zealand as a case study. Improvements were made to the z-score model and the study found that the LOO z-score modeling approach can provide early warning information and is more accurate than the z-score model.

Zhu et al. [14] used the Z-score model to assess the financial risk of IoT-only enterprises and found that using the annual reports of IoT enterprises and industry reports, and applying the Z-score model, the study found that the main sources of risk faced by IoT enterprises are mainly focused on exogenous legal risk.

Li [15] used model based on data mining for financial risk detection. CHAID algorithm has been used for development of the EWS. Developed EWS can be served like a tailor-made financial advisor in de-

cision making process of the firms with its automated nature to the ones who have inadequate financial background. Besides, an application of the model implemented which covered 7853 SMEs based on Turkish Central Bank (TCB) 2007 data. By using EWS model, 31 risk profiles, 15 risk indicators, 2 early warning signals, and 4 financial road maps has been determined for financial risk mitigation.

Yi [16] takes listed enterprises as samples, combined with the company's financial indicators and found that. The research model in this paper can improve the performance of financial risk early warning model and enhance the reliability of the model.

Bouvatier [17] uses Z-score model pairs to compare different measurement methods using a series of alternative testing procedures focusing on U.S. and European banks during the 2007–2008 financial crisis. Further enhancements to the z-score model were made.

Tang et al. [18] predicted systematic financial risk using interpretable machine learning for effectiveness in predicting systematic financial risk.

Wang et al. [19] innovatively proposed the use of patch size distribution to detect financial crisis warning signals in spatial endogenous credit models, aiming to use spatial warning signals to study spatially extended endogenous credit systems with stochasticity. They use new method can be applied for financial early warning.

Ouyang et al. [20] argued that early warning of systemic financial risk in Chinese financial market based on Attention-LSTM model. The impact of online public opinion on systemic financial risk is investigated and an online public opinion network index is constructed for China's financial market. It was found that the LSMT type of neural network model has higher accuracy than other methods.

Zhu et al. [21] used the stepwise regression method to establish the optimal

prediction equation for financial systemic risk, to establish a reasonable and practical early warning index system for financial systemic risk; moreover, the optimal prediction equation was applied to predict the financial systemic risk situation in 2011, and the prediction results showed accuracy and were applicable to the prediction of the financial system.

Tarkocin & Donduran [22] used the integrated model of RUSBoost algorithm to predict the “red” and “amber” days with a success rate 21 % higher than the average success rate of other machine learning models. The model and framework proposed in this study can be applied to the banking environment, which will enable financial institutions to integrate their internal indicators with market stress indicators.

Allaj & Sanfelici [23] involved the EWS model (Early Warning System for colleges and universities) based on Logit regression and argued that the model is effective in predicting potential market instability.

Wu et al. [24] used integrated Z-score and multilayer perceptron neural network to forecast the company and the model was able to predict well that the model can provide early warning signals of deterioration in the company's financial condition.

Xiao et al. [25] argued that most of the pay attention to financial risk of companies focuses on the accuracy of prediction and ignores evaluation, so the authors designed a new three-stage decision support research framework to discuss corporate financial risk assessment and prediction based on previous research, using the LIGHTGBM integrated model to assess the market capitalization of Chinese small and medium-sized enterprises (SMEs). It was found that OPT-LIGHTGBM can improve efficiency without loss of forecasting performance and has the best overall performance compared to existing forecasting models.

Meziani & Rezvani [26] used hierarchical analysis to assess and predict financial risks. An empirical study based on SMEs found that the hierarchical analysis method can provide an effective means of assessing the financial risk of companies.

Gonzalez-Urango et al. [27] argued that recent applications of the Analytic Network Process (ANP) in the decision-making process in the fields of economics, finance, in order to identify contingencies, current trends, It was found that ANP is particularly suitable for sustainable projects to promote the participation of various stakeholders.

Nguyen et al. [28] used the fuzzy hierarchy analysis method for comprehensive assessment of investment decisions and retrogression in private sector sustainable water supply systems using a province in Vietnam as a case study and found that the fuzzy hierarchy analysis method is effective for this and retrogression assessment, and that an investment attractiveness index can be constructed in this way. This way to construct an investment attractiveness index [28].

Murugan & KalaT [29] used a machine learning strategy to analyze large-scale data and applied K-nearest neighbor (KNN), cluster based logistic regression (LR), and cluster based XG Boost models to assess financial risk. risk assessment, the simulation results of this model yielded better large-scale data-driven financial risk results than state-of-the-art methods.

Conte et al. [30] conducts an intermediation analysis with data from 394 listed banks in 54 countries from 2002 to 2017 with the aim of investigating the role of bank financial risk-taking as an intermediation channel to explain the relationship between CSP and financial performance in the banking sector. The results show that partially moderated by bank risk-taking, where CSP improves financial performance by reducing bank risk.

Rahman & Zhu [31] conducted a study on financial early warning using machine learning techniques using Chinese A-share listed construction companies as a case study. The results confirmed Z-Score model didn't catch them. In addition, the CUSBoost classifier was found to be the most accurate model based on the AUC and AUPR metrics in the main and additional tests.

From the existing research, these financial early warning model studies have strong universality, while the development of port emerging industries has its own objective laws, which cannot use the universal model in its entirety. Therefore, the study of financial early warning model for port emerging industries has stronger application value and greater practical significance.

3. Empirical Calculations and Analysis

This section encompasses the data sources, model estimation and econometric procedures used for this study.

In this paper, we are going to analyze the financial risk of key port enterprises in Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area by comparing the data changes of Z-score model, F-score model, and univariate early warning model, and analyze whether there is any financial risk according to the Delphi method, assigning different models to different port enterprises. Based on the Delphi method, different weights are assigned to the three models to integrate and optimize the results of the above early warning models, to seek a healthy development path for the related port enterprises in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area.

3.1. Data sources

Since this paper focuses on analyzing the development of emerging industries in ports in the Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area of China, it takes the recent Lloyd's List Global 100 rank-

ing of ports as its target. A total of 24 listed port companies are selected as research samples, focusing on the data of listed port companies in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area — Guangzhou Port Group, Yantian Port Group and Zhuhai Port Holding Group Company.

The authors collect the data required for this study by searching websites such as China Securities Network, Wanfang Database and Guotai Junan Database. Meanwhile, due to the inconsistency of statistical caliber between Hong Kong and Macao and China, for the consideration of testability of the analysis, this study will select the available scientific research data instead of website data for analysis.

This paper is written in 2024, the above researched companies have not disclosed the annual report of 2023 and the occurrence of the new crown epidemic, so the company's performance is not representative. Therefore, this paper only analyzes the financial data of 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 and 2022, which have sufficient reference significance and real-time.

3.2. Financial early warning system indicator system structure

The selection of financial indicators must be true, which is the basis for ensuring that the financial system has application value. At the same time, it should be in line with the development law of the enterprise, which is a prerequisite to ensure the effective operation of the early warning system.

The selection of indicators in this paper focuses on listed port enterprises in the Pearl River Delta region. Based on the existing literature, combined with the specific situation and characteristics of port enterprises, the authors of this paper believe that the selection of indicators should basically follow the basic principles of financial analysis.

According to the PEST analysis method, the selected financial indicators are as follows.

1. *Solvency*. Solvency refers to the ability of an enterprise to repay debts (principal and interest) when due, including short-term solvency and long-term solvency [32]. Because of the high input and high output characteristics of port-type enterprises, analyzing their solvency can be a glimpse of whether they have enough ability to pay money and repay debts.

2. *Profitability*. Profitability is the core ability of the enterprise that investors and managers are most concerned about, and it is also the criterion of whether the enterprise can continue to operate in the market for a long time and make profits for a long time [33]. The market generally believes that the higher the profit, the stronger the profitability, the enterprise has a better prospect, more sought after by investors. Sales profitability is an indicator of the level of return on corporate income.

3. The *operating capacity* of an enterprise mainly refers to the efficiency and effectiveness of its operating assets. The indicators of operational capacity mainly include inventory turnover, accounts receivable turnover and current asset turnover [34].

4. *Development potential*. Development potential is extremely important for the future development of port-based enterprises. It can objectively reflect the ability of port-based enterprises to sustain development. The selection of this indicator has a high correlation with financial risk.

5. *Non-financial indicators*. Since a single financial indicator is not comprehensive enough, non-financial indicators are introduced for calculation. Non-financial indicators are mainly selected: maritime accidents. Maritime accidents mainly refer to the occurrence of ship reefing, grounding, and other situations during navigation. Serious maritime accidents can cause great losses to port shipping companies. Sea water pollution. The introduction of pollutants into the sea due to man-made or negligence, caus-

ing damage to the ecosystem. The United Nations Convention on the Law of the Sea (UNCLOS) clearly stipulates that organizations or individuals who cause greater pollution of seawater should be punished. Therefore, sea water pollution caused by port companies can lead to a series of serious consequences. Customer satisfaction. Customer satisfaction is crucial to the future development of the company, and good customer evaluation is beneficial to the future development of the company.

3.3. Establishment of financial early warning data model based on Analytic Hierarchy Process (AHP)

Analytic Hierarchy Process (AHP) in the 1970s based on the application of network system theory and multi-objective

comprehensive evaluation method [35]. Hierarchical analysis method is systematic, effective, and clear. Now it is widely used in enterprise management, decision-making and evaluation.

1. According to the AHP method to determine the weight of each indicator 1. Building a tree hierarchy model. The structural model is the financial early warning evaluation index system. The indicator system is divided into three layers respectively as the target layer, guideline layer and program layer. The specific financial early warning indicator system is layered as follows (Table 1).

2. When comparing two factors in this article, quantitative scaling is required. The scaling method in this article is as follows (Table 2).

Table 1. Financial early warning indicator system

Target layer A	Criteria Level B Measurement Level C		Criteria Level B Measurement Level C
Fiscal service pre police refer to mark body Tie	Financial indicator	Profitability B ₁	Net sales profit margin C ₁
			ROE C ₂
			ROA C ₃
			Gross profit margin C ₄
			Earnings per share C ₅
		Operational capability B ₂	Inventory turnover rate C ₆
			Accounts receivable turnover ratio C ₇
			Current asset turnover ratio C ₈
		Solvency B ₃	Current ratio C ₉
			Quick ratio C ₁₀
		Development potential B ₄	Sales growth rate C ₁₁
			Capital preservation growth rate C ₁₂
	Non-financial indicators B ₅		Marine accident C ₁₃
			Seawater pollution C ₁₄
			Customer satisfaction C ₁₅

Construct a judgment matrix (1). By scoring the importance of pairs of indicators in the same module, we can get the judgment matrix for pairwise comparison.

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

This article will use the Delphi method to assign corresponding weights to the target indicators. Choosing the right experts is an important factor affecting the accuracy of the results of the Delphi method. This research will be oriented to experts with rich theoretical and practical experience in universities and society to ensure that the answers are highly representative.

Finally, 50 qualified experts were selected for scoring. A total of 50 question-

naires were collected in the first round, and the enthusiasm of experts was 100 %; in the second round, a total of 50 questionnaires were collected, and the enthusiasm of experts was 100 % (Table 3).

3. Calculate the geometric mean of the elements in each row of each judgment matrix (Table 4):

$$\overline{w_i} = \sqrt[n]{\prod_j a_{ij}}, \quad (2)$$

$$w = (\overline{w_1}, \overline{w_2}, \overline{w_3}, \dots, \overline{w_n})^T. \quad (3)$$

Do normalization processing, that is,

$$w_i = \frac{\overline{w_i}}{\sum_{i=1}^n \overline{w_i}}, \quad (4)$$

Where: w is the vector; $\overline{w_i}$ is the geometric mean of the vector.

Table 2. Scale meaning

Seals	Meaning
1	Indicates that two factors have the same importance compared to each other
3	Indicates that one factor is more important than the other
5	Indicates that compared with two factors, one factor is obviously more important than the other factor
7	Indicates that one factor is more strongly important than the other when comparing two factors
9	Indicates that compared with two factors, one factor is more important than the other factor.
2,4,6,8	Is the median value of the above adjacent judgments

Table 3. BiSpecific screening conditions for model evaluation system consulting experts

Filter entries	Specific conditions
Profession	Including marine economics and other related majors
Work area	Relevant university teachers and port practitioners
Working years	More than 10 years
Educational qualifications	Master's degree or above
Job title	Lecturer, intermediate professional title or above

Table 4. Index weight table

Index Matrix Weight W Consistency Test	Index Matrix Weight W Consistency Test					Index Matrix Weight W Consistency Test	Index Matrix Weight W Consistency Test
A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅		$\lambda_{\max}=5.0972$ CI=0.0243 CR=0.0217
B ₁	1	1/3	1/3	1/2	1/3	0.083	
B ₂	3	1	1	1	1/2	0.200	
B ₃	3	1	1	1	1/2	0.200	
B ₄	2	1	1	1	1	0.212	
B ₅	3	2	2	1	1	0.304	
B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅		$\lambda_{\max}=5.1013$ CI=0.0253 CR=0.0226
C ₁	1	1/2	1	1/2	1/2	0.123	
C ₂	2	1	3	1	1/2	0.233	
C ₃	1	1/3	1	1/2	1/2	0.114	
C ₄	2	1	2	1	1	0.247	
C ₅	2	2	2	1	1	0.283	
B ₂	C ₆	C ₇	C ₈				$\lambda_{\max}=3.0092$ CI=0.0046 CR=0.0079
C ₆	1	3	2			0.540	
C ₇	1/3	1	1/2			0.163	
C ₈	1/2	2	1			0.297	
B ₃	C ₉	C ₁₀					$\lambda_{\max}=2$ CI=0 CR=0
C ₉	1	2				0.667	
C ₁₀	1/2	1				0.333	
B ₄	C ₁₁	C ₁₂					$\lambda_{\max}=2$ CI=0 CR=0
C ₁₁	1	2				0.667	
C ₁₂	1/2	1				0.333	
B ₅	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅				$\lambda_{\max}=3.0183$ CI=0.0091 CR=0.0158
C ₁₃	1	2	3			0.723	
C ₁₄	1	1	1			0.316	
C ₁₅	0	1	1			0.276	

4. Result

Based on the above calculations it is possible to construct the following function for evaluating the financial position of a company.

$$\begin{aligned} Y = & 0.01X_1 + 0.019X_2 + 0.009X_3 + \\ & + 0.021X_4 + 0.024X_5 + 0.108X_6 + \\ & + 0.033X_7 + 0.06X_8 + 0.134X_9 + \\ & + 0.067X_{10} + 0.142X_{11} + 0.071X_{12} + \\ & + 0.167X_{13} + 0.073X_{14} + 0.064X_{15}. \end{aligned} \tag{5}$$

Where Y is the newly constructed model result formula.

Different marine emerging enterprises can be based on this model for financial early warning research, Y value and enterprise financial risk there is a linear correlation, the enterprise can be based on their own development to develop financial early warning risk value, Y value the smaller the probability of financial risk occurs when the value is less than 0, the risk of the probability of occurrence of the risk will be higher.

4.1. Comparison between the model based on hierarchical analysis and the “Z-SCORE, F-SCORE” model

4.1.1 Z-value and F-value analysis of key port enterprises in Guangdong, Hong Kong, and Macao Greater Bay Area

Currently, the financial early warning model of Altman [4] is commonly used in the business world to determine whether a company has the possibility of bankruptcy.

Altman first invoked the multivariate analysis method to check the discriminative model and constructed the multivariate discriminative model “Z-score model” and judged the financial status of enterprises according to the Z-value by studying 33 enterprises that filed bankruptcy petitions and the same number of non-bankrupt enterprises during 1946–1965 and used the Z-value and F-value in the “Z-score model” to determine the financial status of enterprises.

Zhing [6] and others [35] proposed the “F-score model” based on the “Z-score model” by adding cash flow indexes in combination with the characteristics of China’s capital market. This model is widely used in the financial early warning of modern enterprises.

The basic formula of “Z-score model” is:

$$Z = 0.012X_1 + 0.014X_2 + 0.033X_3 + 0.006X_4 + 0.999X_5, \quad (6)$$

Where X_1 — working capital/total assets, X_2 — retained earnings/total assets, X_3 — earnings before interest and taxes/total assets, X_4 — capital market value/total liabilities, X_5 — sales revenues/total assets and the criteria for judging: $Z < 1.81$ — bankruptcy zone; $1.81 \leq Z < 2.67$ — gray zone; $2.67 < Z$ — safety zone [36].

The basic formula of “F-score model” is:

$$F = -0.174 + 0.109X_1 + 0.1074X_2 + 1.9271X_3 + 0.0302X_4 + 0.4961X_5, \quad (7)$$

Where X_1 — working capital/total assets, X_2 — retained earnings/total assets, X_3 — (net income after tax + depreciation)/average total liabilities, X_4 — capital market capitalization/total liabilities, X_5 — (net income after tax + interest + depreciation)/average total assets.

The judgment criteria are: if $F < 0.0274$, it indicates that there is a financial crisis in the company; if $F > 0.0274$, it is predicted that the company can operate normally, but in the region of (0.0501, 0.1049) is an area of uncertainty, then it is necessary for managers to carry out further analysis in order to find out whether the company’s finances are indeed going to enter into difficulties.

Z-value and F-value analysis of key port enterprises in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area is presented in Tables 5–10.

The following analysis is done based on the distribution of Z-values and F-values. According to the above table, the F value of Guangzhou Port Group has increased from 2017 to 2019, rising from -0.0124 to 0.027 . Among which the F value in 2017 and 2018 is in the bankruptcy range, indicating that the possibility of financial crisis of Guangzhou Port Group is higher, the F-value in 2019 is within the normal operating range, and it is predicted that the company can operate normally.

Table 5. Z-value of key ports (Guangzhou Port)

Project/Year	Guangzhou Port Z value					
	2022	2021	2020	2019	2018	2017
X ₁	0.398	0.366	0.315	−0.01	−0.06	−0.14
X ₂	0.155	0.167	0.172	0.15	0.18	0.18
X ₃	0.034	0.040	0.041	0.05	0.05	0.05
X ₄	0.96	1.063	1.287	1.85	2.41	4.50
X ₅	0.286	0.342	0.351	0.36	0.34	0.38
Z	0.3	0.357	0.366	0.38	0.36	0.41

Table 6. Z-value of key ports (Yantian Port)

Project/Year	Yantian Port Z value					
	2022	2021	2020	2019	2018	2017
X ₁	0.11	0.05	0.11	0.04	0.06	0.09
X ₂	0.34	0.37	0.36	0.40	0.40	0.40
X ₃	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
X ₄	2.06	3.18	4.35	3.85	3.78	6.71
X ₅	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04
Z	0.07	0.07	0.07	0.08	0.07	0.09

Table 7. Z-value of key ports (Zhuhai Port)

Project/Year	Zhuhai Port Z value					
	2022	2021	2020	2019	2018	2017
X ₁	0.05	0.01	−0.03	0.016	−0.034	0.018
X ₂	0.11	0.10	0.12	0.158	0.187	0.185
X ₃	0.04	0.04	0.03	0.18	0.21	0.206
X ₄	0.44	0.52	0.69	0.742	1.107	1.838
X ₅	0.25	0.33	0.26	0.359	0.382	0.323
Z	0.26	0.34	0.27	0.372	0.398	0.343

Table 8. F-value of key ports (Guangzhou Port)

Project/Year	Guangzhou Port F value					
	2022	2021	2020	2019	2018	2017
F ₁	0.05	−0.07	−0.02	−0.01	−0.06	−0.14
F ₂	0.16	0.17	0.17	0.15	0.18	0.18

End of table 8

Project/Year	Guangzhou Port F value					
	2022	2021	2020	2019	2018	2017
F ₃	0.11	0.11	0.09	0.07	0.07	0.08
F ₄	0.96	1.06	1.29	1.85	2.41	4.50
F ₅	0.06	0.06	0.05	0.02	0.02	0.02
F	0.17	0.03	0.07	0.03	0.00	−0.01

Table 9. F-value of key ports (Yantian Port)

Project/Year	Yantian Port F value					
	2022	2021	2020	2019	2018	2017
F1	0.11	0.05	0.11	0.04	0.06	0.09
F2	0.34	0.37	0.36	0.40	0.40	0.40
F3	0.16	0.18	0.12	0.01	0.01	0.01
F4	2.06	3.18	4.35	3.85	3.45	6.09
F5	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04
F	0.36	0.37	0.36	0.06	0.07	0.18

Table 10. F-value of key ports (Zhuhai Port)

Project/Year	Zhuhai Port F value					
	2022	2021	2020	2019	2018	2017
F1	0.05	0.01	−0.03	0.02	−0.03	−0.02
F2	0.11	0.10	0.12	0.02	−0.03	0.02
F3	0.04	0.05	0.03	0.16	0.19	0.19
F4	0.44	0.52	0.69	0.15	0.14	0.14
F5	0.05	0.05	0.03	0.74	1.11	1.84
F	0.01	−0.02	−0.10	0.52	0.03	0.03

According to the annual report disclosed by Guangzhou Port, revenue in 2019 increased by 18 % year-on-year, exceeding nearly 10 billion yuan. It can be seen from the annual report that ROA is the highest in the past three years, so the F model conclusion is basically inconsistent with the operating status of Guangzhou Port, and the analysis is less accurate.

4.1.2 Model analysis based on the newly constructed Y-score

In this paper, to eliminate the influence of the index scale, it is necessary to standardize the value of each index to get the standardization matrix. For the positive indicators, i. e., the larger the value, the better the indicator, the processing method is as follows:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \tag{8}$$

Where x_{ij}^* is the standardized matrix.

The indicator system of this paper is constructed with reference to the financial indicator system obtained by the Delphi expert consultation method of most scholars in this paper, and five basic types of evaluation indicators reflecting the financial status and operating results of enter-

prises are selected: solvency indicators, profitability indicators, operating capacity indicators, growth capacity indicators and non-financial indicators. To satisfy the continuity, comparability, and authenticity of the data.

The data in this paper comes from Google database, and the division of the enterprises of the line port is based on the standard of the industry classification issued (Table 11–13).

Table 11. Standardized values for Guangzhou Port

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
2022	-1.24	0.74	-0.39	-0.98	0.71	-0.92	-0.62	-1.84	1.70	1.74	-0.46	-0.39	-0.41	1.79	0.00
2021	1.35	1.60	0.60	-0.61	1.57	-0.28	1.76	-0.33	-0.57	-0.45	-0.32	-0.63	2.04	-0.45	0.00
2020	-1.00	-0.54	0.57	-0.69	-0.14	-0.10	-0.08	0.06	0.17	0.25	-0.21	-0.68	-0.41	-0.45	0.00
2019	-0.15	-0.04	1.37	-0.22	-0.14	-0.57	-1.21	0.77	0.38	0.18	1.99	-0.67	-0.41	-0.45	0.00
2018	0.73	-1.06	-1.16	1.36	-1.00	-0.07	-0.01	0.58	-0.53	-0.56	-0.79	0.57	-0.41	-0.45	1.58
2017	0.32	-0.70	-0.98	1.14	-1.00	1.93	0.16	0.77	-1.15	-1.16	-0.23	1.80	-0.41	-0.45	-1.58

Table 12. Standardized values for Yantian Port

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
2022	-0.87	0.74	-0.39	-0.98	0.71	-0.92	-0.62	-1.84	1.70	1.74	-0.46	-0.44	-0.41	-0.41	1.58
2021	-0.52	1.60	0.60	-0.61	1.57	-0.28	1.76	-0.33	-0.57	-0.45	-0.32	-0.87	-0.41	-0.41	-1.58
2020	-0.48	-0.54	0.57	-0.69	-0.14	-0.10	-0.08	0.06	0.16	0.25	-0.20	1.90	-0.41	-0.41	0.00
2019	-0.68	-0.04	1.36	-0.22	-0.14	-0.57	-1.21	0.76	0.38	0.18	1.99	-0.66	-0.41	2.04	0.00
2018	1.18	-1.06	-1.16	1.35	-1.00	-0.07	-0.01	0.58	-0.53	-0.56	-0.79	0.05	2.04	-0.41	0.00
2017	1.37	-0.70	-0.98	1.14	-1.00	1.93	0.16	0.76	-1.15	-1.16	-0.22	0.01	-0.41	-0.41	0.00

Table 13. Standardization for Zhuhai Port

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅
2022	1.06	-0.49	0.19	-0.63	0.39	-1.82	-1.83	-1.53	1.29	1.52	-1.18	-0.39	-0.41	-0.41	-0.41
2021	0.20	1.93	1.09	-0.64	1.78	0.07	-0.21	-0.08	0.28	0.13	1.74	0.63	-0.41	-0.41	-0.41
2020	-0.07	-0.49	0.01	-0.64	-0.08	0.24	0.37	-0.73	-1.03	-0.91	-0.45	-0.62	2.04	2.04	-0.41
2019	-1.10	-0.81	1.03	-0.64	-0.36	0.94	0.87	0.35	0.21	0.04	0.12	1.72	-0.41	-0.41	-1.22
2018	-1.19	0.18	-1.06	1.06	-0.73	0.82	0.85	1.01	-1.34	-1.26	0.30	-0.35	-0.41	-0.41	1.22
2017	1.10	-0.33	-1.26	1.50	-1.01	-0.25	-0.05	0.98	0.59	0.48	-0.53	-0.99	-0.41	-0.41	1.22

However, through the Y-Score model, we can know that the value for that year is positive, which is consistent with the current operating conditions. Under the Z model prediction, Guangzhou Port will be in the range where companies will go bankrupt from 2017 to 2019, which is quite different from the normal operating status of Guangzhou Port.

According to the company's annual report, affected by the epidemic in 2020, the company's asset-liability ratio was 48.28 %, a year-on-year increase of 14.45 %; the current ratio was 0.95, and the quick ratio was 0.8; the total debt was 8.891 billion yuan, of which short-term debt was 3.182-billion-yuan, short-term debt accounts for 35.79 % of total debt. At the same time, short-term debt is relatively large and there is a gap in existing funds. During the reporting period, broad mon-

ey funds were 2.9-billion-yuan, short-term debt was 3.18-billion-yuan, broad money funds/short-term debt was 0.91, and broad money funds were lower than short-term debt. Performance will improve after 2021, and the Y-score model is in line with the current situation.

According to the table above, the F values of Yantian Port from 2017 to 2019 are all greater than 0.0274, indicating that there is no possibility of bankruptcy. However, through the “Z-score model” analysis, Yantian Port III's performance has not rebounded in recent years, and the probability of financial crisis in the future is high, and the possibility of bankruptcy is very high.

4.2. Normalization on the Y-value

The Y-values obtained after normalization are shown below (Figure 1–3).

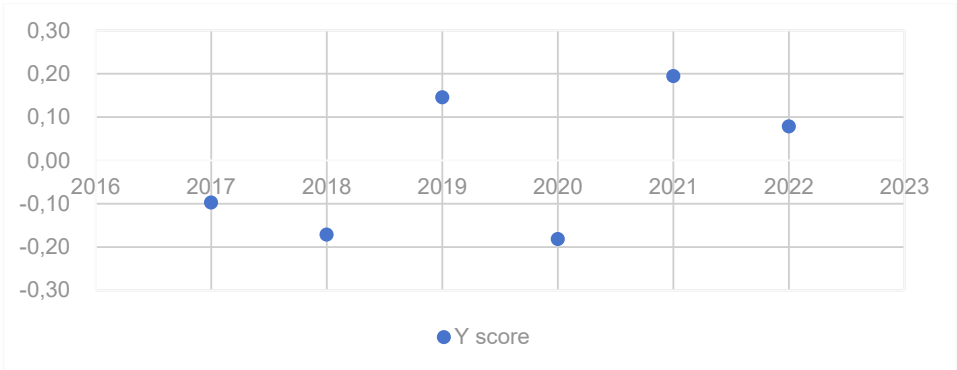


Figure 1. Y-value for Guangzhou Port

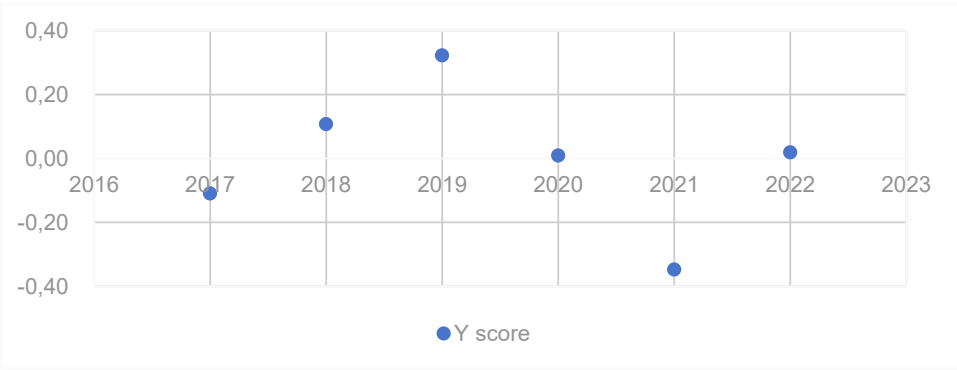


Figure 2. Y-value for Yantian Port

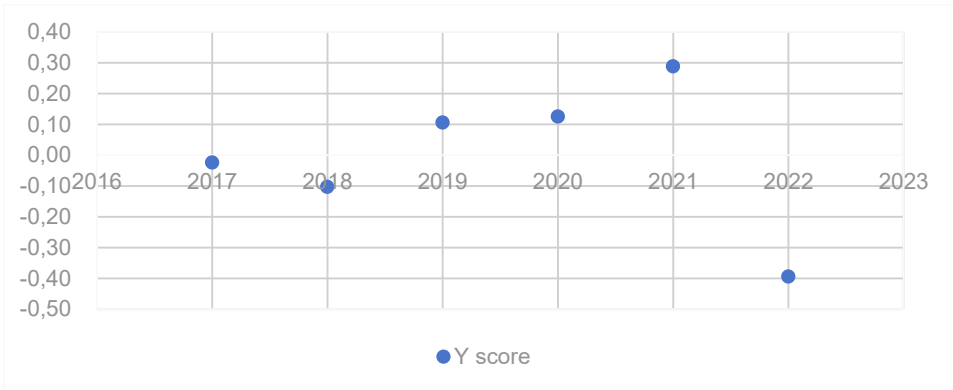


Figure 3. Y-value for Zhuhai Port

However, through the annual reports disclosed by Yantian Port Group from 2017 to 2019 and the financial analysis conducted above, Yantian Port has made relatively good profits in recent years, has no risk of bankruptcy, and its performance has been increasing year by year, so the *Y*-Score model is more in line with the 2017 operating conditions in 2019.

The 2020 annual report shows that the net profit attributable to shareholders of listed companies is 388 million yuan, a year-on-year increase of 8.05 %; the basic earnings per share is 0.19 yuan. And the gross profit margin has remained around 50 % in the past three years. The lower value obtained by the *Y*-score model in 2021 is more consistent with the company's operating conditions that year. Yantian Port completed operating income of 75.4603 million yuan in 2021, a year-on-year decrease of 7.11 %; it achieved a net profit of -32.9462 million yuan, a year-on-year decrease of 19.1306 million yuan.

According to the above table, by comparing the *F* value and *Z* value of Zhuhai Port, the *F*-value of Zhuhai Port in recent years from 2017 to 2019 has all been greater than 0.0274, indicating that the company has no bankruptcy risk. The *Z* values are all less than 1.23. Under the prediction of the *Z* model, the company is about to go bankrupt, but according to the annual

report disclosed by the company, Zhuhai Port has vigorously developed new energy glass, wind power investment projects, etc. with the support of the government, and has achieved relatively high returns. Even in 2020, amid the COVID-19 epidemic Despite the adverse impact, the company's cargo throughput still reached 139 million tons.

Therefore, the prediction results of “*Z*-score model” and “*F*-score model” are less accurate. In contrast, the *Y*-score model prediction is more accurate. At the same time, in the first half of 2022, Zhuhai Port achieved operating income of 2.790 billion yuan, a year-on-year decrease of 8.85 %, and net profit attributable to shareholders of listed companies was 175 million yuan, a year-on-year decrease of 30.16 %. The prediction of the *Y*-score model is negative, and the prediction is more accurate.

4.3. Main findings

Through specific analysis and calculation.

Firstly, the traditional “*Z*-score model” is not applicable to emerging industry enterprises in the ports of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, and the analysis indicators are too few and the comprehensiveness is too weak. The evaluation model based on the analytic hierarchy process can cover the financial in-

dicators of most port enterprises, and the addition of non-financial indicators in this article can predict the risks of port enterprises more accurately, and enterprises can change according to the differences of individual companies.

Secondly, the Z-score model is a functional model for all enterprises and has poor applicability to a certain industry or enterprise. Compared with the AHP, which has a wider range of applications, the AHP is not limited to financial warnings, but can also be applied to other aspects of the company. Finally, the analytic hierarchy process can analyze the problem of a certain indicator independently, but the Z-score model and the F-score model cannot specifically analyze the problem of a certain indicator individually.

In summary, this article has certain reference significance for managers of emerging port industries in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and related stakeholders. Future research can optimize the critical value of the financial early warning model based on more port enterprises, thereby improving the accuracy of financial early warning.

5. Discussion

Firstly, the establishment of a financial early warning system is essential for the development of enterprises. The financial early warning system mainly relies on the analysis of relevant financial indicators, but the analysis of statements and indicators is a lagging means and is easily affected by the subjective judgment of relevant financial personnel, according to studies conducted by Yang et al. [7] and Altman [4].

However, this model can make objective and reliable evaluation of the financial data of the enterprise and the relevant data in the industry through some mathematical calculations, to find out the risk situation of the enterprise at this stage [35, 36], thus avoiding the inadequacy of man-made op-

erations, but also through the form of numerical values to reflect the degree of risk faced by the enterprise, to provide more intuitive data for the relevant management personnel.

Therefore, the backward risk early warning analysis system directly affects the accuracy and precision of enterprise risk prediction [37, 38].

Secondly, port-type enterprises should introduce data visualization technology in the financial risk early warning system, the introduction of the Y-score model for analysis, effectively ensuring the timeliness of the risk communication, to avoid the further expansion of the risk from the source.

Thirdly, it breaks the traditional manual financial checking mode, and the combination of charts, text, tables visualization presentation makes the massive data information of the company's expense more intuitive, image, and at the same time, it makes the company's office expenses involved in the department, the maximum amount of the occurrence of the number of people in the department, the monthly expenditure, quarterly expenditure, the year-on-year growth rate, the chain growth rate, and other important data to realize the real-time statistical analysis, and extends the coverage of the monitoring data [39, 40].

The coverage of monitoring data is expanded. Abnormal situations are determined intelligently, and early warnings are automatically issued to relevant departments and financial personnel, prompting the relevant departments and business approvers to pay attention to abnormal risks in a timely manner. Finally, the occurrence of financial crisis is a slow process [40–42].

Fourthly, the occurrence of financial crisis in a company is a slow process, and the stability of the prediction will fluctuate with the business performance, so managers should pay attention to the development of the enterprise in time.

6. Conclusion and Policy Implications

The conjecture of hypothesis *H1* and hypothesis *H2* of this paper is correct. The authors found that the original *F*-score and *Z*-score models are not suitable for the financial forecasting of the new industries of the ports in Guangdong, Hong Kong and Macao Greater Bay Area through research.

The *Y*-score model obtained through empirical research in this paper is consistent with the financial early warning forecast of the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area according to the calculation in this article, marine accidents account for the largest proportion in the financial risk early warning model. Therefore, to reduce the risk of bankruptcy of emerging industry enterprises in ports and achieve reasonable and normal operation of enterprises, managers must start to establish Maritime accident early warning mechanism.

Before conducting maritime transportation, managers should conduct feasibility analysis and scientific predictions on maritime weather, transportation routes, etc. Strict supervision will be carried out on projects with large amounts of money and long construction or transportation periods to reduce the possibility of marine accidents. While vigorously developing emerging marine industries, we must also establish methods for handling maritime accidents. Once a maritime accident occurs, companies can actively cooperate with the government to handle scientifically and respond efficiently.

As a high-risk, high-profit enterprise for port enterprises, company managers should take the lead in establishing a risk warning department that combines internal control and financial warning and formulate a standardized process for financial warning based on their own development. Clarify different accounting responsibilities and division of labor, strictly supervise, and implement hierarchical management. The modernized

internal control mechanism of an enterprise is an important yardstick for standardizing and restricting corporate behavior. It is also an important means to improve the effectiveness of financial crisis early warning and has positive significance for the realization of the value of the system.

The financial department has established a financial indicator early warning system based on the analytic hierarchy process. When abnormal analysis results occur, the risk warning department needs to cooperate with other departments to investigate hidden dangers. If the abnormal situation is controllable, then the financial warning department should propose corresponding solutions. If the abnormal situation is uncontrollable, department leaders should promptly inform business managers to tighten cash flow, and employees should remain highly alert mentally to prevent financial crises from coming.

Further strengthen the personnel management of risk warning departments. Most corporate financial crises occur because relevant personnel lack crisis awareness. Employees should be trained and assessed regularly. Companies should introduce the Analytical Hierarchy Process into the company's financial early warning model based on their actual situation.

The theoretical knowledge of financial early warning is updated from time to time. Because employees must remain highly vigilant mentally. The normative behavior of employees can coordinate the relationship between financial warning and production and operation, thereby expanding the profitability of the company and prompting the company to create more profits. This model must be written to combine financial early warning with internal control. The effect of risk prevention is reflected in the performance of each participant, and company risks are closely linked to personal development through incentives, punishments, and other methods.

As an important part of local development, emerging port industries are an important source of local fiscal revenue. The government should take the lead in accelerating the construction of a core port enterprise management platform, which will help promote the development of emerging industries in the entire city's ports.

At the same time, enterprises have increased investment in insurance funds for key targets. Form a new model of "Government + Enterprise + Insurance" to prevent corporate crises. Because the development of most emerging port industries requires a large amount of capital flow, financial crises will occur once a company's capital flow breaks.

The capital income generated from operating activities and the expenditures gen-

erated from investment activities strengthen the supervision of target companies and provide timely notification of abnormal business that occurs in the company. Under the normal operation of the enterprise, ensure the balance between capital expenditure and income, block unreasonable capital allocation, and improve the efficiency of capital use.

At the same time, a new mechanism covering budget indicators, fund payments, and early warning supervision has been established with enterprises to strictly prevent enterprise managers from tampering with data and whitewashing the calculation results of financial early warning models. Only when financial warning is running can it play its due role.

References

1. Tian, J. Deng, W., Yuan, J. (2023). Evaluation of sports tourism competitiveness of urban agglomerations in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Heliyon*, Vol. 9, Issue 12, e22780. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22780>
2. Koyuncu, A.S., Ozgulbas, N. (2012). Financial early warning system model and data mining application for risk detection. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, Issue 6, 6238–6253. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.12.021>
3. Zhu, R., Chen, F. (2024). Tax and financial credit risks — Empirical evidence from Chinese investment enterprises. *Finance Research Letters*, Vol. 61, 104917. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104917>
4. Altman, E.L. (1968). Financial Ratios, Discriminant Analysis and Prediction of Corporate Bankruptcy. *Journal of Finance*, Vol. 9, Issue 4, 589–609. <https://doi.org/10.2307/2978933>
5. Ohlson, J.A. (1980). Financial Ratios and the Probabilistic Prediction of Bankruptcy. *Journal of Accounting Research*, Vol. 18, No. 1, 109–131. <http://dx.doi.org/10.2307/2490395>
6. Jing, A. (2023). The technology and digital financial risk management model using intelligent data processing. *Optik*, Vol. 273, 170410. <https://doi.org/10.1016/j.jileo.2022.170410>
7. Yang, B., Li, L.X., Ji, H., Xu, J. (2001). An early warning system for loan risk assessment using artificial neural networks. *Knowledge-Based Systems*, Vol. 14, Issue 5–6, 303–306. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(01\)00110-1](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(01)00110-1)
8. Pendharkar, P.C. (2005). A threshold-varying artificial neural network approach for classification and its application to bankruptcy prediction problem. *Computers & Operations Research*, Vol. 32, Issue 10, 2561–2582. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.06.023>
9. Lepetit, L., Strobel, F. (2015). Bank insolvency risk and Z-score measures: A refinement. *Finance Research Letters*, Vol. 13, 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2015.01.001>
10. Ko, Y.-Ch., Hamido, F., Tianrui, Li. (2017). An evidential analysis of Altman Z-score for financial predictions: Case study on solar energy companies. *Applied Soft Computing*, Vol. 52, 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.09.050>
11. Elliott, R.J., Siu, T.K., Fung, E.S. (2014). A Double HMM approach to Altman Z-scores and credit ratings. *Expert Systems with Applications*, Vol. 41, Issue 4, Part 2, 1553–1560. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.052>

12. Chiaramonte, L., Croci, E., Poli, F. (2015). Should we trust the Z-score? Evidence from the European Banking Industry. *Global Finance Journal*, Vol. 28, 111–131. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2015.02.002>
13. Li, X., Tripe, D., Malone, C., Smith, D. (2020). Measuring systemic risk contribution: The leave-one-out z-score method. *Finance Research Letters*, Vol. 36, 101316. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.101316>
14. Zhu, L., Li, M., Metawa, N. (2021). Financial risk evaluation Z-score model for intelligent IoT-based enterprises. *Information Processing & Management*, Vol. 58, Issue 6, 102692. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102692>
15. Li, H. (2024). Research on financial risk early warning system model based on second-order blockchain differential equation. *Intelligent Decision Technologies*, Vol. 18, No. 1, 327–342. <https://doi.org/10.3233/IDT-230318>
16. Yi, W. (2012). Z-score model on financial crisis early-warning of listed real estate companies in China: a financial engineering perspective. *Systems Engineering Procedia*, Vol. 3, 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.sepro.2011.11.021>
17. Bouvatier, V., Lepetit, L., Rehault, P.-N., Strobel, F. (2023). Time-varying Z-score measures for bank insolvency risk: Best practice. *Journal of Empirical Finance*, Vol. 73, 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2023.06.002>
18. Tang, P., Tang, T., Lu, C. (2024). Predicting systemic financial risk with interpretable machine learning. *The North American Journal of Economics and Finance*, Vol. 71, 102088. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2024.102088>
19. Wang, J., Zeng, C., Han, X., Ma, Z., Zheng, B. (2023). Detecting early warning signals of financial crisis in spatial endogenous credit model using patch-size distribution. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 625, 128925. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.128925>
20. Ouyang, Z.-S., Yang, X.-Y., Lai, Y. (2021). Systemic financial risk early warning of financial market in China using Attention-LSTM model. *The North American Journal of Economics and Finance*, Vol. 56, 101383. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101383>
21. Zhu, K., Liu, D., Wu, J., Sun, L. (2012). The research of the regional financial risk early-warning model integrating the regression of lagging factors. *AASRI Procedia*, Vol. 1, 428–434. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2012.06.067>
22. Tarkocin, C., Donduran, M. (2024). Constructing early warning indicators for banks using machine learning models. *The North American Journal of Economics and Finance*, Vol. 69, 102018. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2023.102018>
23. Allaj, E., Sanfelici, S. (2023). Early Warning Systems for identifying financial instability. *International Journal of Forecasting*, Vol. 39, Issue 4, 1777–1803. <https://doi.org/10.1016/j.ij-forecast.2022.08.004>
24. Wu, D., Ma, X., Olson, D.L. (2022). Financial distress prediction using integrated Z-score and multilayer perceptron neural networks. *Decision Support Systems*, Vol. 159, 113814. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2022.113814>
25. Xiao, J., Wen, Z., Jiang, X., Yu, L., Wang, S. (2024). Three-stage research framework to assess and predict the financial risk of SMEs based on hybrid method. *Decision Support Systems*, Vol. 177, 114090. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.114090>
26. Meziani, A.S., Rezvani, F. (1990). Using the analytical hierarchy process to select a financing instrument for a foreign investment. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 13, Issue 7, 77–82. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(90\)90130-F](https://doi.org/10.1016/0895-7177(90)90130-F)
27. Gonzalez-Urango, H., Mu, E., Ujwary-Gil, A., Florek-Paszkowska, A. (2024). Analytic network process in economics, finance and management: Contingency factors, current trends and further research. *Expert Systems with Applications*, Vol. 237, 121415. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121415>
28. Nguyen, M.-T., Vu, Q.-H., Truong, H.-H., Nguyen, H.-H. (2023). A comprehensive evaluation of private sector investment decisions for sustainable water supply systems using a fuzzy-

analytic hierarchy process: A case study of Ha Nam province in Vietnam. *Heliyon*, Vol. 9, Issue 9, e19727. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19727>

29. Murugan, S., Kala, T.S. (2023). Large-scale data-driven financial risk management & analysis using machine learning strategies. *Measurement: Sensors*, Vol. 27, 100756. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100756>

30. Conte, D., Bussoli, C., Hemmings, D. (2024). Responsible risk-taking and the CSP-financial performance relation in the banking sector: A mediation analysis. *Research in International Business and Finance*, Vol. 69, 102293. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102293>

31. Rahman, M.J., Zhu, H. (2024). Predicting financial distress using machine learning approaches: Evidence China. *Journal of Contemporary Accounting & Economics*, Vol. 20, Issue 1, 100403. <https://doi.org/10.1016/j.jcae.2024.100403>

32. Yu, H., Su, T. (2024). ESG performance and corporate solvency. *Finance Research Letters*, Vol. 59, 104799. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104799>

33. Prol, J.L., Paul, A. (2024). Profitability landscapes for competitive photovoltaic self-consumption. *Energy Policy*, Vol. 188, 114084. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114084>

34. Chiamonte, L., Dreassi, A., Pisera, S., Khan, A. (2023). Mergers and acquisitions in the financial industry: A bibliometric review and future research directions. *Research in International Business and Finance*, Vol. 64, 101837. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101837>

35. Zhu, W., Zhang, T., Wu, Y., Li, S., Li, Z. (2022). Research on optimization of an enterprise financial risk early warning method based on the DS-RF model. *International Review of Financial Analysis*, Vol. 81, 102140. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102140>

36. Chen, L., Zhang, C. (2023). The impact of financial agglomeration on corporate financialization: The moderating role of financial risk in Chinese listed manufacturing enterprises. *Finance Research Letters*, Vol. 58, 104655. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104655>

37. Afshan, S., Leong, K.Y., Najmi, A., Razi, U., Lelchumanan, B., Cheong, C.W.H. (2024). Fintech advancements for financial resilience: Analysing exchange rates and digital currencies during oil and financial risk. *Resources Policy*, Vol. 88, 104432. <https://doi.org/10.1016/j.resour-pol.2023.104432>

38. Saputra, W.H., Prastyo, D.D., Kuswanto, H. (2024). Machine Learning Modeling on Mixed-frequency Data for Financial Growth at Risk. *Procedia Computer Science*, Vol. 234, 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.020>

39. Tian, S., Li, S., Gu, Q. (2023). Measurement and contagion modelling of systemic risk in China's financial sectors: Evidence for functional data analysis and complex network. *International Review of Financial Analysis*, Vol. 90, 102913. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102913>

40. Kandpal, B., Backe, S., del Granado, P.S. (2024). Power purchase agreements for plus energy neighbourhoods: Financial risk mitigation through predictive modelling and bargaining theory. *Applied Energy*, Vol. 358, 122589. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122589>

41. Cafferata, A., Casellina, S., Landini, S., Uberti, M. (2023). Financial fragility and credit risk: A simulation model. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol. 116, 106879. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2022.106879>

42. Yang, L., Cui, X., Hamori, S., Cai, X. (2023). Risk spillover from international financial markets and China's macro-economy: A MIDAS-CoVaR-QR model. *International Review of Economics & Finance*, Vol. 84, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2022.11.006>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Wang Ying

Post-Graduate Student, Department of Financial and Tax Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0009-0007-8225-028X> e-mail: 1127486294@qq.com

Igor Anatolyevich Mayburov

Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Financial and Tax Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8791-665X> e-mail: mayburov.home@gmail.com

Yulia Vladimirovna Leontyeva

Candidate of Economic Sciences,, Associate Professor, the Department of Financial and Tax Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, Mira street, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4676-9926> e-mail: uv.leonteva@mail.ru

FOR CITATION

Ying, W., Mayburov, I.A., Leontyeva, Yu.V. (2024). Assessing the Bankruptcy Risks of China's Emerging Port Industries: Modeling and Early Warning. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 776–800. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.031>

ARTICLE INFO

Received April 10, 2024; Revised May 9, 2024; Accepted June 4, 2024.

Оценка рисков банкротства развивающихся портовых отраслей Китая: моделирование и раннее предупреждение

Ван Ин , И. А. Майбуров , Ю. В. Леонтьева 

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия

 van.in@urfu.ru

Аннотация. Стремительный рост развивающихся портовых отраслей является важным способом реализации Китаем стратегии «Океанская держава». При этом повышение способности портовых предприятий предотвращать финансовые и налоговые риски является ключевым звеном для ускорения высококачественного развития морской экономики. Целью статьи является построение модели раннего финансового предупреждения для новых портовых отраслей в Гуандуне, Гонконге и районе Большого залива Макао. Гипотеза исследования заключается в том, что исходные модели Z-SCORE и модель F-SCORE не способны точно предсказать финансовый риск морских развивающихся отраслей. Данные типичных портовых предприятий используются для анализа и сравнения финансового риска по разным моделям, после чего проводится оценка рисков банкротства и разрабатывается модель раннего предупреждения. В работе используется метод Дельфи для присвоения весовых коэффициентов различным показателям, а метод аналитического иерархического процесса используется для получения финансовой и налоговой модели раннего предупреждения, применимой к провинциям Гуандун, Гонконг и Макао. Результаты исследования показали, что традиционные модели Z-SCORE и F-SCORE менее применимы к развивающимся отраслям в портах. В работе разработана модель управления финансовыми и налоговыми рисками в соответствии с развитием новых портовых отраслей и обеспечено раннее предупреждение при превышении определенного порога, чтобы помочь предприятиям лучше развиваться. В статье также обосновываются предложения по политике управления рисками в новых портовых отраслях с точки зрения совершенствования системы и связи между государством и предприятиями.

Ключевые слова: портовая развивающаяся отрасль; финансовая модель раннего предупреждения; модель Y-оценки; модель F-оценки; метод Дельфи; метод аналитического иерархического процесса.

Список использованных источников

1. Tian J. Deng W., Yuan J. Evaluation of sports tourism competitiveness of urban agglomerations in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area // Heliyon. 2023. Vol. 9, Issue 12. e22780. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22780>
2. Koycungil A. S., Ozgulbas N. Financial early warning system model and data minging application for risk detection // Expert Systems with Applications. 2012. Vol. 39, Issue 6. Pp. 6238–6253. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.12.021>
3. Zhu R., Chen F. Tax and financial credit risks — Empirical evidence from Chinese investment enterprises // Finance Research Letters. 2024. Vol. 61. 104917. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104917>
4. Altman E. L. Financial Ratios, Discriminant Analysis and Prediction of Corporate Bankruptcy // Journal of Finance. 1968. Vol. 9, Issue 4. Pp. 589–609. <https://doi.org/10.2307/2978933>

5. Ohlson J. A. Financial Ratios and the Probabilistic Prediction of Bankruptcy // *Journal of Accounting Research*. 1980. Vol. 18, No. 1. Pp. 109–131. <http://dx.doi.org/10.2307/2490395>
6. Jing A. The technology and digital financial risk management model using intelligent data processing // *Optik*. 2023. Vol. 273. 170410. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.170410>
7. Yang B., Li L. X., Ji H., Xu J. An early warning system for loan risk assessment using artificial neural networks // *Knowledge-Based Systems*. 2001. Vol. 14. Issue 5–6. Pp. 303–306. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(01\)00110-1](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(01)00110-1)
8. Pendharkar P. C. A threshold-varying artificial neural network approach for classification and its application to bankruptcy prediction problem // *Computers & Operations Research*. 2005. Vol. 32, Issue 10. Pp. 2561–2582. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2004.06.023>
9. Lepetit L., Strobel F. Bank insolvency risk and Z-score measures: A refinement // *Finance Research Letters*. 2015. Vol. 13. Pp. 214–224. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2015.01.001>
10. Ko Y.-Ch., Hamido F., Tianrui Li. An evidential analysis of Altman Z-score for financial predictions: Case study on solar energy companies // *Applied Soft Computing*. 2017. Vol. 52. Pp. 748–759. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.09.050>
11. Elliott R. J., Siu T. K., Fung E. S. A Double HMM approach to Altman Z-scores and credit ratings // *Expert Systems with Applications*. 2014. Vol. 41, Issue 4, Part 2. Pp. 1553–1560. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.052>
12. Chiaramonte L., Croci E., Poli F. Should we trust the Z-score? Evidence from the European Banking Industry // *Global Finance Journal*. 2015. Vol. 28. Pp. 111–131. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2015.02.002>
13. Li X., Tripe D., Malone C., Smith D. Measuring systemic risk contribution: The leave-one-out Z-score method // *Finance Research Letters*. 2020. Vol. 36. 101316. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.101316>
14. Zhu L., Li M., Metawa N. Financial risk evaluation Z-score model for intelligent IoT-based enterprises // *Information Processing & Management*. 2021. Vol. 58, Issue 6, 102692. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2021.102692>
15. Li H. Research on financial risk early warning system model based on second-order block-chain differential equation // *Intelligent Decision Technologies*. 2024. Vol. 18, No. 1. Pp. 327–342. <https://doi.org/10.3233/IDT-230318>
16. Yi W. Z-score model on financial crisis early-warning of listed real estate companies in China: a financial engineering perspective // *Systems Engineering Procedia*. 2012. Vol. 3. Pp. 153–157. <https://doi.org/10.1016/j.sepro.2011.11.021>
17. Bouvatier V., Lepetit L., Rehault P.-N., Strobel F. Time-varying Z-score measures for bank insolvency risk: Best practice // *Journal of Empirical Finance*. 2023. Vol. 73. Pp. 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2023.06.002>
18. Tang P., Tang T., Lu C. Predicting systemic financial risk with interpretable machine learning // *The North American Journal of Economics and Finance*. 2024. Vol. 71. 102088. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2024.102088>
19. Wang J., Zeng C., Han X., Ma Z., Zheng B. Detecting early warning signals of financial crisis in spatial endogenous credit model using patch-size distribution // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2023. Vol. 625. 128925. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2023.128925>
20. Ouyang Z.-S., Yang X.-Y., Lai Y. Systemic financial risk early warning of financial market in China using Attention-LSTM model // *The North American Journal of Economics and Finance*. 2021. Vol. 56. 101383. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2021.101383>
21. Zhu K., Liu D., Wu J., Sun L. The research of the regional financial risk early-warning model integrating the regression of lagging factors // *AASRI Procedia*. 2012. Vol. 1. Pp. 428–434. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2012.06.067>
22. Tarkocin C., Donduran M. Constructing early warning indicators for banks using machine learning models // *The North American Journal of Economics and Finance*. 2024. Vol. 69. 102018. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2023.102018>

23. Allaj E., Sanfelici S. Early Warning Systems for identifying financial instability // *International Journal of Forecasting*. 2023. Vol. 39, Issue 4. Pp. 1777–1803. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2022.08.004>
24. Wu D., Ma X., Olson D. L. Financial distress prediction using integrated Z-score and multilayer perceptron neural networks // *Decision Support Systems*. 2022. Vol. 159. 113814. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2022.113814>
25. Xiao J., Wen Z., Jiang X., Yu L., Wang S. Three-stage research framework to assess and predict the financial risk of SMEs based on hybrid method // *Decision Support Systems*. 2024. Vol. 177. 114090. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2023.114090>
26. Meziani A. S., Rezvani F. Using the analytical hierarchy process to select a financing instrument for a foreign investment // *Mathematical and Computer Modelling*. 1990. Vol. 13, Issue 7. Pp. 77–82. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(90\)90130-F](https://doi.org/10.1016/0895-7177(90)90130-F)
27. Gonzalez-Urango H., Mu E., Ujwary-Gil A., Florek-Paszowska A. Analytic network process in economics, finance and management: Contingency factors, current trends and further research // *Expert Systems with Applications*. 2024. Vol. 237. 121415. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121415>
28. Nguyen M.-T., Vu Q.-H., Truong H.-H., Nguyen H.-H. A comprehensive evaluation of private sector investment decisions for sustainable water supply systems using a fuzzy-analytic hierarchy process: A case study of Ha Nam province in Vietnam // *Heliyon*. 2023. Vol. 9, Issue 9. e19727. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19727>
29. Murugan S., Kala T. S. Large-scale data-driven financial risk management & analysis using machine learning strategies // *Measurement: Sensors*. 2023. Vol. 27. 100756. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2023.100756>
30. Conte D., Bussoli C., Hemmings D. Responsible risk-taking and the CSP-financial performance relation in the banking sector: A mediation analysis // *Research in International Business and Finance*. 2024. Vol. 69. 102293. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102293>
31. Rahman M. J., Zhu H. Predicting financial distress using machine learning approaches: Evidence China // *Journal of Contemporary Accounting & Economics*. 2024. Vol. 20, Issue 1. 100403. <https://doi.org/10.1016/j.jcae.2024.100403>
32. Yu H., Su T. ESG performance and corporate solvency // *Finance Research Letters*. 2024. Vol. 59. 104799. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104799>
33. Prol J. L., Paul A. Profitability landscapes for competitive photovoltaic self-consumption // *Energy Policy*. 2024. Vol. 188. 114084. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114084>
34. Chiaramonte L., Dreassi A., Pisera S., Khan A. Mergers and acquisitions in the financial industry: A bibliometric review and future research directions // *Research in International Business and Finance*. 2023. Vol. 64. 101837. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2022.101837>
35. Zhu W., Zhang T., Wu Y., Li S., Li Z. Research on optimization of an enterprise financial risk early warning method based on the DS-RF model // *International Review of Financial Analysis*. 2022. Vol. 81. 102140. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102140>
36. Chen L., Zhang C. The impact of financial agglomeration on corporate financialization: The moderating role of financial risk in Chinese listed manufacturing enterprises // *Finance Research Letters*. 2023. Vol. 58. 104655. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.104655>
37. Afshan S., Leong K. Y., Najmi A., Razi U., Lechumanan B., Cheong C. W.H. Fintech advancements for financial resilience: Analysing exchange rates and digital currencies during oil and financial risk // *Resources Policy*. 2024. Vol. 88. 104432. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104432>
38. Saputra W. H., Prastyo D. D., Kuswanto H. Machine Learning Modeling on Mixed-frequency Data for Financial Growth at Risk // *Procedia Computer Science*. 2024. Vol. 234. Pp. 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.020>

39. Tian S., Li S., Gu Q. Measurement and contagion modelling of systemic risk in China's financial sectors: Evidence for functional data analysis and complex network // *International Review of Financial Analysis*. 2023. Vol. 90. 102913. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2023.102913>
40. Kandpal B., Backe S., del Granado P. S. Power purchase agreements for plus energy neighbourhoods: Financial risk mitigation through predictive modelling and bargaining theory // *Applied Energy*. 2024. Vol. 358. 122589. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122589>
41. Cafferata A., Casellina S., Landini S., Uberti M. Financial fragility and credit risk: A simulation model // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2023. Vol. 116. 106879. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2022.106879>
42. Yang L., Cui X., Hamori S., Cai X. Risk spillover from international financial markets and China's macro-economy: A MIDAS-CoVaR-QR model // *International Review of Economics & Finance*. 2023. Vol. 84. Pp. 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2022.11.006>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ин Ван

Аспирант кафедры финансового и налогового менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0009-0007-8225-028X> e-mail: 1127486294@qq.com

Майбуров Игорь Анатольевич

Доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой финансового и налогового менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8791-665X> e-mail: mayburov.home@gmail.com

Леонтьева Юлия Владимировна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры финансового и налогового менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4676-9926> e-mail: uv.leonteva@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Ин В., Майбуров И. А., Леонтьева Ю. В. Оценка рисков банкротства развивающихся портовых отраслей Китая: моделирование и раннее предупреждение // *Journal of Applied Economic Research*. 2024. Т. 23, № 3. С. 776–800. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.031>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 10 апреля 2024 г.; дата поступления после рецензирования 9 мая 2024 г.; дата принятия к печати 4 июня 2024 г.



Компании с акциями разных типов: мировой опыт и российская практика

А. А. Муравьев^{1, 2}  , Н. С. Телятников¹ 

¹Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»,

г. Санкт-Петербург, Россия

²Институт экономики труда,

г. Бонн, Германия

 amuravyev@hse.ru

Аннотация. Компании со сложной структурой акционерного капитала, формируемой путем выпуска акций разных типов, — распространенное явление в развитых и развивающихся экономиках, включая российскую. Причины и следствия выбора компаниями таких структур остаются не до конца изученными. В частности, ни теория, ни эмпирические исследования не дают однозначного ответа на вопрос о влиянии таких структур акционерного капитала на поведение и результаты деятельности компаний. Цели настоящей статьи — во-первых, охарактеризовать сегмент российских публичных компаний с акциями разных типов, включая вопрос их генезиса, и, во-вторых, оценить влияние сложной структуры акционерного капитала на экономическую результативность компаний. Эмпирическую базу исследования составляют данные по всем российским публичным нефинансовым компаниям, акции которых обращались на Московской бирже в 2011–2020 гг. С помощью методов дескриптивного, статистического и эконометрического анализа обнаружено, что доля компаний с двумя типами акций на российском фондовом рынке высока и стабильна во времени, подавляющее большинство таких компаний были созданы в ходе приватизации и/или реорганизации отраслей и для них характерна значительная концентрация прав контроля и собственности у крупнейшего акционера. Установлено, что сам по себе выпуск акций разных типов не ведет к снижению экономической результативности компаний. Однако эта результативность обратно связана с разрывом между правами на участие в управлении и правами на денежный поток крупнейшего акционера. Она является убывающей функцией концентрации прав контроля и возрастающей функцией прав собственности, с незначительными отличиями этих эффектов по абсолютной величине. Научная значимость исследования заключается в подтверждении негативного эффекта разрыва между правами собственности и контроля на экономическую результативность компаний для квазиэкспериментальных условий российской экономики, где большинство компаний с двумя типами акций возникло в результате решений правительства о приватизации/реорганизации отраслей. Практическая ценность связана с возможностью использования результатов исследования участниками и регуляторами фондового рынка.

Ключевые слова: акции разных типов; разрыв между правами собственности и контроля; экономическая результативность компаний; Россия.

1. Введение

В последние годы в международной бизнес-среде, среди регуляторов фондового рынка и в академических сообще-

стве наблюдается повышенный интерес к компаниям со сложной структурой акционерного капитала, формируемой акциями разных типов. Как правило, это

акции, предоставляющие акционерам одинаковые права на получение прибыли (права на денежный поток, права собственности), но разные права на участие в управлении (права голоса на собрании акционеров, права контроля). Классическим примером являются акции типов А и В в Швеции, первые из которых дают в 10 раз больше голосов, чем вторые. К этой же группе можно отнести обыкновенные (голосующие) и привилегированные (неголосующие) акции, по крайней мере в тех юрисдикциях, где их ключевые характеристики достаточно близки, например в Бразилии и России [1].

Этот интерес во многом связан со значительной и заметно растущей в последние годы долей компаний со сложной структурой акционерного капитала на мировых фондовых площадках. О резком росте популярности акций разных типов в последнее время свидетельствуют, в частности данные Aggarwal et al. [2], согласно которым первичные публичные размещения (ИПО) с акциями двух типов в США в 2017–2019 гг. составили почти 30 % от общего числа таких размещений.

Другая причина повышенного внимания к таким компаниям связана с непрекращающимися дебатами касательно экономических последствий характерного для них отхода от принципа «она акция — один голос». Ни теория, ни эмпирика до сих пор не дают однозначного ответа на вопрос о балансе выгод и издержек сложных структур акционерного капитала. Действительно, с одной стороны, нарушение принципа «она акция — один голос» вследствие выпуска акций разных типов обостряет проблемы, связанные с отделением собственности от контроля. Например, Gompers et al. [3] показали, что концентрация прав контроля без соответствующей концентрации прав на денежный поток чревата

усугублением агентской проблемы и связанными с ней издержками. С другой — ряд теоретических концепций подчеркивают выгоды отхода от принципа «одна акция — один голос» путем размещения акций разных типов. В частности, он позволяет предпринимателям и менеджерам фокусироваться на долгосрочных (и более инновационных) проектах, не опасаясь поглощения компании рейдерами, ориентированными на краткосрочные цели, равно как и снижает остроту проблемы безбилетника [4].

Наконец, в международной литературе по экономике и праву идет активное обсуждение необходимости, возможности и конкретных механизмов регулирования выпуска компаниями акций разных типов, например Yap [5]. Рассматриваемый перечень мер необычайно широк — от полного запрета на выпуск акций разных типов (то есть строгого следования принципу «одна акция — один голос»), введения ограничений на биржевой листинг компаний со сложной структурой акционерного капитала, до установления лимитов на долю неголосующих акций в капитале компании и введения, так называемых «условий заката» (sunset provisions), предусматривающих, что компании, выпускающие акции разных типов, должны в течение определенного времени вернуться к принципу «одна акция — один голос» [6]. Напротив, в странах, где на выпуск акций разных типов наложены жесткие ограничения, обсуждаются перспективы либерализации, в частности допуска компаний с акциями разных типов к листингу на бирже.

Несмотря на то, что компании с акциями разных типов широко представлены в России, это, например, такие гиганты, как ПАО «Россети», «Ростелеком», Сбербанк и «Сургутнефтегаз», а их доля, согласно более ранним оценкам, приведенным, например, в работах

Chernykh [7] и Muravyev [8], превышала 40 %, они в целом остаются малоизученными. В настоящей статье предпринята одна из первых попыток детального анализа компаний с разными типами акций в России.

Цели исследования — во-первых, охарактеризовать сегмент российских публичных компаний с акциями разных типов, включая вопрос генезиса таких компаний, и, во-вторых, оценить влияние сложной структуры акционерного капитала на экономическую результативность компаний.

Новизна исследования определяется слабой изученностью российских компаний с акциями разных типов, а также использованием уникальных, собранных частично вручную, данных, включая детальную информацию о выпусках акций разных типов, а также различные метрики разрыва между правами собственности и контроля — от переменной-индикатора наличия акций двух типов до переменных, описывающих права крупнейших акционеров на участие в управлении и на денежный поток, что позволяет впервые получить достаточно полную картину этого сегмента российского фондового рынка.

Структура статьи. Во втором разделе приведен обзор теоретических и эмпирических исследований компаний с разными типами акций. В третьем разделе на основе обзора литературы очерчены цели и задачи исследования и сформулированы тестируемые гипотезы. Используемые в исследовании информационная база и методы описаны в четвертом разделе. Пятый раздел статьи представляет основные результаты исследования. Шестой раздел посвящен обсуждению результатов, включая ограничения по их использованию. В заключительном, седьмом, разделе работы суммированы основные результаты, описана их научная и практическая значи-

мость и указаны направления дальнейших исследований.

2. Обзор литературы

Выпуск акций разных типов — обычное явление в большинстве юрисдикций [9, 10]. Среди компаний, выпускавших акции разных типов, есть такие гиганты, как Ford Motor Co. и Alphabet Inc. (родительская компания для Google) в США, Volvo AB в Швеции и Xiaomi Corp. в Китае. Согласно оценкам Burkart & Lee [4], подобного рода структуры владения характерны для более трети европейских компаний. По данным Howell [11], доля компаний с акциями разных типов в промышленно развитых странах варьирует от 2,6 % (Франция) до 66,1 % (Швеция), при этом в большинстве из них превышен порог в 20 %. Согласно данным Gompers et al. [3], доля компаний с акциями разных типов в США составляет 6 % при суммарной рыночной капитализации в 8 %. При этом, согласно данным Aggarwal et al. [2], в последние годы отмечен резкий рост доли первичных публичных размещений (IPO) с такими акциями.

Характеристики акций, выпускаемых компаниями со сложной структурой акционерного капитала, существенно разнятся. Например, наряду с обыкновенными акциями, каждая из которых дает один голос на собрании акционеров, компании могут выпускать «суперголосующие» акции с несколькими голосами, акции с ограниченным правом голоса, без права голоса, с поэтапно изменяющимся правом голоса, а также с ограничением максимального количества голосов, приходящихся на одного акционера. Возможны также вариации и в правах на денежный поток, например в виде дополнительного дивиденда на неголосующие акции. При этом наиболее распространен выпуск двух типов голосующих акций с одинаковыми правами на денеж-

ный поток, но разными правами на участие в управлении. Обычно акция первого типа дают в 10 раз больше голосов, чем акции второго типа.

Важно отметить, что законодательство многих стран устанавливает лимиты на общий объем выпуска акций с ограниченными правами голоса. Например, доля таких акций не может превышать 50 % в Бразилии и Германии, одной трети в Бельгии и 25 % в Индии. Вследствие подобных ограничений в большинстве юрисдикций разрыв между правами голоса и на денежный поток у крупнейшего акционера оказывается умеренным. Экстремальные ситуации, когда акционер владеет 1 % капитала, располагая при этом 99 % голосов, практически исключены. В частности, согласно данным Jiang et al. [12] по 22 западноевропейским и восточноазиатским экономикам, разрыв у крупнейшего акционера составляет около 10 % (33,8 % голосов и 24,6 % в денежном потоке). Более высокие значения, от 12 до 20 %, отмечены в Германии, Франции и Южной Корее, согласно данным Belkhir et al. [13], Gugler & Yurtoglu [14] и Kang et al. [15], более низкие, от 2 до 4 %, в Великобритании и Японии, согласно данным Liu & Magnan [16].

Особенности генезиса фирм с разными типами акций обсуждаются как в теоретических, так и в эмпирических работах. Например, модель Chemmanur & Jiao [17] предсказывает более частые эмиссии акций разных типов в отраслях, где необходимы существенные инвестиции на исследования и разработки, со значительной неопределенностью и риском, в семейных компаниях или же в фирмах, которыми руководят менеджеры с высочайшей репутацией. Согласно модели, представленной Burkart & Lee [4], концентрация контроля способствует реализации компанией долгосрочных и инноваци-

онных проектов, снижая риски поглощения рейдерами, ориентированными на краткосрочные цели. С другой стороны, теоретическая литература по корпоративному управлению, в частности работы Jensen & Meckling [18] и Shleifer & Vishny [19], указывает, что концентрация голосов в руках крупных собственников и/или менеджеров может быть мотивирована извлечением частных выгод контроля, что, как правило, наносит ущерб миноритарным акционерам.

Эмпирические данные Arugaslan et al. [20] по компаниям США свидетельствуют о максимальной доле первичных размещений акций разных типов в секторе телекоммуникаций и издательской отрасли. Amoako-Adu et al. [21] показывают, что выпуск разных типов акций более характерен для семейных компаний: так, 83,2 % компаний с двумя типами акций (из списка S&P 1500) являются семейными фирмами (с доминированием семьи в структуре собственности), в то время как среди сравнимых компаний с одним типом акций семейные фирмы составляют всего лишь 29,04 %. Эти выводы в целом согласуются с упомянутой выше моделью Chemmanur & Jiao [17]. В работах Gompers et al. [3] и Nguyen & Xu [22] отмечается, что решения о выпуске акций разных типов обычно связаны с совокупностью наблюдаемых и ненаблюдаемых факторов, влияющих также на результативность фирм.

В целом большинство авторов сходятся во мнении, что выпуск акций разных типов более вероятен в тех компаниях, где от таких структур ожидается больший экономический эффект. С эмпирической точки зрения это серьезная проблема, вынуждающая исследователей экономических последствий отхода от принципа «одна акция — один голос» подбирать аналогии для фирм с двумя типами акций среди фирм с одним типом акций (например, с помощью метода мэтчинга) или же ис-

пользовать другие методы учета неслучайного отбора в группу фирм с двумя типами акций. На данный момент имеется лишь несколько работ, которые опираются на естественные или квазиэксперименты, генерирующие разрыв между собственностью и контролем, где проблема неслучайного отбора не является существенной, например Nüesch [23].

В литературе по корпоративному управлению ведутся оживленные дебаты об экономических последствиях выпуска компаниями акций разных типов [24]. Действительно, теория не дает четкого ответа на вопрос о том, как сложные структуры акционерного капитала влияют на поведение и результаты деятельности фирм.

С одной стороны, как показано Masulis et al. [25], отход от принципа «одна акция — один голос» может усугубить агентские проблемы внутри фирм, поскольку акционеры с непропорционально высокими правами голоса могут действовать в собственных корыстных интересах в ущерб миноритарным акционерам. Примерами здесь являются отлынивание (недостаточность усилий по управлению фирмой), кумовство, строительство империй, чрезмерное вознаграждение, вывод активов и т. п. Более того, разрыв может способствовать оккупации контролирующих акционеров и связанных с ними менеджеров, их несменяемости. В частности, Grossman & Hart [26] предполагают, что отклонение от принципа «одна акция — один голос» вследствие выпуска акций разных типов снижает эффективность рынка корпоративного контроля в процессе отбора наиболее эффективных управленческих команд.

С другой стороны, Burkart & Lee [4] обсуждают несколько примеров, когда жесткое следование принципу «одна акция — один голос» может быть неэффективным. В частности, эти авторы указы-

вают, что следование принципу «одна акция — один голос» повышает частные издержки акционерного финансирования для предпринимателей, которые, привлекая внешних инвесторов, хотели бы сохранить контроль над своими фирмами. В результате они вынуждены полагаться на менее экономически выгодные источники финансирования, что, в свою очередь, может повлиять на объем инвестиций и тем самым ограничить рост фирмы. Chemmanur & Jiao [17] указывают, что жесткое требование следовать принципу «одна акция — один голос» может стать преградой для реализации предпринимателями/менеджерами долгосрочных (и более инновационных) проектов, так как увеличивает риски поглощения компании рейдерами, ориентированными на краткосрочные цели. Кроме того, оно может усугубить проблему «безбилетника» в крупных компаниях, следствием чего станет недостаточный контроль над командой управленцев [4]. Наконец, применение принципа «одна акция — один голос» может негативно сказаться на инвестициях инсайдеров в человеческий капитал фирмы [27], а также воспрепятствовать установлению прочных отношений с ее стейкхолдерами [28]. Поскольку теория не дает однозначного ответа на вопрос о балансе плюсов и минусов выпуска акций разных типов, вопрос неизбежно переходит в эмпирическую плоскость.

Эмпирические свидетельства о том, как выпуск/наличие акций разных типов отражается на поведении и результативности компаний, также весьма противоречивы. Это наиболее полно задокументировано в скрупулезном анализе публикаций, выполненном Adams & Ferreira [9]. Нестыковки и несогласованность результатов характерны и для более поздних работ. Например, Masulis et al. [25] показывают, что руководители американских компаний с двумя типами

акций получают более высокое вознаграждение и чаще инициируют сделки по поглощению, снижающие рыночную ценность фирмы, по сравнению с руководителями компаний, имеющих только один тип акций.

Gompers et al. [3] обнаруживают, что рыночная стоимость компании снижается по мере роста разрыва между правами контроля и правами собственности (рыночная стоимость убывает с ростом прав контроля и увеличивается с ростом прав собственности). Baulkaran [29] показывает более низкую капитализацию компаний с двумя типами акций, которая объяснена окапыванием менеджеров. Lauterbach & Pajuste [30] на европейских данных показали, что интеграция (конвертация) акций разных типов в один тип повышает долгосрочную рыночную стоимость компаний. Последний результат объясняется улучшением корпоративного управления вследствие такой конвертации. В то же время Anderson et al. [31] указывают на отсутствие значимого негативного влияния наличия акций разных типов на деятельность фирм, которые контролируются основателями или их наследниками.

Согласно Bajo et al. [32], учреждение в Италии так называемых «акций лояльности» (loyalty shares), которые предоставляют акционеру удвоенное число голосов, при условии, что он владеет ими в течение как минимум двух лет, и, таким образом, увеличивают разрыв между собственностью и контролем, не имело каких-либо неблагоприятных последствий для благосостояния акционеров. Nguyen & Xu [22] обнаружили меньший масштаб манипулирования доходами (earnings management) в компаниях с двумя типами акций по сравнению с компаниями, выпустившими акции одного типа. Vauguess et al. [33], анализируя компании, которые перешли от простой (с одним типом акций) струк-

туры акционерного капитала к сложной (с двумя типами акций), обнаруживают рост производительности фирм, в которых инсайдеры продают значительную часть своих прав на денежный поток, сохраняя при этом права контроля. Jordan et al. [34] находят подтверждения гипотезы о том, что структуры с акциями двух типов помогают менеджерам сосредоточиться на реализации долгосрочных проектов, игнорируя краткосрочное давление рынка. Они также указывают, что такие структуры повышают рыночную стоимость компаний, имеющих высокий потенциал роста. Baran et al. [35] показывают, что сосредоточение контроля в руках корпоративных инсайдеров, достигаемое за счет акций двух типов, обеспечивает уникальную благоприятную среду для инновационности компаний, проявляющейся в более высоком числе патентов, большей эффективности НИОКР и большей склонности управленцев к принятию связанного с инновациями риска.

Целый ряд исследований дают более детализированную картину. Например, Adams & Santos [36] приводят данные о нелинейном влиянии концентрации контроля у руководства на результаты деятельности компаний с более высокими показателями, характерными для среднего уровня контроля. Согласно исследованиям Cremers et al. [37], а также Kim & Michaely [38], компании с акциями двух типов демонстрируют более высокую рыночную стоимость после первичного размещения акций (IPO), по сравнению с компаниями, выпускающими акции одного типа. Однако эта премия со временем исчезает и даже переходит в отрицательную зону примерно через шесть лет после первичного размещения.

Исследования, затрагивающие проблематику российских компаний с акциями разных типов, немногочисленны.

В ряде работ, например [39] и [40], упоминаются особенности правового регулирования, в частности запрет на выпуск обыкновенных акций разных типов, возможность выпуска разных типов привилегированных (неголосующих) акций и общее ограничение на объем их выпуска в размере не более 25 % капитала.

Экономический анализ зачастую делает акцент на частных вопросах, таких как разница цен между голосующими и неголосующими акциями или же дивидендная политика компаний со сложной структурой акционерного капитала. Например, Chernykh [7] исследует вопрос о конечных собственниках российских компаний в начале 2000-х гг. с учетом всех механизмов, порождающих разрыв между правами на управление и денежный поток: выпуск акций двух типов, перекрестное владение, пирамидальные структуры и т.п. В указанной статье, например, показано, что выпуск акций разных типов является вторым по распространенности механизмом усиления контроля в российских компаниях (после пирамидальных структур). Путем анализа официальных и неофициальных источников в этом исследовании также систематизирована информация о типах контролирующих собственников.

Muravyev [41] анализирует причины разницы рыночных стоимостей обыкновенных и привилегированных акций в России в 1997–2005 гг. Эмпирически подтверждена гипотеза о связи разницы цен с частными выгодами от обладания контролем, при этом размер этих выгод оказывается очень большим по сравнению с фондовыми рынками большинства других стран. Muravyev [42] показывает, что усиление правовой защиты владельцев привилегированных акций (а именно наделение их правом блокировать решения собраний акционеров, ущемляющих их права, что было законодательно закреплено в 2002 г.) положительно влияет

на стоимость таких акций на российском рынке. Berezinets et al. [43] анализируют дивидендную политику российских компаний с двумя типами акций за период с 2003 по 2009 г. и обнаруживают связь между дивидендами по обыкновенным акциям и типом собственников. В частности, дивиденд по обыкновенным акциям снижается по мере роста доли институциональных инвесторов и офшорных фирм в капитале, в то время как дивиденд по привилегированным акциям оказывается не зависящим от структуры собственности. Важно, что в указанной статье не предпринималось попыток измерить и оценить эффект разрыва между правами собственности и контроля в компаниях с двумя типами акций — акцент сделан на доле акционеров в капитале компании.

3. Цели, задачи и гипотезы исследования

Опираясь на вышеприведенный обзор литературы, нами сформулированы следующие цели, задачи и гипотезы исследования.

Цели статьи — во-первых, охарактеризовать сегмент российских публичных компаний с акциями разных типов, включая вопрос генезиса таких компаний, и, во-вторых, оценить влияние сложной структуры акционерного капитала на экономическую результативность компаний.

Для достижения первой цели решались следующие *задачи*:

- оценить масштаб и динамику выпуска российскими компаниями акций разных типов;
- изучить генезис российских компаний с двумя типами акций, в частности, в какой мере их появление связано с процессами реформирования экономики, включая приватизацию и реорганизацию отраслей (особенно секторов телекоммуни-

каций и электроэнергетики), а в какой является результатом решений собственников, заинтересованных в привлечении внешнего финансирования при сохранении контроля над компанией;

- получить представление о соотношении прав на участие в управлении и на денежный поток крупнейших акционеров компаний с двумя типами акций.

Для достижения второй цели сформулированы и протестированы следующие гипотезы:

H1: Российские компании со сложной структурой акционерного капитала имеют меньшую экономическую результативность, по сравнению с компаниями, акционерный капитал которых сформирован путем выпуска акций одного типа.

H2: Экономическая результативность российских компаний убывает по мере роста разрыва между правами крупнейшего акционера на участие в управлении и на получение дохода от компании.

H3: Экономическая результативность снижается по мере роста прав крупнейшего акционера на участие в управлении и увеличивается по мере роста его прав на получение дохода от компании.

4. Данные и методы

4.1. Данные

В статье использована уникальная и собранная частично вручную база данных, характеризующая всю генеральную совокупность российских публичных нефинансовых компаний в период с 2011 по 2020 г. Формирование базы данных проходило в нескольких этапах.

На *первом этапе* с сайта Московской биржи была собрана информация о листинге всех компаний по состоянию на конец каждого года. Из этого списка были исключены банки, страхо-

вые компании и инвестиционные фонды — компании с особым режимом регулирования и специфической финансовой отчетностью. Далее по каждой компании нефинансового сектора была собрана информация о рыночной капитализации и ликвидности акций (измеряемой, в частности, количеством транзакций в декабре каждого года и спреде цен на покупку и продажу).

На *втором этапе* из базы СКРИН¹ (Система комплексного раскрытия информации об эмитентах и профессиональных участниках фондового рынка) была почерпнута детальная информация о выпущенных компаниями акциях, в частности о наличии акций разных типов (обыкновенных и привилегированных) по состоянию на конец каждого года, их количестве, дате первой эмиссии и контексте выпуска привилегированных акций (был ли он связан с иницированной органами власти приватизацией, реорганизацией отраслей или же имела место новая эмиссия по решению акционеров компании).

На *третьем этапе* из раздела 6.5 квартальных отчетов эмитентов была взята информация о крупнейших акционерах, а именно их доле в уставном капитале (доле в генерируемом компанией денежном потоке) и для компаний с двумя типами акций также информация о доле в общем числе обыкновенных акций (доле голосов на общем собрании акционеров). Как правило, эти данные характеризуют крупнейших акционеров (либо владеющих не менее, чем 5 % капитала, либо располагающих не менее, чем 5 % голосов) на момент проведения очередных годовых собраний акционеров, обычно в мае-июне каждого года.

Например, согласно данным на май-июнь 2019 г. (почерпнутых из квартальных отчетов за 4-й квартал 2019 г.), крупнейший собствен-

¹ <https://skrin.ru/>

ник ПАО «Ростелеком» — Росимущество — владел 48,71 % голосов, но только 45,04 % капитала компании, что, согласно стандартному подходу, означает разрыв в размере 3,67 %. Более примечателен пример ПАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез», крупнейший акционер которого — ОАО «НГК «Славнефть»» владел 39,2 % капитала, но располагался 50,78 % голосов на собрании акционеров, что эквивалентно разрыву почти в 12 %.

На *четвертом этапе* также из базы СКРИН была взята информация о важнейших финансовых показателях (выручка, прибыль, стоимость активов, акционерного капитала, долгосрочного и краткосрочного долга), отраслевой принадлежности, локации фирм и т. п. В результате была сформирована база данных, включающая 1 902 наблюдения по 291 нефинансовой компании, из которых 102 компании имели акции двух типов хотя бы в один из годов наблюдения. Важно еще раз подчеркнуть, что все компании сформированной базы данных входили в листинг Московской биржи и имели рыночную капитализацию.

4.2. Методы

Эмпирическая часть настоящего исследования опирается на методы дескриптивного, статистического и эконометрического анализа. Методы дескриптивного и статистического анализа задействованы главным образом для достижения первой цели статьи, детального описания сегмента российских публичных компаний с акциями разных типов. В частности, для оценки динамики показателей, характеризующих такие компании, применен графический анализ, а для выявления существенных различий между группами компаний с одним и двумя типами акций используется сравнение средних, включая тест Стьюдента.

Методы эконометрического анализа применены для анализа связи между результативностью фирм, с одной стороны, и разрывом между правами на управление и денежный поток — с другой, включая тестирование гипотез *H1-H3*. Рассматриваемые в статье эконометрические модели в общем виде могут быть записаны следующим образом:

$$\begin{aligned} Performance_{it} = \\ = \alpha_i + GAP_{it}\beta + X_{it}\phi + v_t + \varepsilon_{it}, \end{aligned} \quad (1)$$

где *Performance* — показатель результативности фирмы, *GAP* — скаляр или вектор, характеризующий разрыв между правами собственности и контроля, генерируемый выпуском акций разных типов, *X* — вектор контрольных переменных, α — эффект ненаблюдаемых и неизменных во времени характеристик фирм, *v* — общие для всех фирм эффекты времени (фиксированные эффекты периодов наблюдения) и ε — случайная ошибка.

В исследовании сделан акцент на рыночных, а не на бухгалтерских показателях результативности. Это связано с тем, что бухгалтерские показатели, в отличие от рыночных, отличаются заметной инерционностью и, кроме того, хуже отражают политику распределения дохода между (крупными и мелкими) акционерами, которая особенно важна и интересна в компаниях с акциями разных типов. Например, как указывают Kuznetsov & Muravyev [44], компания может иметь высокую производительность (и высокие показатели рентабельности), но относительно низкие котировки акций вследствие извлечения частных выгод контроля крупными акционерами. Таким образом анализ рыночных показателей результативности компаний позволяет получить более полную картину последствий разрыва между правами крупнейшего акционера на управление и денежный поток. Не случайно именно рыночные показатели используют-

ся в большинстве работ, посвященных компаниям с акциями разных типов, например Gompers et al. [3], Baulkaran [29] и Bajo et al. [32].

Среди двух наиболее часто используемых рыночных показателей — соотношением рыночной и балансовой стоимости акционерного капитала (market-to-book ratio) и коэффициентом Тобина (Tobin's Q) — нами отдан приоритет первому показателю как несущему меньшие риски смещения оценок из-за ошибок измерения. Действительно, расчет коэффициента Тобина требует знания рыночной стоимости долга, которая в большинстве случаев недоступна (большая часть долга представлена банковскими кредитами, для которых отсутствуют рыночные котировки). В результате в большинстве работ рыночную стоимость долга компании заменяют бухгалтерской оценкой. Следствием может стать ошибка измерения, вызывающая не только рост стандартных ошибок и, как результат, незначимость коэффициентов регрессии, но их смещенность и несостоятельность, как убедительно показано в работе Roberts & Whited [45].

В рассматриваемых в рамках настоящей статьи моделях переменная/вектор переменных *GAP* представлен либо фиктивной, либо непрерывной переменной. *Dual_class* — фиктивная переменная для наличия у компаний акций разных типов. *Share_preferred* — непрерывная переменная, характеризующая долю привилегированных акций в капитале компании. *Wedge* представлен непрерывной переменной, измеряющей разрыв между правами голоса и правами на денежный поток. Также разрыв представлен двумя переменными, характеризующими права голоса и на денежный поток крупнейшего акционера: *Voting_rights* и *Cash_flow_rights*.

Заметим, что доля неголосующих акций является одной из мер разрыва

между правами собственности и контроля, так как налагает ограничения снизу и сверху на его величину. При доле неголосующих акций в 25 % разрыв находится в интервале от –25 %, когда крупнейший (по доле в капитале компании) акционер владеет всеми неголосующими акциями и не владеет голосующими (весьма маловероятный сценарий), до 25 %, когда крупнейший акционер владеет всеми 100 % голосующими акциями, составляющими 75 % капитала, и не владеет неголосующими акциями, что вполне вероятно.

Список используемых в регрессионном анализе контрольных переменных достаточно стандартен. В него входят размер фирмы, финансовый рычаг, мера ликвидности акций компании, фиктивная переменная для компаний, чьи акции обращаются за рубежом, и отраслевые фиктивные переменные.

При оценке параметров уравнений регрессии использованы три стандартных метода анализа панельных данных — модели пула, случайных и фиксированных эффектов. Во всех случаях рассчитаны кластер-робастные стандартные ошибки (кластеризация по компаниям), учитывающие потенциальную гетероскедастичность и корреляцию во времени наблюдений для одной и той же фирмы. Выбор наилучшей модели сделан на основе тестов Бройша — Пагана и Хаусмана, в последнем случае применен робастный тест на основе бутстрапирования, предложенный Kaiser [46].

5. Результаты исследования

5.1. Дескриптивный анализ

Описательная статистика основных переменных приведена в табл. 1. Данные таблицы, в частности, показывают, что на компании с двумя типами акций приходится около 32 % наблюдений. Это заметно ниже оценок для более ранних периодов, приведенных в работах Chernykh [7]

и Мурavyев [8], 46,2 и 44,5 %, соответственно. Однако, несмотря на заметное снижение доли таких компаний на российском фондовом рынке ко второй декаде нового столетия, она остается достаточно высокой по международным стандартам.

Средняя доля привилегированных акций равна 4,84 % (здесь учтены как компании с одним типом акций, так и с двумя), а разрыв между правами голоса и на денежный поток крупнейше-

го акционера составляет около 2 %, при этом доля в капитале равна 55 %, а доля в голосах — 57 % (опять-таки речь идет обо всей совокупности компаний, с одним и двумя типами акций). Эти данные, в частности, подтверждают значительную концентрацию собственности в российских публичных компаниях, задокументированную во многочисленных более ранних исследованиях, например Iwasaki et al. [47].

Таблица 1. **Описательная статистика основных переменных**

Table 1. **Descriptive statistics of main variables**

Переменная	Дефиниция	Среднее	Медиана	Ст. откл.	Мин.	Макс.
Market-to-book	Отношение рыночной и балансовой стоимости собственного капитала	1,82	0,83	2,79	0,10	14,46
Tobin's Q	Коэффициент Тобина, отношение суммы рыночной стоимости капитала и бухгалтерской стоимости долгосрочного долга к сумме бухгалтерских стоимостей капитала и долгосрочного долга	1,35	0,90	1,49	0,22	8,34
ROA	Рентабельность активов, отношение прибыли до налогов к стоимости активов	0,07	0,07	0,12	−0,36	0,47
Dual_class	Фиктивная переменная для двух типов акций	0,32	0,00	0,47	0,00	1,00
Share_preferred	Доля привилегированных акций в общем числе акций, %	4,84	0,00	8,70	0,00	58,00
Wedge	Разрыв между правами голоса и на денежный поток, %	1,99	0,00	4,39	−12,57	23,30
Cash_flow_rights	Доля крупнейшего акционера в денежном потоке компании, %	55,01	52,85	23,59	7,20	100,00
Voting_rights	Доля крупнейшего акционера в голосах, %	57,01	55,30	24,33	7,10	100,00
Leverage	Финансовый рычаг (отношение совокупного долга к активам)	0,58	0,56	0,31	0,01	1,79

Окончание табл. 1

Переменная	Дефиниция	Среднее	Медиана	Ст. откл.	Мин.	Макс.
Firm_size	Размер фирмы, логарифм выручки	23,54	23,93	3,22	0,00	29,79
Stock_liquidity	Логарифм (1 + число сделок с акциями компании в декабре каждого года)	0,04	0,00	0,12	0,00	2,12
ADR	Фиктивная переменная для наличия у компании АДР	0,21	0,00	0,40	0,00	1,00
Agriculture	Сельское и лесное хозяйство, рыбоводство	0,02	0,00	0,15	0,00	1,00
Mining	Добывающие отрасли	0,13	0,00	0,33	0,00	1,00
Machinery	Машиностроение	0,26	0,00	0,44	0,00	1,00
Metallurgy	Металлургия	0,08	0,00	0,27	0,00	1,00
Power_utilities	Электроэнергетика	0,31	0,00	0,46	0,00	1,00
Trade	Торговля	0,03	0,00	0,17	0,00	1,00
Transport	Транспорт	0,04	0,00	0,19	0,00	1,00
Telecoms	Телекоммуникации	0,06	0,00	0,24	0,00	1,00
Science&research	Наука и исследования	0,02	0,00	0,13	0,00	1,00
Other	Другие отрасли	0,06	0,00	0,24	0,00	1,00

Примечание: число наблюдений равно 1 902.

Согласно дескриптивной статистике, анализируемые компании в среднем имеют хорошие показатели результативности. Отношение рыночной капитализации к бухгалтерской стоимости активов в среднем превышает единицу (хотя медиана оказывается меньше единицы, а именно 0,83). Средняя и медианная рентабельность активов составляет 7 %. Отметим, что финансовые показатели, а именно переменные Market-to-book, Tobin's Q, ROA и Leverage, винзорированы (по 2,5 % наблюдений в правом и левом хвостах соответствующих распределений) с целью исключения влияния выбросов на результаты анализа.

Для рассматриваемых компаний в среднем характерны умеренные значения финансового рычага — доля заемных

средств составляет 58 %. Распределение по отраслям показывает доминирование электроэнергетики, машиностроения и сырьевого сектора, на которые приходится почти 80 % наблюдений. Это широко известная особенность российского фондового рынка, задокументированная, например, в работе Muravyev [8].

В табл. 2 показана дескриптивная статистика по двум группам компаний: с одним и двумя типами акций. Она свидетельствует о более низкой рыночной результативности компаний с двумя типами акций, измеряемой отношением рыночной и балансовой стоимости капитала, сходной результативности, измеряемой коэффициентом Тобина, и более высокой рентабельности активов (упомянутые различия существенны на уровне 1 %).

Таблица 2. **Описательная статистика переменных по группам компаний**

Table 2. **Descriptive statistics of variables by group of companies**

Variable	Среднее для Dual_class=1	Среднее для Dual_class=0	Разность, значимость	p-value
Market-to-book	1,56	1,94	0,38***	0,005
Tobin's Q	1,3	1,38	0,08	0,301
ROA	0,08	0,07	−0,01***	0,002
Dual_class	1	0	—	—
Share_preferred	14,9	0	−14,9***	0,000
Wedge	6,14	0	−6,14***	0,000
Cash_flow_rights	56,65	54,22	−2,43**	0,035
Voting_rights	62,79	54,22	−8,57***	0,000
Leverage	0,59	0,57	−0,02	0,152
Firm_size	23,57	23,53	−0,04	0,775
Stock_liquidity	0,02	0,05	0,03***	0,000
ADR	0,11	0,25	0,14***	0,000
Agriculture	0,02	0,02	0	0,993
Mining	0,14	0,12	−0,02	0,257
Machinery	0,27	0,25	−0,02	0,516
Metallurgy	0,02	0,1	0,08***	0,000
Power_utilities	0,43	0,25	−0,18***	0,000
Trade	0,01	0,04	0,03***	0,000
Transport	0,01	0,05	0,04***	0,000
Telecommunications	0,06	0,06	0	0,497
Science&research	0	0,02	0,02***	0,000
Other	0,03	0,07	0,04***	0,000

Примечание: число наблюдений равно 1 902.

Заметна также более высокая концентрация прав крупнейшего акционера на участие в управлении и на денежный поток в компаниях с двумя типами акций. При этом различий в размере компаний, относящихся к двум группам, не наблюдается. Как и в целом для всех торгуемых компаний, среди компаний с акциями двух типов есть гиган-

ты типа ПАО «Россети», «Ростелеком», Сбербанк и «Сургутнефтегаз», так и сравнительно небольшие компании типа ПАО «Лензолото», «Центральный Телеграф», «Центр международной торговли».

Равным образом нет таких различий и в финансовом рычаге. Акции компаний с одним типом акций более ликвидны на российском рынке и чаще обращаются

за рубежом в виде АДР. Довольно существенны различия в отраслевой принадлежности компаний двух групп. В частности, компаний с двумя типами акций существенно больше в электроэнергетике и меньше в металлургии и транспорте. В добывающих отраслях, машиностроении и секторе телекоммуникаций доли компаний с одним и двумя типами акций отличаются несущественно.

Рис. 1 показывает динамику доли компаний с двумя типами акций в течение периода наблюдения. Он свидетельствует в целом о незначительных колебаниях этой доли в диапазоне 31–34 %. Таким образом основное снижение доли компаний с двумя типами акций имело место в первую декаду нового века. По всей видимости, важнейшую роль здесь сыграла интеграция региональных телекоммуникационных компаний, как правило,

имевших акции двух типов и котирувавшихся на фондовом рынке, в более крупные компании, в частности ОАО «Центртелеком», «Волгателеком» и «Южная телекоммуникационная компания», в 2001–2003 гг., которые, в свою очередь, стали филиалами ПАО «Ростелеком» в 2010–2011 гг.

Важно отметить, что среди анализируемой 291 компании только пять изменили свой статус за период с 2011 по 2020 г., выпустив либо погасив привилегированные акции. Это три компании, созданные в ходе приватизации или реорганизации электроэнергетики (ПАО «Дорогобуж», «Уралкалий», «МРСК Сибири») и две изначально частные компании (ПАО «Группа Компаний „Роллман“» и «Селигдар»). Первая из пяти упомянутых компаний конвертировала привилегированные акции в обыкновенные в 2016 г.,

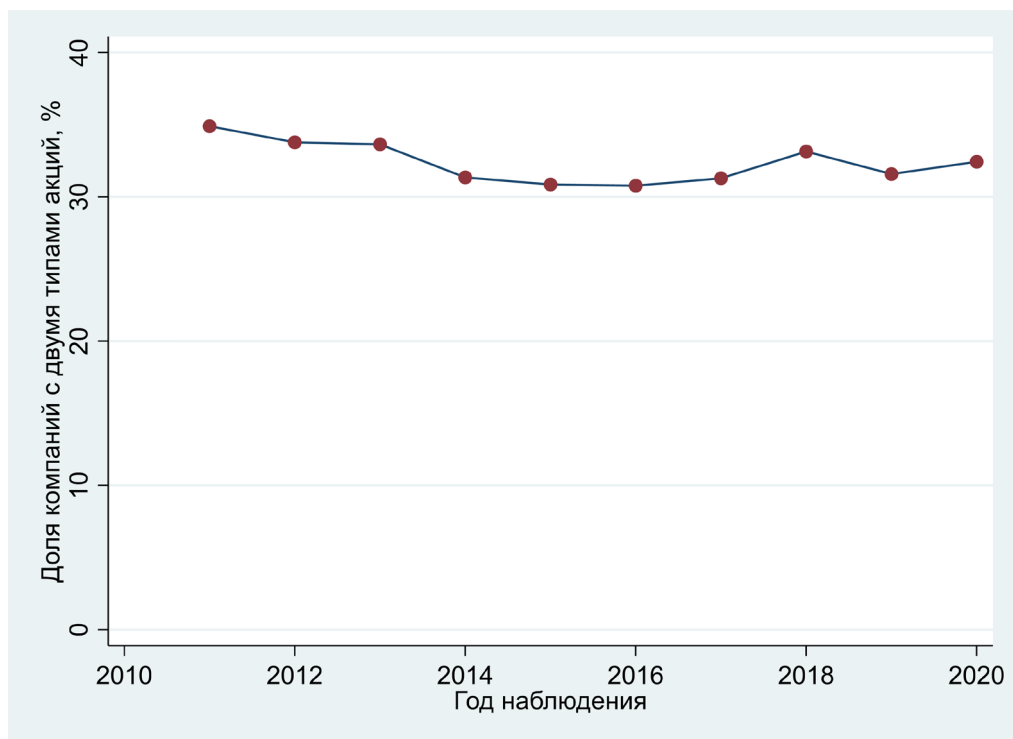


Рис. 1. Изменение доли компаний с двумя типами акций во времени

Figure 1. Change in the share of companies with dual class stock over time

вторая имела привилегированные акции, выпущенные в ходе приватизации, в 1993–2002 гг., а затем конвертировала их в обыкновенные, но в 2018 г. вновь выпустила привилегированные акции, правда, уже с другими характеристиками, а третья впервые выпустила привилегированные акции в 2015 г. Из двух изначально частных компаний первая выпустила привилегированные акции в 2012 г., но в 2021 г. конвертировала их в обыкновенные, а вторая разместила привилегированные акции в 2013 г. Незначительное число подобных событий свидетельствует о высокой в целом стабильности сектора компаний с двумя типами акций на российском рынке.

Имеющиеся у авторов более детальные данные о выпусках акций, не вошедшие в таблицы, свидетельствуют о том, что среди анализируемых 102 нефинансовых компаний со сложной структурой акционерного капитала, 52 % составля-

ли компании, созданные в ходе приватизации, и 37 % — компании, созданные в ходе реорганизации электроэнергетического сектора в 2004–2006 гг., что в совокупности дает 89 %. Изначально частные компании составляют только 11 % этой группы. Это наглядно иллюстрирует рис. 2, показывающий распределение года первого выпуска привилегированных акций. В этом распределении отчетливо видны две моды, приходящиеся на 1993 и 2005 гг., соответствующие пику приватизации и реорганизации сектора электроэнергетики.

Далее, 87 % компаний выпустили привилегированные акции в момент регистрации в качестве акционерного общества (либо при приватизации, либо при первичном размещении). Лишь 13 % компаний осуществили первый выпуск привилегированных акций после выпуска обыкновенных.

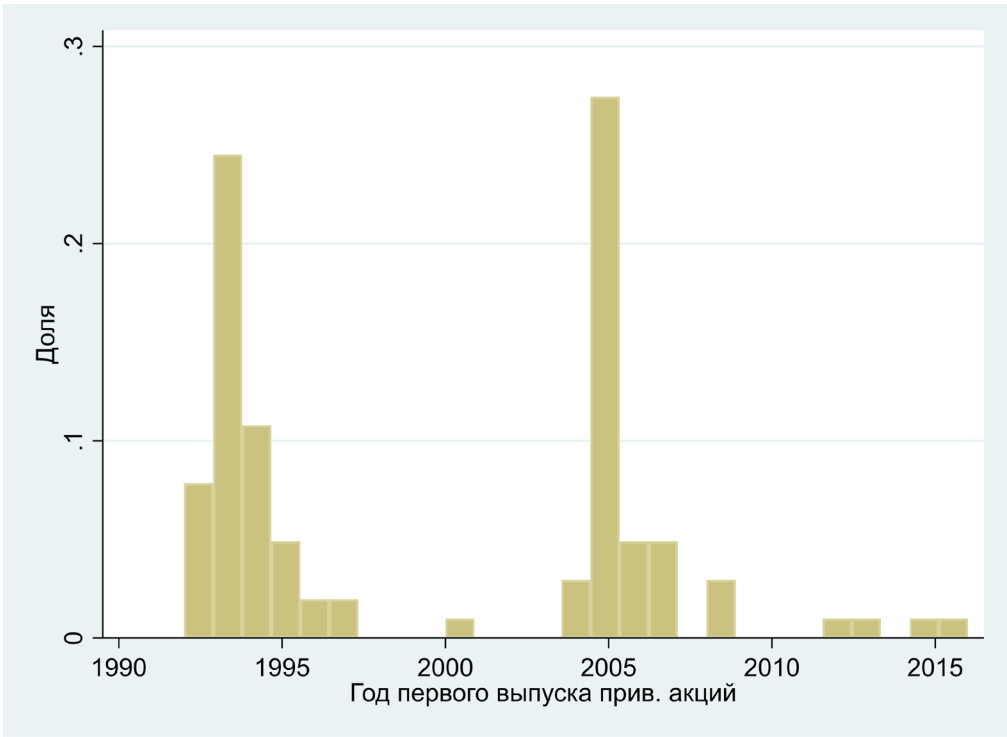


Рис. 2. Распределение года первого выпуска привилегированных акций

Figure 2. Distribution of the year of the first Issue of preferred shares

Суммируя имеющиеся данные, можно отметить, что и поныне 85 % нефинансовых компаний с двумя типами акций — это компании, образованные в процессе приватизации или реорганизации электроэнергетического сектора и выпустившие привилегированные акции в момент создания. Таким образом, данные подтверждает широко распространенное мнение о том, что выпуск привилегированных акций в большинстве российских компаний был (пред)определен решениями правительства, а не собственников компаний, например Muravyev et al. [48].

В частности, привилегированные акции выпускали государственные предприятия, приватизируемые в начале 1990-х гг. по первому варианту льгот. Согласно имеющейся статистике, приватизация по этому варианту была выбрана более чем 20 % предприятий. Как правило, это были крупные и капиталоемкие производства, работники которых не могли аккумулировать достаточных средств для приобретения

контрольного пакета голосующих акций (51 %) по второму варианту льгот для трудового коллектива. Это уникальный случай, так как в большинстве стран решения о формировании сложной структуры акционерного капитала принимаются предпринимателями в момент выхода на фондовый рынок. Как показано в обзоре литературы, эти решения не случайны и, как правило, связаны с желанием сохранить контроль при привлечении внешнего финансирования.

Рис. 3 иллюстрирует эволюцию доли привилегированных акций в общем числе акций, выпущенных компаниями со сложной структурой капитала. Ярко выраженной динамики у этой доли нет: в компаниях с двумя типами акций привилегированные акции составляют порядка 15 % в течение периода наблюдения. В целом данные отражают ограничение на выпуск привилегированных акций в объеме не более 25 % капитала компании, действующее с начала 1990-х гг.

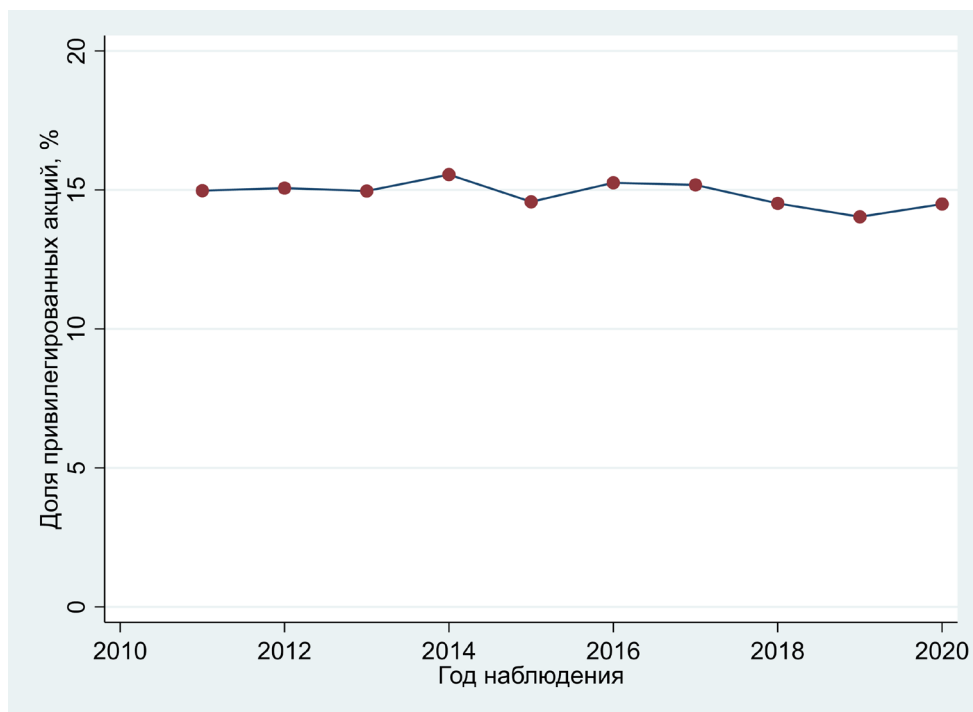


Рис 3. Доля привилегированных акций в общем числе выпущенных акций

Figure 3. Share of preferred stock in the total number of shares

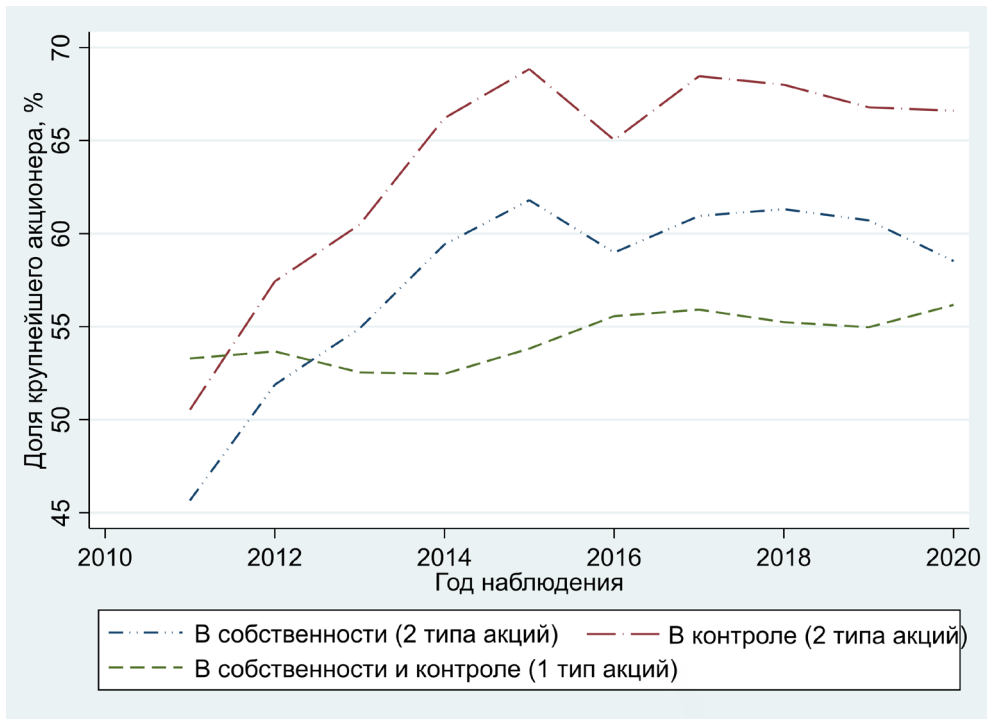


Рис. 4. Динамика прав собственности и контроля крупнейшего акционера в компаниях с одним и двумя типами акций

Figure 4. Dynamics of the largest shareholder's ownership and control rights in companies with single and dual class stock

Рис. 4 показывает динамику прав крупнейшего акционера на участие в управлении и на денежный поток в компаниях с акциями двух типов в сравнении с компаниями, имеющими один тип акций (в предположении, что права собственности и контроля в них совпадают). Для компаний с одним типом акций характерен слабо выраженный повышательный тренд. Для компаний с двумя типами акций характерен резко выраженный рост концентрации голосов и прав на денежный поток до 2015 г. и относительная стабилизация в последующие годы. В целом представленные на рисунке данные подтверждают задокументированную в ряде работ, например Iwasaki et al. [47], тенденцию к усилению концентрации собственности в России. Также заметно увеличение разрыва между правами собствен-

сти и контроля во времени. В частности, с 2011 по 2020 г. он вырос с 5 до 9 %.

Проведенный дескриптивный и статистический анализ собранных данных позволяет сделать несколько важных выводов:

- доля компаний с двумя типами акций на российском фондовом рынке достаточно высока по международным стандартам и стабильна на протяжении второй декады нового века;
- подавляющее большинство этих компаний появилось в результате решений правительства о приватизации и реорганизации отраслей и только небольшую долю составляют изначально частные фирмы;
- до 2015 г. в компаниях с двумя типами акций происходила быстрая концентрация голосов и прав на денежный поток, сменившаяся отно-

сительной стабилизацией в последующие годы;

- начиная с 2013 г., для компаний с двумя типами акций характерна большая концентрация собственности и контроля по сравнению с компаниями, выпустившими один тип акций.

5.2. Эконометрический анализ

Основные результаты регрессионного анализа для зависимой переменной *Market-to-book* суммированы в табл. 3. В ней представлены оценки параметров модели (1) для четырех разных метрик разрыва между

правами собственности и контроля, полученные с помощью методов фиксированных и случайных эффектов. Результаты обоих вариантов оценивания приведены в связи с тем, что тест Хаусмана оказывается недостаточно информативным, особенно при анализе бухгалтерских показателей результативности — модели со случайными эффектами часто отвергаются на 5 %-м уровне значимости. Оценки, полученные по модели пула, опущены ввиду их неэффективности — тест Бройша — Пагана указывает на наличие ненаблюдаемой гетерогенности среди компаний во всех спецификациях.

Таблица 3. Основные результаты регрессионного анализа

Table 3. Main results of regression analysis

	1	2	3	4	5	6	7	8
	RE	FE	RE	FE	RE	FE	RE	FE
Dual_class	−0.131	0.112						
	(0.122)	(0.318)						
Share_preferred			−0.010	−0.027*				
			(0.008)	(0.015)				
Wedge					−0.026***	−0.037***		
					(0.009)	(0.013)		
Cash_flow_rights							0.027***	0.039***
							(0.009)	(0.014)
Voting_rights							−0.026***	−0.036***
							(0.009)	(0.014)
Leverage	1.024***	0.848***	1.024***	0.852***	1.017***	0.855***	1.024***	0.865***
	(0.237)	(0.304)	(0.237)	(0.302)	(0.237)	(0.303)	(0.237)	(0.302)
Firm_size	−0.016	−0.011	−0.017	−0.012	−0.016	−0.012	−0.017	−0.012
	(0.014)	(0.016)	(0.014)	(0.016)	(0.013)	(0.015)	(0.013)	(0.015)
Stock_liquidity	0.383*	0.418**	0.388*	0.419**	0.378*	0.403**	0.392*	0.426**
	(0.210)	(0.186)	(0.211)	(0.186)	(0.209)	(0.184)	(0.211)	(0.186)
ADR	0.165	0.354	0.161	0.336	0.156	0.325	0.165	0.341
	(0.169)	(0.325)	(0.167)	(0.324)	(0.166)	(0.323)	(0.166)	(0.312)

Окончание табл. 3

	1	2	3	4	5	6	7	8
	RE	FE	RE	FE	RE	FE	RE	FE
Industries	yes	no	yes	no	yes	no	yes	no
Time dummies	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Breusch-Pagan, p-value	0.000		0.000		0.000		0.000	
Hausman, p-value	0.551		0.438		0.449		0.294	
R2 overall	0.200	0.121	0.189	0.089	0.192	0.119	0.188	0.110
No. obs.	1902	1902	1902	1902	1902	1902	1902	1902

Примечание: зависимая переменная — логарифм отношения рыночной и бухгалтерской стоимости акционерного капитала. В скобках указаны кластер-робастные стандартные ошибки коэффициентов регрессии. Уровни значимости коэффициентов помечены звездочками: * — для 10 %, ** — для 5 % и *** — для 1 %.

Первые два столбца показывают результаты для наиболее общей (и потому грубой) меры разрыва между правами собственности и контроля — фиктивной переменной для выпуска акций разных типов. Оба варианта оценивания, а именно с помощью методов фиксированных и случайных эффектов, указывают на отсутствие связи этой переменной с рыночной стоимостью компаний, так как соответствующие коэффициенты статистически незначимы.

Это результат, в частности, означает, что на российском фондовом рынке компании с акциями разных типов в целом котируются без существенного дисконта по отношению к компаниям с акциями одного типа. Подобный результат был ранее получен в ряде других работ на российских данных, в частности в работе Muravyev [8]. Таким образом гипотеза *H1* не находит подтверждения. Напротив, коэффициенты при ряде контрольных переменных значимы и имеют ожидаемый знак. В частности, рыночная стоимость выше у более прибыльных компаний (коэффициент значим только в модели со случайными эффектами), фирмах с более высоким финан-

совым рычагом, а также в компаниях, акции которых более ликвидны на фондовом рынке. Размер компании не оказывает существенного эффекта на ее рыночную стоимость. Фиксированные эффекты периодов наблюдения совместно статистически значимы. Отраслевые фиктивные переменные также совместно значимы в модели со случайными эффектами. В модели с фиксированными эффектами они по определению включены в фиксированные эффекты компаний и явным образом не оцениваются.

Столбцы 3 и 4 табл. 3 показывают результаты оценивания параметров модели, где использована вторая метрика разрыва, а именно доля привилегированных акций в капитале компании. Коэффициент при этой переменной отрицателен в обоих столбцах, но статистически значим на уровне 10 % только в модели с фиксированными эффектами. Таким образом, согласно этой модели, у нас нет веских оснований утверждать, что результативность компаний связана с долей привилегированных акций в ее капитале. Существенных изменений в величине и значимости коэффициентов при контрольных переменных

по сравнению с моделями в столбцах 1 и 2 не наблюдается. В целом можно сделать вывод о том, что гипотеза *H2* не находит подтверждения при использовании этой метрики разрыва между правами собственности и контроля.

Столбцы 5 и 6 показывают результаты для переменной разрыва, рассчитанной как разность между правами крупнейшего акционера на участие в управлении и на денежный поток. В обоих случаях коэффициент при этой переменной отрицателен и статистически значим на уровне 1 %, указывая, что рост разрыва на 1 процентный пункт ведет к снижению рыночной капитализации на 2,6–3,7 %. Заметим, что среднее значение разрыва в компаниях с двумя типами акций равно 6,14 %, поэтому рост этого показателя на 1 процентный пункт — весьма существенное изменение. Коэффициенты при контрольных переменных существенно не меняются по сравнению с ранее приведенными результатами. Таким образом, результаты, полученные для этой метрики разрыва, не позволяют отвергнуть гипотезу *H2*.

Наконец, столбцы 7 и 8 показывают результаты оценивания модели, в которую по отдельности включены перемен-

ные, описывающие права крупнейшего акционера на участие в управлении и на денежный поток. Все коэффициенты при упомянутых переменных оказываются статистически значимыми на уровне 1 %, при этом рыночная стоимость компании растет с увеличением доли крупнейшего акционера в денежном потоке, но падает с ростом его доли в праве на участие в управлении. Этот результат говорит в пользу выдвинутой в начале исследования гипотезы *H3*. Отметим, что подобный результат был ранее получен в ряде работ по данным зарубежных рынков, в частности Gompers et al. [3]. Интересно, что коэффициенты при переменных для прав собственности и контроля в одной и той же спецификации оказываются очень близки друг другу (в частности, данные не позволяют отвергнуть дополнительную гипотезу *Voting rights* = — *Cash_flow_rights* при любых конвенциональных уровнях значимости). Коэффициенты при контрольных переменных мало отличаются от тех, что были получены ранее.

Результаты анализа узкой подвыборки, включающей только компании с двумя типами акций, в целом подтверждают сделанные ранее выводы (табл. 4).

Таблица 4. Результаты регрессионного анализа для подвыборки компаний с двумя типами акций

Table 4. Results of regression analysis for a subsample of dual class stock companies

	1	2	3	4	5	6
	RE	FE	RE	FE	RE	FE
Share_preferred	-0.002 (0.006)	-0.020*** (0.007)				
Wedge			-0.013* (0.008)	-0.021** (0.010)		
Cash_flow_rights					0.012	0.020*

Окончание табл. 4

	1	2	3	4	5	6
	RE	FE	RE	FE	RE	FE
					(0.009)	(0.011)
Voting_rights					-0.013*	-0.021**
					(0.008)	(0.010)
Leverage	0.478*	0.266	0.476*	0.310	0.474*	0.308
	(0.253)	(0.266)	(0.253)	(0.273)	(0.254)	(0.274)
Firm_size	-0.003	-0.003	-0.004	-0.002	-0.004	-0.002
	(0.015)	(0.017)	(0.015)	(0.016)	(0.015)	(0.016)
Stock_liquidity	0.016	0.151	0.001	0.108	-0.006	0.101
	(0.176)	(0.175)	(0.176)	(0.190)	(0.173)	(0.190)
ADR	0.028	0.184**	0.014	0.170**	0.014	0.180**
	(0.120)	(0.077)	(0.116)	(0.066)	(0.117)	(0.069)
Industries	yes	no	yes	no	yes	no
Time dummies	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Breusch-Pagan, p-value	0.000		0.000		0.000	
Hausman, p-value	0.062		0.340		0.453	
R2 overall	0.253	0.004	0.246	0.069	0.247	0.065
No. obs.	618	618	618	618	618	618

Примечание: зависимая переменная — логарифм отношения рыночной и бухгалтерской стоимости акционерного капитала. В скобках указаны кластер-робастные стандартные ошибки коэффициентов регрессии. Уровни значимости коэффициентов помечены звездочками: * — для 10 %, ** — для 5 % и *** — для 1 %.

Отметим, что результаты представлены только для моделей, аналогичных моделям 3–8 табл. 3, поскольку коэффициент при переменной *Dual_class* в моделях 1 и 2 табл. 3 не может быть оценен на узкой подвыборке (эта переменная всегда принимает значение 1). Согласно представленным в табл. 4 результатам, результативность компании обратно связана с разрывом между правами на участие в управлении и правами на денежный поток крупнейшего акционера. Она является убывающей функцией концен-

трации прав контроля и возрастающей функцией прав собственности, с незначительными отличиями этих эффектов по абсолютной величине.

Необходимо также подчеркнуть, что полученные результаты достаточно стабильны, если не количественно, то качественно, при замене соотношения рыночной и балансовой стоимости акционерного капитала на коэффициент Тобина. В то же время результаты оценивания моделей, использующих бухгалтерские показатели результативно-

сти, включая сдвинутые во времени на один год вперед (из-за инерционности бухгалтерских показателей), указывают на заметно меньшую зависимость последних от разрыва в правах собственности и контроля¹. Это может означать, что разрыв в большей мере влияет на политику распределения дохода между крупными и мелкими акционерами, а не на техническую эффективность производства. Более полное представление об этом можно получить, анализируя, например, связь разрыва и иных показателей компаний, в частности дивидендов, что, однако, находится за рамками настоящего исследования.

6. Обсуждение результатов

В настоящей статье впервые подробно описан сегмент российских публичных компаний с акциями разных типов и даны оценки влияния разрыва между правами собственности и контроля, возникающего вследствие выпуска акций разных типов, на результативность компаний.

Показано, что в период с 2011 по 2020 г. компании с акциями двух типов составляли более 30 % общего числа компаний, акции которых котировались на Московской бирже. По международным меркам 30 % — достаточно высокая доля. Данные свидетельствуют о ее стабильности во времени: четко выраженной динамики к увеличению или снижению этой доли не просматривается.

Также установлено, что российские компании с акциями двух типов довольно разнородны. Среди них как гиганты типа ПАО «Россети», «Ростелеком», Сбербанк и «Сургутнефтегаз», так и сравнительно небольшие компании типа ПАО «Лензолото», «Центральный Телеграф», «Центр международной торговли».

¹ Соответствующие результаты могут быть получены по запросу у авторов статьи.

Важно, что подавляющее большинство российских публичных компаний, имеющих акции двух типов, — это бывшие государственные предприятия, приватизированные по первому варианту, который подразумевал выпуск привилегированных акций в объеме до 25 % уставного капитала, или же компании, созданные в ходе реформы электроэнергетики (региональные генерирующие и сбытовые компании). Выпуск привилегированных акций вне приватизации и/или реформы электроэнергетики — скорее исключение, чем правило. Это разительно отличает Россию от большинства других юрисдикций, где решения о выпуске акций разных типов принимаются предпринимателями, как правило, в момент первичного выхода на фондовый рынок, согласно Amoako-Adu et al. [21].

В начале 2010-х гг. в российских компаниях с двумя типами акций наблюдался заметный рост концентрации собственности и контроля, более явный, чем в компаниях с одним типом акций. В результате к концу второго десятилетия XXI в. для российских компаний с двумя типами акций была характерна более высокая концентрация собственности и контроля по сравнению с компаниями, выпускавшими лишь один тип акций. При этом в 2011–2020 гг. происходило постепенное увеличение разрыва между правами крупнейшего акционера на участие в управлении и на денежный поток, от 5 до 9 %. Несмотря на такой рост, разрыв оставался ниже среднего уровня для 22 западноевропейских и восточноазиатских экономик, изученных Jiang et al. [12].

С целью оценки влияния сложной структуры акционерного капитала на результативность компаний нами были протестированы три гипотезы. Первая *H1*, гласящая, что российские компании со сложной структурой акционерного капитала имеют меньшую экономическую

результативность, по сравнению с компаниями, акционерный капитал которых сформирован путем выпуска акций одного типа, была отвергнута. Таким образом, выпуск акций разных типов сам по себе не ведет к снижению рыночной стоимости компаний. Это противоречит результатам ряда работ на зарубежных данных, включая Masulis et al. [25] и Baulkaran [29], однако хорошо согласуется с результатами более ранних исследований по российскому рынку, в частности с работой Muravyev [8].

Вторая гипотеза *H2* о том, что экономическая результативность компаний убывает по мере роста разрыва между правами крупнейшего акционера на участие в управлении и на получение дохода, не отвергается по результатам проведенного анализа. Обнаружено, что рост разрыва на 1 процентный пункт ведет к снижению рыночной капитализации на 2,6–3,7 %.

Третья гипотеза *H3*, утверждающая, что экономическая результативность снижается по мере роста прав крупнейшего акционера на участие в управлении и увеличивается по мере роста его прав на получение дохода от компании, также находит подтверждение в российских данных, что хорошо согласуется с результатами ряда исследований на зарубежных рынках, в частности Gompers et al. [3].

Необходимо отметить несколько ограничений проведенного анализа.

Во-первых, объектом исследования являлись российские публичные нефинансовые компании, акции которых обращались на Московской бирже. При этом в стране имеется большой сегмент непубличных компаний с акциями разных типов. Очевидно, что автоматическое распространение полученных в настоящей статье результатов на эти компании невозможно. Для получения представления о том, что происходит в этих компаниях, необходимы допол-

нительные усилия по формированию выборки, сбору данных и их анализу.

Во-вторых, акцентирован разрыв между правами собственности и контроля, вытекающий из выпуска акций разных типов. При этом не учтены (из-за отсутствия надежных данных) иные механизмы усиления контроля в компаниях, в частности пирамидальные и перекрестные структуры владения, коалиции акционеров, голосование по доверенности. Как показано Chernykh [7], именно пирамидальные структуры являются самым распространенным механизмом усиления контроля в России.

В-третьих, потенциальное ограничение связано с наличием нюансов в правах, предоставляемых голосующим (обыкновенным) и неголосующим (привилегированным) акционерам российских компаний. В частности, необходимость определять в уставе компании тем или иным образом дивиденды по привилегированным акциям означает девиацию от классической ситуации, когда у двух типов акций идентичны права на денежный поток, но различаются права на участие в управлении. Впрочем, имеющиеся исследования, в частности Muravyev [42], указывают на несущественное влияние различий в правах на денежный поток у разных типов акций одной и той же компании на разницу их цен.

7. Заключение

Данная статья преследовала две цели: охарактеризовать сегмент российских публичных компаний с акциями разных типов, включая вопрос их генезиса, и оценить влияние сложной структуры акционерного капитала на экономическую результативность компаний. В статье использована уникальная и собранная частично вручную база данных, характеризующая всю генеральную совокупность российских публичных не-

финансовых компаний в период с 2011 по 2020 г.

С помощью методов дескриптивного, статистического и эконометрического анализа обнаружено, что доля компаний с двумя типами акций на российском фондовом рынке высока и относительно стабильна в период наблюдения, что подавляющее большинство таких компаний были созданы в ходе приватизации и/или реорганизации отраслей и для них характерна значительная концентрация прав контроля и собственности у крупнейшего акционера, равно как и растущий разрыв между его правами собственности и контроля.

С помощью регрессионного анализа установлена связь между результативностью компаний, измеряемой отношением рыночной и балансовой стоимости акционерного капитала, и сложной структурой акционерного капитала, возникающей вследствие выпуска акций разных типов. У этого общего вывода есть ряд нюансов. В частности, на рынке не наблюдается устойчивого дисконта в капитализации компаний с двумя типами акций. Равным образом объем выпуска неголосующих (привилегированных) акций слабо связан с рыночной капитализацией компаний.

В то же время установлена обратная связь между рыночной капитализацией и разрывом между правами голоса и правами на денежный поток крупнейшего акционера. При этом капитализация компании является возрастающей функцией от прав на денежный поток и убывающей — от прав голоса крупнейшего акционера, а абсолютные величины этих эффектов почти совпадают.

Полагаем, что полученные в настоящей статье выводы могут быть значимы и интересны для академического сообщества (научная значимость), инвесторов и регуляторов фондового рынка (практическая значимость). Для инве-

сторов особую ценность представляет результат о том, что факт выпуска акций разных типов не влечет снижения рыночной стоимости компании. Такой дисконт наблюдается только в компаниях, где существует значительный разрыв между правами собственности и контроля крупнейшего акционера. Этот вывод может быть полезен при формировании инвестиционных стратегий с использованием акций разных типов. Для регулятора рынка важно подтверждение в ходе проведенного анализа разумности ограничений на максимальную долю привилегированных акций в капитале компаний (в настоящее время в России — 25 % акционерного капитала), что сужает максимальный разрыв между правами собственности и контроля. Результаты могут оказаться полезными и при обсуждении перспектив дальнейшей либерализации регулирования акций разных типов, что уже сделано применительно к международным компаниям, перешедшим в Специальные административные районы (САР) в порядке редомициляции.

Для академического сообщества особенно важен необычный генезис российских компаний с акциями разных типов. Поскольку подавляющее большинство таких компаний возникло в результате квазиэксперимента, а именно вследствие решений правительства касательно приватизации и реорганизации отраслей, для них не характерна проблема неслучайного отбора, заметно осложняющая дизайн эмпирических работ на данных других стран. Уникальный генезис компаний с двумя типами акций в России в целом позволяет использовать стандартные методы анализа без риска смещения оценок вследствие селективности выборки. Таким образом, проведенный в статье эконометрический анализ установил негативный эффект разрыва между правами собственности и контроля на экономическую

результативность компаний в квази-экспериментальных условиях экзогенного возникновения компаний с двумя типами акций.

Наконец, важно подчеркнуть, что квазиэкспериментальный характер данных по российским компаниям с акциями разных типов может быть с успехом использован в дальнейших эмпирических исследованиях, направленных на ликвидацию целого ряда лагун в имеющемся знании. К ним можно отнести отсутствие достоверных сведений о влиянии идентичности или типа контролирующего акционера на связь между разрывом в правах собственности и контроля, с одной стороны, и поведением и результатами компаний — с другой,

а также пробелы в понимании роли второго крупнейшего акционера в смягчении последствий разрыва в правах собственности и контроля у крупнейшего акционера. Также недостаточно изучены остаются последствия разрыва для дивидендной политики, сменяемости менеджмента и инновационной активности компаний. В частности, остается не до конца ясным вопрос, в какой мере эта повышенная инновационность связана с характеристиками основателей фирмы, а в какой непосредственно с разрывом в правах собственности и контроля. Анализ данных по российским компаниям, где роль основателей фирмы может быть вынесена за скобки, может пролить свет на этот вопрос.

Список использованных источников

1. Black B. S., De Carvalho A. G., Gorga E. Corporate governance in Brazil // *Emerging Markets Review*. 2010. Vol. 11, Issue 1. Pp. 21–38. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2009.09.004>
2. Aggarwal D., Eldar O., Hochberg Y. V., Litov L. P. The rise of dual-class stock IPOs // *Journal of Financial Economics*. 2022. Vol. 144, Issue 1. Pp. 122–153. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.12.012>
3. Gompers P. A., Ishii J., Metrick A. Extreme governance: An analysis of dual-class firms in the United States // *Review of Financial Studies*. 2010. Vol. 23, Issue 3. Pp. 1051–1088. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhp024>
4. Burkart M., Lee S. One share-one vote: The theory // *Review of Finance*. 2008. Vol. 12, Issue 1. Pp. 1–49. <https://doi.org/10.1093/rof/rfm035>
5. Yan M. Permitting dual class shares in the UK premium listing regime — a path to enhance rather than compromise investor protection // *Legal Studies*. 2022. Vol. 42, Issue 2. Pp. 335–357. <https://doi.org/10.1017/lst.2021.50>
6. Weng C. X., Hu A. J. Every sunset is an opportunity to reset: an analysis of dual-class share regulations and sunset clauses // *Journal of Corporate Law Studies*. 2022. Vol. 22, Issue 1. Pp. 571–603. <https://doi.org/10.1080/14735970.2022.2067023>
7. Chernykh L. Ultimate ownership and control in Russia // *Journal of Financial Economics*. 2008. Vol. 88, Issue 1. Pp. 169–192. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2007.05.005>
8. Muravyev A. Boards of directors in Russian publicly traded companies in 1998–2014: Structure, dynamics and performance effects // *Economic Systems*. 2017. Vol. 41, Issue 1. Pp. 5–25. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2016.12.001>
9. Adams R., Ferreira D. One share-one vote: The empirical evidence // *Review of Finance*. 2008. Vol. 12, Issue 1. Pp. 51–91. <https://doi.org/10.1093/rof/rfm003>
10. Hossain A. T., Kryzanowski L. A review of the literature on dual-class firms // *Managerial Finance*. 2019. Vol. 45, Issue 9. Pp. 1199–1218. <https://doi.org/10.1108/MF-10-2018-0505>
11. Howell J. W. The survival of the US dual class share structure // *Journal of Corporate Finance*. 2017. Vol. 44. Pp. 440–450. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2014.07.006>

12. Jiang L., Kim J. B., Pang L. Control-ownership wedge and investment sensitivity to stock price // *Journal of Banking & Finance*. 2011. Vol. 35, Issue 11. Pp. 2856–2867. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.03.017>
13. Belkhir M., Boubaker S., Derouiche I. Control-ownership wedge, board of directors, and the value of excess cash // *Economic Modelling*. 2014. Vol. 39. Pp. 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.02.026>
14. Gugler K., Yurtoglu B. B. Corporate governance and dividend pay-out policy in Germany // *European Economic Review*. 2003. Vol. 47, Issue 4. Pp. 731–758. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(02\)00291-X](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(02)00291-X)
15. Kang M., Kim S., Cho M. K. The Effect of R&D and the Control-Ownership Wedge on Firm Value: Evidence from Korean Chaebol Firms // *Sustainability*. 2019. Vol. 11, Issue 10. 2986. <https://doi.org/10.3390/su11102986>
16. Liu M., Magnan M. Self-dealing regulations, ownership wedge, and corporate valuation: International evidence // *Corporate Governance: An International Review*. 2011. Vol. 19, Issue 2. Pp. 99–115. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8683.2010.00839.x>
17. Chemmanur T. J., Jiao Y. Dual class IPOs: A theoretical analysis // *Journal of Banking & Finance*. 2012. Vol. 36. Pp. 305–319. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.07.010>
18. Jensen M. C., Meckling W. H. Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure // *Journal of Financial Economics*. 1976. Vol. 3, Issue 4. Pp. 305–360. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X)
19. Shleifer A., Vishny R. W. A survey of corporate governance // *Journal of Finance*. 1997. Vol. 52, Issue 2. Pp. 737–783. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1997.tb04820.x>
20. Arugaslan O., Cook D. O., Kieschnick R. On the decision to go public with dual class stock // *Journal of Corporate Finance*. 2010. Vol. 16, Issue 2. Pp. 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2009.07.004>
21. Amoako-Adu B., Baulkaran V., Smith B. F. Dual Class Discount, and the Channels of Extraction of Private Benefits // *Advances in Financial Economics*. 2014. Vol. 16. Pp. 165–218. [https://doi.org/10.1108/S1569-3732\(2013\)0000016006](https://doi.org/10.1108/S1569-3732(2013)0000016006)
22. Nguyen V. T., Xu L. The impact of dual class structure on earnings management activities // *Journal of Business Finance & Accounting*. 2010. Vol. 37, Issue 3–4. Pp. 456–485. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5957.2010.02203.x>
23. Nüesch S. Dual-class shares, external financing needs, and firm performance // *Journal of Management & Governance*. 2016. Vol. 20, Issue 3. Pp. 525–551. <https://doi.org/10.1007/s10997-015-9313-5>
24. Gurrea-Martínez A. Theory, evidence, and policy on dual-class shares: A country-specific response to a global debate // *European Business Organization Law Review*. 2021. Vol. 22. Pp. 475–515. <https://doi.org/10.1007/s40804-021-00212-4>
25. Masulis R. W., Wang C., Xie F. Agency problems at dual-class companies // *Journal of Finance*. 2009. Vol. 64, Issue 4. Pp. 1697–1727. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2009.01477.x>
26. Grossman S. J., Hart O. D. One share-one vote and the market for corporate control // *Journal of Financial Economics*. 1988. Vol. 20. Pp. 175–202. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(88\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(88)90044-X)
27. DeAngelo H., DeAngelo L. Managerial ownership of voting rights: A study of public corporations with dual classes of common stock // *Journal of Financial Economics*. 1985. Vol. 14, Issue 1. Pp. 33–69. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(85\)90043-1](https://doi.org/10.1016/0304-405X(85)90043-1)
28. Shleifer A., Summers L. Breach of trust in hostile takeovers // *Corporate Takeovers: Causes and Consequences*. Edited by A. J. Auerbach. Chicago: University of Chicago Press, 1988. Pp. 33–68. URL: <https://www.nber.org/system/files/chapters/c2049/c2049.pdf>
29. Baulkaran V. Management entrenchment and the valuation discount of dual class firms // *Quarterly Review of Economics and Finance*. 2014. Vol. 54, Issue 1. Pp. 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2013.08.001>

30. *Lauterbach B., Pajuste A.* The long-term valuation effects of voluntary dual class share unifications // *Journal of Corporate Finance*. 2015. Vol. 31. Pp. 171–185. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2015.02.004>
31. *Anderson W., Duru A., Reeb D.* Founders, heirs, and corporate opacity in the United States // *Journal of Financial Economics*. 2009. Vol. 92, Issue 2. Pp. 205–222. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2008.04.006>
32. *Bajo E., Barbi M., Bigelli M., Croci E.* Bolstering family control: evidence from loyalty shares // *Journal of Corporate Finance*. 2020. Vol. 65. 101755. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2020.101755>
33. *Bauguess S. W., Slovin M. B., Sushka M. E.* Large shareholder diversification, corporate risk taking, and the benefits of changing to differential voting rights // *Journal of Banking & Finance*. 2012. Vol. 36, Issue 4. Pp. 1244–1253. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.11.009>
34. *Jordan B. D., Kim S., Liu M. H.* Growth opportunities, short-term market pressure, and dual-class share structure // *Journal of Corporate Finance*. 2016. Vol. 41. Pp. 304–328. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2016.10.003>
35. *Baran L., Forst A., Via M. T.* Dual-class share structure and innovation // *Journal of Financial Research*. 2023. Vol. 46, Issue 1. Pp. 169–202. <https://doi.org/10.1111/jfir.12311>
36. *Adams R. B., Santos J. A.* Identifying the effect of managerial control on firm performance // *Journal of Accounting and Economics*. 2006. Vol. 41, Issues 1–2. Pp. 55–85. <https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2005.08.001>
37. *Cremers M., Lauterbach B., Pajuste A.* The Life Cycle of Dual-Class Firm Valuation // *The Review of Corporate Finance Studies*. 2024. Vol. 13, Issue 2. Pp. 459–493. <https://doi.org/10.1093/rcfs/cfac026>
38. *Kim H., Michaely R.* Sticking around too long? Dynamics of the benefits of Dual-Class voting // *European Corporate Governance Institute (ECGI)-Finance Working Paper*. No. 590/2019, *Swiss Finance Institute Research Paper* No. 19–09. Swiss Finance Institute, 2019. 56 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3145209>
39. *Black B., Kraakman R.* A Self-Enforcing Model of Corporate Law // *Harvard Law Review*. 1996. Vol. 109, No. 8. Pp. 1911–1982. <https://doi.org/10.2307/1342080>
40. *Liljeblom E., Maury B.* Shareholder Protection, Ownership, and Dividends: Russian Evidence // *Emerging Markets Finance and Trade*. 2015. Vol. 52, Issue 10. Pp. 2414–2433. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.1073991>
41. *Muravyev A.* Dual class stock in Russia: explaining a pricing anomaly // *Emerging Markets Finance and Trade*. 2009. Vol. 45, Issue 2. Pp. 21–43. <https://doi.org/10.2753/REE1540-496X450202>
42. *Muravyev A.* Investor protection and the value of shares: Evidence from statutory rules governing variations of shareholders' class rights in an emerging market // *Journal of Law, Economics, & Organization*. 2013. Vol. 29, Issue 6. Pp. 1344–1383. <https://doi.org/10.1093/jleo/ews001>
43. *Berezinets I., Ilina Y., Alekseeva L.* Dividend policy and ownership structure: A study of Russian dual-class stock companies // *Corporate Ownership & Control*. 2017. Vol. 15, Issue 1. Pp. 199–212. <http://dx.doi.org/10.22495/cocv15i1clp4>
44. *Kuznetsov P., Muravyev A.* Ownership concentration and firm performance in Russia: the case of blue chips of the stock market // *Acta Oeconomica*. 2001. Vol. 51, Issue 4. Pp. 469–488. <https://doi.org/10.1556/aoecon.51.2000-2001.4.2>
45. *Roberts M. R., Whited T. M.* Endogeneity in empirical corporate finance // In: *Handbook of the Economics of Finance*. 2013. Vol. 2, Part A. Pp. 493–572. <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-453594-8.00007-0>
46. *Kaiser B.* Rhausman: Stata module to perform robust hausman specification test // *Statistical Software Components*. 2015: S457909. Boston College, Department of Economics, 2015. URL: <https://www.stata.com/manuals13/rhausman.pdf>

47. Iwasaki I., Mizobata S., Muravyev A. Ownership dynamics and firm performance in an emerging economy: a meta-analysis of the Russian literature // *Post-Communist Economies*. 2018. Vol. 30, Issue 3. Pp. 290–333. <https://doi.org/10.1080/14631377.2018.1442036>
48. Muravyev A., Berezinets I., Ilina Y. The structure of corporate boards and private benefits of control: Evidence from the Russian stock exchange // *International Review of Financial Analysis*. 2014. Vol. 34. Pp. 247–261. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2014.03.008>
49. Cao X., Leng T., Goh J., Malatesta P. The innovation effect of dual-class shares: New evidence from US firms // *Economic Modelling*. 2020. Vol. 91. Pp. 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.06.017>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Муравьев Александр Александрович

PhD in Economics, доцент департамента экономики Санкт-Петербургской школы экономики и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Санкт-Петербург, Россия (194100, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, 3а); научный сотрудник Института экономики труда — IZA, г. Бонн, Германия (Schaumburg-Lippe-Str. 5–9, D-53113, Bonn, Germany); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8936-2582> e-mail: amuravyev@hse.ru

Телятников Николай Сергеевич

Старший преподаватель и аспирант департамента экономики Санкт-Петербургской школы экономики и менеджмента Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Санкт-Петербург, Россия (194100, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, 3а); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3846-118X> e-mail: ntelyatnikov@hse.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Муравьев А. А., Телятников Н. С. Компании с акциями разных типов: мировой опыт и российская практика // *Journal of Applied Economic Research*. 2024. Т. 23, № 3. С. 801–832. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.032>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 23 января 2024 г.; дата поступления после рецензирования 6 мая 2024 г.; дата принятия к печати 9 июня 2024 г.

Dual Class Stock Companies: Global Experience and Russian Practice

Alexander A. Muravyev^{1, 2}  , Nikolay S. Telyatnikov¹ 

¹National Research University Higher School of Economics,
Saint-Petersburg, Russia

²Institute of Labor Economics — IZA,
Bonn, Germany

 amuravyev@hse.ru

Abstract. Companies with complex equity structures formed by issuing shares of different types are a common phenomenon in developed and developing economies, including Russia. However, the causes and consequences of companies choosing such equity structures are not well understood. In particular, neither theory nor empirical studies give a clear answer to the question of the impact of such equity structures on companies' behavior and performance. This article has two goals: first, to characterize the segment of Russian public companies with dual-class stock, including the question of their genesis, and second, to assess the impact of complex equity structures on company performance. The empirical analysis draws on a database of all Russian public companies whose shares were traded on the Moscow Exchange in 2011–20. Using the tools of descriptive, statistical and econometric analysis, we show that the share of dual-class stock companies on the Russian stock market has been high and stable over time, that the overwhelming majority of such companies were created during the processes of privatization and/or reorganization of industries, and that they are characterized by a significant concentration of ownership and control rights in the hands of the largest shareholder. We find that the Issue of dual-class stock does not lead to a decline in company performance. However, company performance is inversely related to the wedge between the control and ownership rights of the largest shareholder. Specifically, it is a decreasing function of the shareholder's control rights and an increasing function of her ownership rights, with almost identical absolute values of these effects. The academic significance of this study stems from the confirmation of a negative effect of the control-ownership wedge on company performance in a quasi-experimental setting of the Russian economy, where the majority of dual-class stock companies emerged as a result of government decisions on privatization/reorganization of industries. The results can be used by stock market participants and regulators, which highlights the practical value of this study.

Key words: dual class stock; ownership-control wedge; company performance; Russia.

JEL G34

References

1. Black, B.S., De Carvalho, A.G., Gorga, E. (2010). Corporate governance in Brazil. *Emerging Markets Review*, Vol. 11, Issue 1, 21–38. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2009.09.004>
2. Aggarwal, D., Eldar, O., Hochberg, Y.V., Litov, L.P. (2022). The rise of dual-class stock IPOs. *Journal of Financial Economics*, Vol. 144, Issue 1, 122–153. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.12.012>
3. Gompers, P.A., Ishii, J. Metrick, A. (2010). Extreme governance: An analysis of dual-class firms in the United States. *Review of Financial Studies*, Vol. 23, Issue 3, 1051–1088. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhp024>
4. Burkart, M., Lee, S. (2008). One share-one vote: The theory. *Review of Finance*, Vol. 12, Issue 1, 1–49. <https://doi.org/10.1093/rof/rfm035>

5. Yan, M. (2022). Permitting dual class shares in the UK premium listing regime — a path to enhance rather than compromise investor protection. *Legal Studies*, Vol. 42, Issue 2, 335–357. <https://doi.org/10.1017/lst.2021.50>
6. Weng, C.X., Hu, A.J. (2022). Every sunset is an opportunity to reset: an analysis of dual-class share regulations and sunset clauses. *Journal of Corporate Law Studies*, Vol. 22, Issue 1, 571–603. <https://doi.org/10.1080/14735970.2022.2067023>
7. Chernykh, L. (2008). Ultimate ownership and control in Russia. *Journal of Financial Economics*, Vol. 88, Issue 1, 169–192. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2007.05.005>
8. Muravyev, A. (2017). Boards of directors in Russian publicly traded companies in 1998–2014: Structure, dynamics and performance effects. *Economic Systems*, Vol. 41, Issue 1, 5–25. <https://doi.org/10.1016/j.ecosys.2016.12.001>
9. Adams, R., Ferreira, D. (2008). One share-one vote: The empirical evidence. *Review of Finance*, Vol. 12, Issue 1, 51–91. <https://doi.org/10.1093/rof/rfn003>
10. Hossain, A.T., Kryzanowski, L. (2019). A review of the literature on dual-class firms. *Managerial Finance*, Vol. 45, Issue 9, 1199–1218. <https://doi.org/10.1108/MF-10-2018-0505>
11. Howell, J.W. (2017). The survival of the US dual class share structure. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 44, 440–450. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2014.07.006>
12. Jiang, L., Kim, J.B., Pang, L. (2011). Control-ownership wedge and investment sensitivity to stock price. *Journal of Banking & Finance*, Vol. 35, Issue 11, 2856–2867. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.03.017>
13. Belkhir, M., Boubaker, S., Derouiche, I. (2014). Control-ownership wedge, board of directors, and the value of excess cash. *Economic Modelling*, Vol. 39, 110–122. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.02.026>
14. Gugler, K., Yurtoglu, B.B. (2003). Corporate governance and dividend pay-out policy in Germany. *European Economic Review*, Vol. 47, Issue 4, 731–758. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(02\)00291-X](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(02)00291-X)
15. Kang, M., Kim, S., Cho, M.K. (2019). The Effect of R&D and the Control-Ownership Wedge on Firm Value: Evidence from Korean Chaebol Firms. *Sustainability*, Vol. 11, Issue 10, 2986. <https://doi.org/10.3390/su11102986>
16. Liu, M., Magnan, M. (2011). Self-dealing regulations, ownership wedge, and corporate valuation: International evidence. *Corporate Governance: An International Review*, Vol. 19, Issue 2, 99–115. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8683.2010.00839.x>
17. Chemmanur, T.J., Jiao, Y. (2012). Dual class IPOs: A theoretical analysis. *Journal of Banking & Finance*, Vol. 36, 305–319. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.07.010>
18. Jensen, M.C., Meckling, W.H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, Vol. 3, Issue 4, 305–360. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X)
19. Shleifer, A., Vishny, R.W. (1997). A survey of corporate governance. *Journal of Finance*, Vol. 52, Issue 2, 737–783. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1997.tb04820.x>
20. Arugaslan, O., Cook, D.O., Kieschnick, R. (2010). On the decision to go public with dual class stock. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 16, Issue 2, 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2009.07.004>
21. Amoako-Adu, B., Baulkaran, V., Smith, B.F. (2014). Dual Class Discount, and the Channels of Extraction of Private Benefits. *Advances in Financial Economics*, Vol. 16, 165–218. [https://doi.org/10.1108/S1569-3732\(2013\)0000016006](https://doi.org/10.1108/S1569-3732(2013)0000016006)
22. Nguyen, V.T., Xu, L. (2010). The impact of dual class structure on earnings management activities. *Journal of Business Finance & Accounting*, Vol. 37, Issue 3–4, 456–485. <https://doi.org/10.1111/j.1468-5957.2010.02203.x>
23. Nüesch, S. (2016). Dual-class shares, external financing needs, and firm performance. *Journal of Management & Governance*, Vol. 20, Issue 3, 525–551. <https://doi.org/10.1007/s10997-015-9313-5>

24. Gurrea-Martínez, A. (2021). Theory, evidence, and policy on dual-class shares: A country-specific response to a global debate. *European Business Organization Law Review*, Vol. 22, 475–515. <https://doi.org/10.1007/s40804-021-00212-4>
25. Masulis, R.W., Wang, C., Xie, F. (2009). Agency problems at dual-class companies. *Journal of Finance*, Vol. 64, Issue 4, 1697–1727. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2009.01477.x>
26. Grossman, S.J., Hart, O.D. (1988). One share-one vote and the market for corporate control. *Journal of Financial Economics*, Vol. 20, 175–202. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(88\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(88)90044-X)
27. DeAngelo, H., DeAngelo, L. (1985). Managerial ownership of voting rights: A study of public corporations with dual classes of common stock. *Journal of Financial Economics*, Vol. 14, Issue 1, 33–69. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(85\)90043-1](https://doi.org/10.1016/0304-405X(85)90043-1)
28. Shleifer, A., Summers, L. (1988). Breach of trust in hostile takeovers. *Corporate Takeovers: Causes and Consequences*. Edited by A. J. Auerbach. Chicago, University of Chicago Press, 33–68. Available at: <https://www.nber.org/system/files/chapters/c2049/c2049.pdf>
29. Baulkaran, V. (2014). Management entrenchment and the valuation discount of dual class firms. *Quarterly Review of Economics and Finance*, Vol. 54, Issue 1, 70–81. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2013.08.001>
30. Lauterbach, B., Pajuste, A. (2015). The long-term valuation effects of voluntary dual class share unifications. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 31, 171–185. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2015.02.004>
31. Anderson, W., Duru, A., Reeb, D. (2009). Founders, heirs, and corporate opacity in the United States. *Journal of Financial Economics*, Vol. 92, Issue 2, 205–222. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2008.04.006>
32. Bajo, E., Barbi, M., Bigelli, M., Croci, E. (2020). Bolstering family control: evidence from loyalty shares. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 65, 101755. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2020.101755>
33. Bauguess, S.W., Slovin, M.B., Sushka, M.E. (2012). Large shareholder diversification, corporate risk taking, and the benefits of changing to differential voting rights. *Journal of Banking & Finance*, Vol. 36, Issue 4, 1244–1253. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.11.009>
34. Jordan, B.D., Kim, S., Liu, M.H. (2016). Growth opportunities, short-term market pressure, and dual-class share structure. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 41, 304–328. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2016.10.003>
35. Baran, L., Forst, A., Via, M.T. (2023). Dual-class share structure and innovation. *Journal of Financial Research*, Vol. 46, Issue 1, 169–202. <https://doi.org/10.1111/jfir.12311>
36. Adams, R.B., Santos, J.A. (2006). Identifying the effect of managerial control on firm performance. *Journal of Accounting and Economics*, Vol. 41, Issues 1–2, 55–85. <https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2005.08.001>
37. Cremers, M., Lauterbach, B., Pajuste, A. (2024). The Life Cycle of Dual-Class Firm Valuation. *The Review of Corporate Finance Studies*, Vol. 13, Issue 2, 459–493. <https://doi.org/10.1093/rcfs/cfac026>
38. Kim, H., Michaely, R. (2019). Sticking around too long? Dynamics of the benefits of dual-class voting. *European Corporate Governance Institute (ECGI)-Finance Working Paper. No. 590/2019, Swiss Finance Institute Research Paper No. 19–09*. Swiss Finance Institute, 56 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3145209>
39. Black, B., Kraakman, R. (1996). A Self-Enforcing Model of Corporate Law. *Harvard Law Review*, Vol. 109, No. 8, 1911–1982. <https://doi.org/10.2307/1342080>
40. Liljeblom, E., Maury, B. (2015). Shareholder Protection, Ownership, and Dividends: Russian Evidence. *Emerging Markets Finance and Trade*, Vol. 52, Issue 10, 2414–2433. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.1073991>
41. Muravyev, A. (2009). Dual class stock in Russia: explaining a pricing anomaly. *Emerging Markets Finance and Trade*, Vol. 45, Issue 2, 21–43. <https://doi.org/10.2753/REE1540-496X450202>

42. Muravyev, A. (2013). Investor protection and the value of shares: Evidence from statutory rules governing variations of shareholders' class rights in an emerging market. *Journal of Law, Economics, & Organization*, Vol. 29, Issue 6, 1344–1383. <https://doi.org/10.1093/jleo/ews001>
43. Berezinets, I., Ilina, Y., Alekseeva, L. (2017). Dividend policy and ownership structure: A study of Russian dual-class stock companies. *Corporate Ownership & Control*, Vol. 15, Issue 1, 199–212. <http://dx.doi.org/10.22495/cocv15i1clp4>
44. Kuznetsov, P., Muravyev, A. (2001). Ownership concentration and firm performance in Russia: the case of blue chips of the stock market. *Acta Oeconomica*, Vol. 51, Issue 4, 469–488. <https://doi.org/10.1556/aoecon.51.2000-2001.4.2>
45. Roberts, M.R., Whited, T.M. (2013). Endogeneity in empirical corporate finance. In: *Handbook of the Economics of Finance*, Vol. 2, Part A, 493–572. <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-453594-8.00007-0>
46. Kaiser, B. (2015). Rhausman: Stata module to perform robust hausman specification test. *Statistical Software Components*. S457909. Boston College, Department of Economics. Available at: <https://www.stata.com/manuals13/rhausman.pdf>
47. Iwasaki, I., Mizobata, S., Muravyev, A. (2018). Ownership dynamics and firm performance in an emerging economy: a meta-analysis of the Russian literature. *Post-Communist Economies*, Vol. 30, Issue 3, 290–333. <https://doi.org/10.1080/14631377.2018.1442036>
48. Muravyev, A., Berezinets, I., Ilina, Y. (2014). The structure of corporate boards and private benefits of control: Evidence from the Russian stock exchange. *International Review of Financial Analysis*, Vol. 34, 247–261. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2014.03.008>
49. Cao, X., Leng, T., Goh, J., Malatesta, P. (2020). The innovation effect of dual-class shares: New evidence from US firms. *Economic Modelling*, Vol. 91, 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.06.017>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alexander Aleksandrovich Muravyev

PhD in Economics, Associate Professor, Department of Economics, School of Economics and Management, National Research University Higher School of Economics, Saint-Petersburg Campus, Saint-Petersburg, Russia (194100, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street, 3A); Research Fellow, Institute of Labor Economics — IZA, Bonn, Germany (Schaumburg-Lippe-Str. 5–9, D-53113, Bonn, Germany); ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8936-2582> e-mail: amu-ravyev@hse.ru

Nikolay Sergeevich Telyatnikov

Post-Graduate Student, Senior Lecturer, Department of Economics, Department of Economics, School of Economics and Management, National Research University Higher School of Economics, Saint-Petersburg Campus, Saint-Petersburg, Russia (194100, Saint-Petersburg, Kantemirovskaya street, 3A); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3846-118X> e-mail: ntelyatnikov@hse.ru

FOR CITATION

Muravyev, A.A., Telyatnikov, N.S. (2024). Dual Class Stock Companies: Global Experience and Russian Practice. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 801–832. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.032>

ARTICLE INFO

Received January 23, 2024; Revised May 6, 2024; Accepted June 9, 2024.



Intangible Assets and US Stock Returns: An analysis using the Index Method, Panel Regression, and Machine Learning

Adil Haniev  

National Research University Higher School of Economics,

Moscow, Russia

 ahaniev@hse.ru

Abstract. This study examines the impact of intangible assets on stock returns in the U.S. using the Drucker Institute indices, which assess companies based on customer satisfaction, employee engagement and development, innovation, social responsibility, and financial stability. The relevance of this study lies in the growing importance of considering non-financial indicators in investment decision-making. The objective is to determine how these indices affect stock returns across different sectors. The hypotheses posit that each index has a positive impact. The study employs both panel regression with fixed effects and machine learning methods using XGBoost with Shapley values to analyze data from U.S. companies for the period from June 30, 2016, to June 30, 2023. The results indicate that social responsibility has a broadly positive impact on stock returns across various sectors. Innovation significantly affects returns only in the technology sector. Customer satisfaction and financial stability exhibit varying effects depending on the sector, while employee engagement and development show only negative impacts in the energy sector. The significance of this research lies in its contribution to understanding the role of intangible assets in shaping stock performance. We show that investors can achieve both ethical satisfaction and higher financial returns by prioritizing investments in companies with strong social responsibility records. Additionally, we draw the attention of investors and researchers to the importance of considering sectoral affiliation when analyzing companies. The use of advanced analytical tools, such as XGBoost with Shapley values, underscores the potential of machine learning in uncovering complex relationships in financial data. This approach proves to be highly promising for future research.

Key words: Drucker Institute Indexes; stock returns; ESG; corporate social responsibility; machine learning.

JEL G11, G17, C33, C58

1. Introduction

In recent years, investors have increasingly focused on the non-financial aspects of companies when making investment decisions [1]. Funds oriented towards ESG investments are gaining popularity [2]. High ESG indicators at the country level contribute to sustainable and long-term economic growth and increased citizen [3].

The literature on stakeholder theory indicates that corporate social responsibility (CSR) initiatives can help companies

improve their relationship with various stakeholder groups [4]. From the perspective of resource theory, CSR can be used to create sustainable competitive advantage for the firm. Indeed, a company's reputation and image are valuable and rare intangible assets [5]. Within the principal-agent theory framework, active engagement in ESG activities can help reduce agency costs, information asymmetry, and increase company transparency [6]. High ESG scores for a company can reduce its

risks [7], cost of debt [8], and cost of equity capital [9].

Not only ESG and CSR, but also other non-financial indicators have a positive impact on company's financial characteristics. For instance, high customer satisfaction leads to repeat purchases, recommendations, and positive reviews, resulting in improved financial performance [10].

On the other hand, it is the employees who, by receiving salaries and benefits, create value for the company and satisfy customers' needs [11]. Therefore, employee engagement is a crucial factor and has a significant impact on the company's financial performance [12].

Another important factor for the success of a company is its ability to generate and implement innovations. Innovative companies are persistently more profitable than non-innovators, according to studies by Geroski et al. [13], and Love et al. [14]. New products often temporarily provide an advantage over competitors, allowing for profit generation. Moreover, companies adept at implementing multiple innovations can consistently outperform others, as shown by Roberts [15], and Love et al. [14].

There are numerous ratings attempting to evaluate the non-financial characteristics of companies and various aspects of their operations [16]. A recent study by Crosby & Ghanbarpour [17] analyzed the Drucker intangibles measurement system and concluded its potential for academic research. Drucker Institute Company Ranking is compiled based on 34 indicators from various sources. It assesses companies based on characteristics such as Customer Satisfaction, Employee Engagement and Development, Innovation, Social Responsibility, and Financial Strength.

The purpose of this study is to examine the impact of intangible assets, measured by Drucker Institute indices, on the

stock returns of US companies. To the best of our knowledge, this is the first research to apply the Drucker Institute Company Ranking for this purpose. Additionally, the study aims to demonstrate the use of machine learning and Shapley values to analyze data and identify key factors affecting returns.

The research hypotheses suggest that higher indices assessing a company's intangible assets and financial strength are associated with higher stock returns:

H1: Customer satisfaction index positively impacts companies' stock profitability.

H2: Employee engagement and development index positively affect companies' stock profitability.

H3: Innovation index positively influences companies' stock profitability.

H4: Social responsibility index positively affects companies' stock profitability.

H5: Financial strength index positively impacts companies' stock profitability.

Structure of the article. Section 2 provides a review of previous research, while Section 3 describes the data and methodology. In Section 4, we first present the results obtained through panel regression for each sector, followed by the results derived from machine learning. Section 5 is dedicated to the discussion. The final section draws conclusions and offers recommendations.

2. Literature review

Using the data from the Drucker Institute Company Ranking, Ghanbarpour et al. [18] and Ratigan & Zaleski [19] studies have found significant influence of these rankings' indicators on Tobin's Q. However, Ratigan & Zaleski [19] note the ambiguity of the impact of these indicators on companies from different sectors. Thus, a preferable approach seems to be considering the sectoral affiliation of companies.

2.1. Customer Satisfaction

High levels of customer satisfaction contribute to loyalty, protect current market share from competitors, and enhance the company's reputation. Additionally, it leads to a reduction in the cost of capital [20]. Luo et al. [21] found that companies with higher customer satisfaction receive higher growth potential ratings for their stocks from analysts.

Fornell et al. [22] discovered that high customer satisfaction positively impacts stock returns partly because companies with high customer satisfaction often show positive earnings surprises. Malshe et al. [23] indicate that customer satisfaction positively affects stock returns through its negative impact on short interest. Wei et al. [24] show that high customer satisfaction can mitigate the negative impact of corporate social irresponsibility on financial performance. Peng et al. [25] demonstrated that investments in companies with high levels of customer satisfaction can yield higher returns than the market benchmark index.

On the other hand, Ittner et al. [26] found a positive impact of customer satisfaction only on short-term stock returns, with no significant effect on long-term returns.

Jacobson & Mizik [27] believe that the pricing anomaly is not due to the financial markets' systematic inability to reflect the financial consequences of customer satisfaction in the current stock price, but rather due to the abnormal returns achieved by a small group of satisfaction leaders in the computer and internet sectors during the learning period.

2.2. Employee Engagement and Development

Engaged employees not only enhance labor productivity but also contribute to business sustainability, making a significant contribution to achieving the compa-

ny's goals. Additionally, loyal employees are inclined to actively defend the organization's interests, thereby strengthening its reputation [28]. Employee development programs make a substantial positive contribution to organizational efficiency [29]. Chi & Gursoy [30] found no significant impact of employee satisfaction on the financial performance of companies in the hotel industry.

Nevertheless, Boustanifar & Kang [31] found that companies with better treatment of their employees demonstrate higher stock returns.

However, according to agency theory, if managers implement extensive employee welfare plans in an effort to deter employees from exposing managerial misconduct, improved employee welfare might actually correlate with increased crash risk. The study by Ben-Nasr & Ghouma [32] provides evidence that high levels of employee welfare standards contribute to stock price crash risk.

2.3. Innovation

Innovations are crucial for the growth and development of businesses and represent a way to achieve competitiveness in the market [33]. Both technological and managerial innovations positively impact company productivity [34]. Innovations significantly contribute to increasing company profitability [13]. Companies with a Corporate Innovation Strategy are less susceptible to stock price crashes [35].

Ortega-Argilés et al. [36] demonstrated that investments in R&D have a more positive impact on the productivity of high-tech companies specifically. Coad & Rao [37] found that innovations have a significant positive impact on the growth of high-tech companies.

Dranev et al. [38] further discovered that when fintech companies engage in M&A, firms with higher R&D expenditures exhibit greater abnormal stock re-

turns. Therefore, there is particular interest in studying the influence of this indicator on stock returns in the technology sector.

2.4. Social Responsibility

A high ESG rating reduces company risks and decreases the cost of debt [39]. Shanaev & Ghimire [40] found that changes in ESG ratings significantly impact short-term stock returns, with rating upgrades leading to increased returns and downgrades leading to decreased returns. Liu et al. [41] showed that a company's ESG rating had a consistent positive correlation with stock returns during the Covid-19 crisis. These results support the view that ESG efforts help firms improve their social image and public trust, which is crucial for financial stability, especially during economic downturns when public trust in corporations and capital markets unexpectedly declines. Given their high public trust, investors may demand more stocks with high ESG ratings during a crisis.

However, Liu et al. [41] also found a negative correlation between corporate social ratings and stock returns during "normal" times. This result may be due to companies focusing more on social responsibility and sustainable practices, which could entail higher costs or investments that temporarily affect their profitability.

The study by Feng et al. [42] shows that, in the long term, CSR positively impacts stock returns, while ESG negatively impacts them. However, the authors conclude that in the short term, a higher ESG rating can significantly boost stock returns.

Finally, Dorfleitner et al. [43] found that companies with high levels of CSR exhibit higher stock returns, explaining this by the fact that such companies more frequently receive unexpected additional cash flows.

2.5. Financial Strength

The examination of the impact of financial indicators on stock returns is not the primary focus of our research.

However, we decided to include the Financial Strength indicator calculated by the Drucker Institute as one of the potential determinants of stock returns.

Traditionally, analysts evaluate companies using Return on Capital (ROC), Return on Invested Capital (ROIC), and Return on Equity (ROE) as measures of company performance [44]. Rheynaldi et al. [45] found a significant positive influence of Return on Assets (ROA) on stock returns. Another popular metric for measuring value creation by a company is Economic Value Added (EVA) [46].

On the other hand, De Wet & Du Toit [47] point out that the impact of Return on Equity (ROE) and Economic Value Added (EVA) on stock returns is very low.

2.6. Machine learning method

Studies by Gu et al. [48] and Teplova et al. [49] demonstrate that applying machine learning methods to market data can be a highly effective and valuable approach. While machine learning (ML) presents a flexible and scalable alternative to econometric benchmark models, its primary drawback lies in being characterized as a black box approach. In other words, ML often lacks inherent explainability, making it challenging to elucidate causalities between explanatory and target variables.

The approach we use was proposed by Berger [50]. It involves combining machine learning (ML) and Shapley values, which allows us to understand which indicators play a key role in forecasting. Like the author of this study, we use Boosted Trees as the ML method.

2.7. Degree of development of the problem

The study of intangible assets and their impact on various company characteristics has garnered significant attention from both academics and practitioners. Key aspects such as customer satisfaction, employee

engagement, innovation, and social responsibility are regarded as important non-financial indicators that can influence a company's financial performance and stock returns. However, existing research often presents conflicting conclusions.

For example, high levels of customer satisfaction have been linked to increased stock returns, as shown by Luo et al. [21] and Fornell et al. [22]. Nonetheless, some studies, such as Ittner et al. [26], suggest that this effect is short-lived. Additionally, Jacobson & Mizik [27] argue that this positive impact is observed only in a small number of stocks.

Research on employee engagement and development also presents mixed results. Boustanifar & Kang [31] found that companies with better employee treatment demonstrate higher stock returns. However, Ben-Nasr & Ghouma [32] provide evidence that high levels of employee welfare standards can contribute to stock price crash risk.

On the contrary, studies on the impact of innovations indicate only positive effects. For instance, Jia [35] found that companies with a corporate innovation strategy are less prone to stock price declines.

The relationship between CSR and ESG practices and stock returns is also subject to varying interpretations. Shanaev & Ghimire [40] and Feng et al. [42] report that higher ESG ratings generally correlate with positive short-term stock returns.

However, Fiskerstrand et al. (2020) did not find such an impact, and Feng et al. [42] assess the long-term influence of ESG as negative, while CSR is seen as positive.

A unique feature of our study is the use of comprehensive indicators calculated by the Drucker Institute, which draw on various sources to provide a holistic assessment. The study period from 2016 to 2023 covers significant market events, including the COVID-19 pandemic, the market downturn due to rising interest rates in 2022, and several periods of market growth. This extended timeframe allows us to draw comprehensive conclusions about the impact of these indicators on company stock returns.

3. Data and Methods

3.1. Data

Data from companies in the US stock market are used for the period from June 30, 2016, to June 30, 2023. The reporting date chosen is June 30 of each year, which is the date Drucker Institute Company Ranking is published. Stock returns for the following year are chosen as the dependent variable. Table 1 presents the description of the variables.

Table 2 presents the descriptive statistics; the data sample is balanced and contains no missing values.

Table 3 presents the correlation matrix for all variables used in the study.

Table 1. Description of Variables

Variable	Description
Customer Satisfaction	The Drucker Institute calculates based on the American Customer Satisfaction Index; CSRHub: Product Rating; J. D. Power: Net Promoter Score; J. D. Power: Customer Satisfaction Index; wRatings: Quality Score.
Employee Engagement and Development	The Drucker Institute calculates based on the Burning Glass Institute, Harvard Business School, and Schultz Family Foundation: American Opportunity Index; CSRHub: Comp & Benefits Rating; Glassdoor: Culture & Values Rating, Career Opportunities Rating, Compensation & Benefits Rating; Glassdoor engagement metrics: Overall Rating, Recommend Rating; Glassdoor confidence metrics: CEO Rating, Positive Business Outlook Rating; Indeed: Work Wellbeing; Payscale: Pay Differential; Payscale: Job Satisfaction.

End of table 1

Variable	Description
Innovation	The Drucker Institute is calculated based on Lightcast: Cutting-edge Job Postings (Relative); Lightcast: R&D Job Postings (Relative); Clarivate: Number of Inventions (Relative); Clarivate: Rate of Patent Abandonment (Relative); Clarivate: Trademark Applications (Relative); Clarivate: Trademark Registers (Relative); Clarivate: R&D Expenditures (Relative); Boston Consulting Group and Fast Company: American Innovation Index; Professor Dimitris Papanikolaou of Northwestern University and Professor Amit Seru of Stanford University: Patent Value (Relative); Supply Chain Resource Cooperative: Innovation Rating; wRatings Innovation Index.
Social Re- sponsibility	The Drucker Institute is calculated based on CSRHub: Overall ESG Score (Absolute); CSRHub: Overall ESG Score (Relative); HIP Investor: Overall ESG Rating; HIP Investor: SDG Rating; HIP Investor's Vision Rating; Supply Chain Resource Cooperative: Social Responsibility Rating; Sustainalytics: Management Score (Absolute); Sustainalytics: Management Score (Relative).
Financial Strength	The Drucker Institute is calculated based on ISS EVA: Economic Profit metrics (Economic Value Added, EVA Spread, EVA Margin, EVA Momentum by Capital, EVA Momentum by Sales); Refinitiv Eikon: Accounting Profit metrics (Operating return on invested capital, Return on assets, Return on common equity, Earnings for common shareholders); Refinitiv Eikon: Share of Market; Refinitiv Eikon: Three-Year Average Total Shareholder Return
P/B	Price/ book value ratio
LNMcap	Natural logarithm of market capitalization
Momentum	Stock return over the past year
RETURN	Stock return for the next year starting June 30th.

Table 2. Descriptive Statistics

Variable	Number of Observations	Mean	Max	Min	Standard Deviation
Customer Satisfaction	3234	50.3981	79.4000	15.0000	9.4698
Employee Engagement and Development	3234	50.6125	82.0000	0.0000	9.9852
Innovation	3234	50.4401	212.3000	34.3000	10.7058
Social Responsibility	3234	50.8230	78.9000	27.2000	10.1352
Financial Strength	3234	50.7552	106.7000	14.6000	9.8417
P/B	3234	3.7628	13.0000	0.1049	3.5022
LNMcap	3234	23.4494	28.3956	17.5683	1.3519
Momentum	3234	0.1257	1.1600	-0.9704	0.3812
RETURN	3234	0.1214	1.1600	-0.9290	0.3798

Table 3. Correlation Matrix

Customer Satisfaction	Employee Engagement and Development	Innovation	Social Responsibility	Financial Strength	P/B	LNMcaps	Momentum	RETURN	
1.000	0.190	0.245	0.381	0.165	0.144	0.166	0.049	0.001	Customer Satisfaction
	1.000	0.275	0.402	0.262	0.182	0.463	0.065	0.004	Employee Engagement and Development
		1.000	0.408	0.359	0.135	0.534	−0.002	0.004	Innovation
			1.000	0.240	0.066	0.481	−0.019	−0.022	Social Responsibility
				1.000	0.285	0.495	0.200	−0.001	Financial Strength
					1.000	0.334	0.159	−0.123	P/B
						1.000	0.184	−0.137	LNMcaps
							1.000	−0.306	Momentum
								1.000	RETURN

3.2. Methodology

Two approaches were used to assess the impact of Drucker Institute indices on stock returns: panel regression and machine learning.

3.2.1. Panel regression

Using tests for differences in constants across groups, the Breusch-Pagan test, and the Hausman test, it was found that the model with fixed effects is the most suitable.

For each sector, a panel regression of the following form was constructed:

$$\begin{aligned} Return_{it} = & \alpha_i + \beta_1 Drucker_{it} + \\ & + \beta_2 PB_{it} + \beta_3 Momentum_{it} + \\ & + \beta_4 LNMcaps_{it} + \varepsilon_{it}, \end{aligned} \tag{1}$$

Where *Return* — the stock return for the next year, *Drucker* — the Drucker Institute Company indexes, *PB* — the Price/Book value multiplier, *Momentum* — the stock

return for the previous year (*Momentum* factor), and *LNMcaps* — the natural logarithm of market capitalization.

3.2.2. Machine learning

The study utilizes XGBoost (eXtreme Gradient Boosting) — a machine learning algorithm that employs gradient boosting to construct an ensemble of decision trees. The approach is extensively described by Chen & Guestrin [51] and Berger [50]. It operates by sequentially adding trees to the model, each correcting the errors of the previous one, thus minimizing the loss function. Let $\hat{y}_i^{(t-1)}$ be the prediction of the *i*-th instance at the *t*-th iteration, we need to add f_t in order to minimize the following objective:

$$\begin{aligned} obj^t = & \sum_{i=1}^n l(y_i, \hat{y}_i^{(t-1)} + f_t(x_i)) + \\ & + \Omega(f_t). \end{aligned} \tag{2}$$

Additionally, the study employs Shapley values — a method for interpreting machine learning models that explains the model's predictions by computing the contribution of each feature to the outcome.

As outlined by Lundberg & Lee [52], Shapley values, originating from game theory, represent the singular model-agnostic framework in interpretable machine learning that adheres to statistical properties like efficiency, symmetry, and additivity.

According to Berger [50], the Shapley value ϕ_j of j -th explanatory variable can be defined as follows:

$$\phi_j = \sum_{S \subseteq \{1, \dots, p\} \setminus \{j\}} \frac{|S|!(p - |S| - 1)!}{p!} \times \left(f_{S \cup \{j\}}(x_{S \cup \{j\}}) - f_S(x_S) \right). \quad (3)$$

With x_S as a subset of the explanatory variables in the set S , $f_{S \cup \{j\}}$ is the trained model with explanatory variable j and f_S without.

In the study, Shapley values are used in conjunction with XGBoost to understand the importance of each feature in forecasting, enabling the analysis of which factors have the greatest impact on model outcomes. Shapley values compute the importance of each feature by considering its influence on predictions for each observation. Once Shapley values are computed, they can be used to interpret the model's forecasts. It is possible to visualize the contribution of each feature to the forecast for a specific observation or aggregate Shapley values to assess the overall importance of features in the model. This helps understand which factors have the most influence on XGBoost model predictions.

Positive Shapley values for a specific indicator indicate that it positively impacts the forecast, while negative values indicate the opposite. Large absolute Shapley val-

ues indicate that the feature strongly influences the model's forecast for a given observation.

For training, 70 % of the dataset is utilized, while 30 % serves as the test dataset. The same data used for panel regression is applied, but with the addition of dummy variables for sectors. This approach is akin to Ghanbarpour et al. [18], where the authors assessed the impact of Drucker Institute indices on Tobin's Q for the entire sample of companies.

4. Results

4.1. Panel regression

The White test showed the absence of heteroskedasticity, while the VIF (variance inflation factor) test indicated no multicollinearity. In Table 4, the results for US companies from 11 sectors are presented. Table 5 shows which hypotheses were confirmed and in which sectors, using panel regression.

Customer Satisfaction has a significant negative impact on stock returns in the Basic Materials, Consumer Cyclical, and Consumer Defensive sectors, while it has a positive impact in Energy and Industrials sectors. Ratigan & Zaleski [19] also found positive effects of this indicator on Tobin's Q in these sectors, while negative effects were observed in Real Estate and Utilities. The absence of a positive impact is consistent with the findings of the previous study by Peng et al. [25].

Employee Engagement and Development does not have a significant impact in any of the sectors, except for Energy, where it has a negative influence. Ratigan & Zaleski [19] did not find any significant association of this indicator with Tobin's Q. The negative impact of this indicator aligns with the findings of Ben-Nasr & Ghouma [32], who found that high levels of employee welfare standards may lead to stock price crash risk.

Table 4. Results of panel regression using a fixed effects model for each sector

	Basic Materials	Communication Services	Consumer Cyclical	Consumer Defensive	Energy	Financial Services	Healthcare	Industrials	Real Estate	Technology	Utilities
<i>Number of Observations</i>	155	136	534	250	154	376	348	508	130	480	163
<i>LSDV R-squared</i>	0.48	0.54	0.45	0.55	0.69	0.54	0.52	0.57	0.67	0.49	0.54
<i>Variables</i>	Coefficient (Standard Error)										
<i>Const</i>	25.3802 (4.2992)***	18.7121 (4.8041)***	12.2336 (1.8393)***	22.2586 (2.5674)***	21.2311 (3.0562)***	25.5539 (2.1804)***	10.8034 (2.50566)***	12.9647 (2.0315)***	18.7888 (3.2128)***	9.3536 (1.9858)***	14.8414 (3.1002)***
<i>Customer Satisfaction</i>	-0.0097 (0.0052)*	-0.0011 (0.0060)	-0.0068 (0.0034)**	-0.0056 (0.0027)**	0.0097 (0.0039)**	-0.0005 (0.0031)	0.0019 (0.0027)	0.0067 (0.0024)***	-0.0001 (0.0034)	0.0003 (0.0029)	0.0044 (0.0033)
<i>Employee Engagement and Development</i>	0.0009 (0.0085)	-0.0122 (0.0083)	-0.0058 (0.0041)	0.0025 (0.0046)	-0.0101 (0.0044)**	-0.0004 (0.0041)	0.0033 (0.0043)	0.0044 (0.0031)	0.0028 (0.0037)	-0.0007 (0.0043)	-0.0021 (0.0018)
<i>Innovation</i>	0.0071 (0.0081)	-0.0025 (0.0066)	-0.0017 (0.0039)	0.0071 (0.0044)	-0.0003 (0.0065)	-0.0002 (0.0031)	0.0037 (0.0038)	0.0025 (0.0041)	0.0028 (0.0034)	0.0097 (0.0036)***	0.0044 (0.0031)
<i>Social Responsibility</i>	0.0324 (0.0131)**	0.0163 (0.0111)	0.0102 (0.0052)*	0.0174 (0.0061)***	0.0021 (0.0088)	0.0005 (0.0049)	0.0039 (0.0043)	0.0151 (0.0043)***	0.0063 (0.0069)	0.0055 (0.0061)	0.0101 (0.0056)*
<i>Financial Strength</i>	0.0118 (0.0063)*	0.0089 (0.0057)	0.0058 (0.0035)*	0.0036 (0.0038)	-0.0053 (0.00389)	0.0088 (0.0028)***	0.0041 (0.0023)*	0.0049 (0.0035)	0.0112 (0.0054)**	-0.0057 (0.0026)**	0.0024 (0.0038)
<i>P/B</i>	0.1492 (0.0674)**	-0.0525 (0.0457)	0.0102 (0.0213)	0.0997 (0.0277)***	0.0351 (0.0665)	0.1198 (0.0294)***	-0.0503 (0.0246)**	0.0282 (0.0247)	0.0034 (0.0502)	-0.0173 (0.0193)	0.0266 (0.0489)
<i>LNMcap</i>	-1.2014 (0.1962)***	-0.7777 (0.2034)***	-0.5366 (0.0841)***	-1.0142 (0.1161)***	-0.8961 (0.1273)***	-1.1057 (0.0966)***	-0.4698 (0.1103)***	-0.6321 (0.0938)***	-0.8414 (0.1428)***	-0.3996 (0.0869)***	-0.6661 (0.1363)***
<i>Momentum</i>	0.1453 (0.1051)	0.0291 (0.1110)	-0.2601 (0.0506)***	-0.0157 (0.0651)	0.1349 (0.0743)*	-0.0905 (0.0505)*	-0.0956 (0.0519)*	-0.3018 (0.0452)***	-0.0884 (0.0811)	-0.2188 (0.0454)***	-0.0893 (0.0813)

Table 5. Hypotheses confirmed through panel regression

Hypotheses	Basic Materials	Communication Services	Consumer Cyclical	Consumer Defensive	Energy	Financial Services	Healthcare	Industrials	Real Estate	Technology	Utilities
<i>H1</i> : Customer satisfaction index positively impacts companies' stock profitability.					+			+			
<i>H2</i> : Employee engagement and development index positively affect companies' stock profitability.											
<i>H3</i> : Innovation index positively influences companies' stock profitability.										+	
<i>H4</i> : Social responsibility index positively affects companies' stock profitability.	+		+	+				+			+
<i>H5</i> : Financial strength index positively impacts companies' stock profitability.	+		+			+	+		+		
<i>Note</i> : The symbol «+» indicates that the hypothesis was confirmed in the respective sector.											

Innovation positively influences returns only in the Technology sector. This aligns with the findings of Dranev et al. [38] for fintech companies. This also aligns with the conclusions of Coad & Rao [37] and Ortega-Argilés et al. [36] regarding the importance of R&D expenditures and innovations for high-tech companies.

Social Responsibility positively influences stock returns of companies in Basic Materials, Consumer Cyclical, Consumer Defensive, Industrials, and Utilities sectors.

This differs from the findings of Ratigan & Zaleski [19], who found only a negative association in the Consumer Cyclical sector. However, it aligns with the conclusions of other researchers regarding the impact of ESG and CSR on stock returns, such as Shanaev & Ghimire [40] and Dorfleitner et al. [43].

Financial Strength has a positive impact in the Basic Materials, Consumer Cyclical, Financial Services, Healthcare, and Real Estate sectors, and a negative im-

pact in the Technology sector. Ratigan & Zaleski [19] found the same positive influence, but only on Tobin's Q.

The *P/B* ratio positively influences the returns of companies in the Basic Materials, Consumer Defensive, and Financial Services sectors, and negatively influences those in healthcare.

It is interesting to note the presence of a size effect in all sectors, where the natural logarithm of capitalization significantly negatively influences returns. This aligns with the findings of Van Dijk [53].

On the other hand, previous returns (Momentum) have a negative impact in

Consumer Cyclical, Financial Services, Healthcare, Industrials, and Technology sectors, and a positive impact in the Energy sector.

4.2. Machine learning

The figure 1 displays Shapley values for all observations:

To identify the most significant factors, the median value of the absolute Shapley values is calculated. As seen in Figure 2, factors with values above 0.01 include Momentum, Financial Strength, *P/B*, and Social Responsibility. The model has an R^2 of 0.1945.

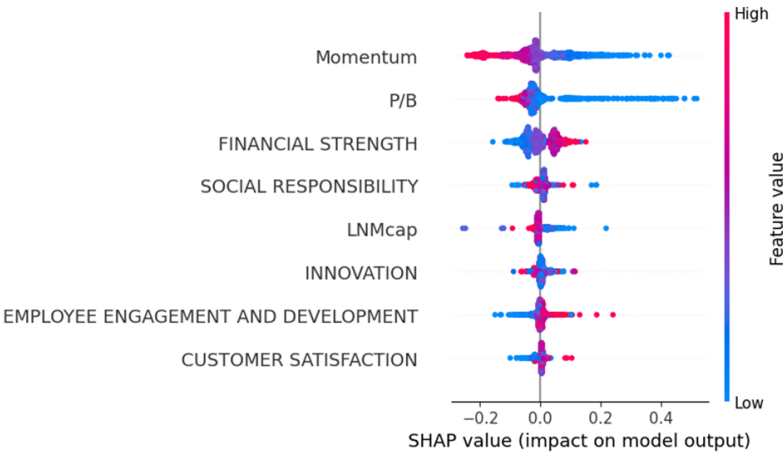


Figure 1. Shapley values

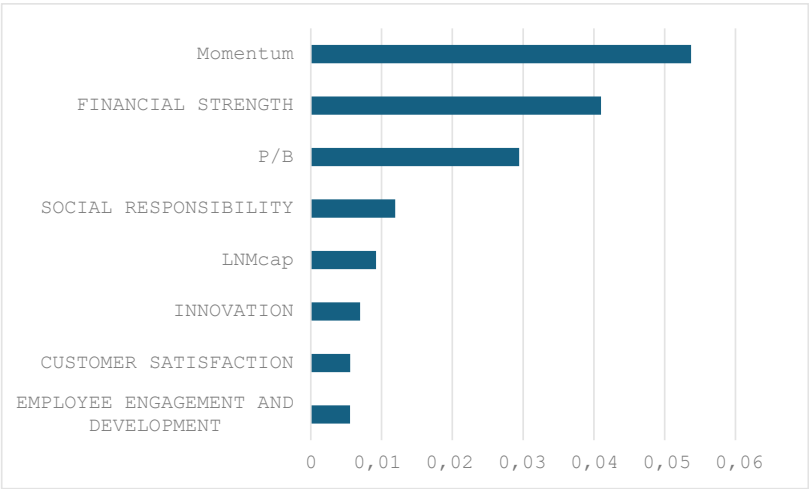


Figure 2. Median value of the absolute Shapley values

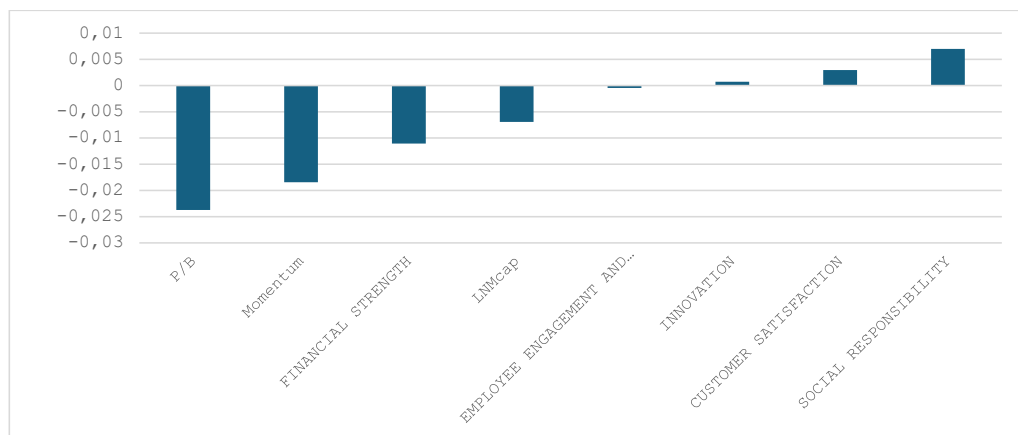


Figure 3. Median Values of Shapley Values

Figure 3 presents the median Shapley values. This allows us to understand the direction of influence. For instance, Momentum and P/B negatively impact returns. Regarding Momentum, this aligns with the conclusions drawn from panel regression, where negative influence was identified for 5 sectors and only positive for one. Conversely, the significant negative impact of *P/B* is intriguing, as panel regression indicates a positive influence in three sectors and negative in only one. Nonetheless, such an influence aligns with the findings of Fama & French [54].

Financial Strength negatively affects returns. However, as observed from Figure 1, there exists a significant group of observations for which the impact is clearly positive, consistent with the conclusions drawn from panel regression about the ambiguous influence of this indicator.

Social Responsibility positively impacts returns, which is fully consistent with the conclusions drawn from panel regression. Thus, for the entire sample, only hypothesis 4 was confirmed using machine learning. This aligns with the findings of earlier studies, such as those by Dorfleitner et al. [43] and Shanaev & Ghimire [40].

5. Discussion

The results of our study confirm that intangible assets, as measured by the

Drucker Institute indices, have a significant impact on the stock returns of U.S. companies. The hypotheses suggesting that intangible assets positively affect stock returns were partially confirmed.

The only hypothesis that was unequivocally confirmed by both machine learning and panel regression is Hypothesis 4, which states that social responsibility positively influences stock returns. This effect can be explained by the fact that companies with high levels of social responsibility more frequently receive unexpected additional cash flows, as described by Dorfleitner et al. [43], and perform more sustainably during crises, as indicated by Liu et al. [41].

The remaining hypotheses were confirmed only by panel regression for certain sectors. For example, Customer Satisfaction had a mixed effect, being positive for some sectors and negative for others. In contrast, the innovation index had a positive effect only in the technology sector. This can be attributed to the fact that companies in this sector rely more on innovative products and processes to maintain their competitiveness and growth. Innovation is one of the key drivers of development in high-tech industries. R&D activities help improve the productivity of high-tech companies, according to Ortega-Argilés et al. [36].

The Employee Engagement and Development index had a negative impact only for companies in the Energy sector. It is possible that companies in this sector are more prone to the effect described by Ben-Nasr & Ghouma [32], where managers may offer excessively generous benefits to employees to distract them from important issues. This behavior can lead to the accumulation of negative news until a tipping point, when bad news is released to the market and causes stock prices to crash.

The Financial Strength index had a positive impact on companies in 5 out of 11 sectors but a negative impact on those in the technology sector. This can be attributed to the fact that investors in the technology sector are more focused on future growth prospects rather than current financial performance. Low current financial metrics may be due to the significant investments made by these companies. A similar phenomenon of investors prioritizing future financial outcomes is described by De Wet & Du Toit [47].

This study, while providing substantial insights into the impact of Drucker Institute indices on stock returns, has several limitations.

Firstly, the dataset is limited to companies included in the Drucker Institute indices. Although these companies represent a large portion of the U.S. stock market capitalization, the conclusions drawn may not be applicable to smaller companies.

Secondly, investor behavior varies significantly across different markets, suggesting that these findings may be specific to the U.S. market.

Finally, these conclusions are relevant to recent years but may not necessarily apply to earlier periods. These limitations offer opportunities for further research to broaden the temporal and geographical scope of the analysis.

6. Conclusion

The Drucker Institute offers a remarkably valuable set of indices for evaluating the intangible assets of companies. Researchers can utilize these indices for a broad spectrum of studies, including exploring the relationships between financial and non-financial characteristics of firms. In our research, these indices are employed for the first time to analyze the impact of intangible assets on stock returns, enriching the body of knowledge regarding stock return determinants and highlighting the significance of intangible assets as a key corporate attribute.

Our results demonstrate that the determinants of stock returns differ markedly across various sectors. Consequently, it is crucial for both investors and academic researchers to consider sector-specific nuances in their analyses to make more substantiated conclusions and develop effective investment strategies.

We found that the innovation index positively influences stock returns only in the technology sector. This underscores the necessity for management in this sector to allocate resources to research and development (R&D) initiatives and integrate innovations into their business processes, thereby driving high returns for investors.

Financial Strength and Customer Satisfaction exhibit significant but differing effects across various sectors. This emphasizes the need for investors to handle these indicators with care and to thoroughly examine the unique attributes of each sector.

The Employee Engagement and Development index has a negative impact on stock returns only in the Energy sector. This effect requires further investigation.

Among the non-financial indicators examined, social responsibility stands out as the factor exerting the most widespread and consistently positive influence on stock returns. For academic researchers, this finding highlights the importance

of including this indicator in analytical models as both significant and essential. Practically, this observation suggests that investors can achieve both ethical satisfaction and higher financial returns by prioritizing investments in companies with strong social responsibility records. For corporate managers, it reinforces the value of investing in socially responsible initiatives as a strategic approach to enhance

shareholder value and attract socially conscious investors.

The use of XGBoost combined with Shapley values in our study provides a powerful analytical tool for identifying and understanding the relationships between various indicators. This method offers a valuable alternative to traditional regression analysis and holds great potential for future research.

References

1. Kim, S., Yoon, A. (2023). Analyzing active fund managers' commitment to ESG: Evidence from the United Nations Principles for Responsible Investment. *Management Science*, Vol. 69, No. 2, 741–758. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.4394>
2. Raghunandan, A., Rajgopal, S. (2022). Do ESG funds make stakeholder-friendly investments? *Review of Accounting Studies*, Vol. 27, No. 3, 822–863. <https://doi.org/10.1007/s11142-022-09693-1>
3. Diaye, M.A., Ho, S.H., Oueghlissi, R. (2022). ESG performance and economic growth: A panel co-integration analysis. *Empirica*, Vol. 49, No. 1, 99–122. <https://doi.org/10.1007/s10663-021-09508-7>
4. Flammer, C. (2015). Does corporate social responsibility lead to superior financial performance? A regression discontinuity approach. *Management Science*, Vol. 61, No. 11, 2549–2568. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.2038>
5. McWilliams, A., Siegel, D.S. (2011). Creating and capturing value: Strategic corporate social responsibility, resource-based theory, and sustainable competitive advantage. *Journal of Management*, Vol. 37, Issue 5, 1480–1495. <https://doi.org/10.1177/0149206310385696>
6. He, F., Du, H., Yu, B. (2022). Corporate ESG performance and manager misconduct: Evidence from China. *International Review of Financial Analysis*, Vol. 82, 102201. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102201>
7. Cerqueti, R., Ciciretti, R., Dalò, A., Nicolosi, M. (2021). ESG investing: A chance to reduce systemic risk. *Journal of Financial Stability*, Vol. 54, 100887. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.100887>
8. Goss, A., Roberts, G.S. (2011). The impact of corporate social responsibility on the cost of bank loans. *Journal of Banking & Finance*, Vol. 35, Issue 7, 1794–1810. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2010.12.002>
9. El Ghoul, S., Guedhami, O., Kwok, C.C., Mishra, D.R. (2011). Does corporate social responsibility affect the cost of capital? *Journal of Banking & Finance*, Vol. 35, Issue 9, 2388–2406. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.02.007>
10. Sun, K.A., Kim, D.Y. (2013). Customer satisfaction and firm performance: An application of the American Customer Satisfaction Index (ACSI). *International Journal of Hospitality Management*, Vol. 35, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2013.05.008>
11. Payne, S.C., Webber, S.S. (2006). Effects of Service Provider Attitudes and Employment Status on Citizenship Behaviors and Customers' Attitudes and Loyalty Behavior. *Journal of Applied Psychology*, Vol. 91, Issue 2, 365–378. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.91.2.365>
12. Kumar, V., Pansari, A. (2016). Competitive advantage through engagement. *Journal of Marketing Research*, Vol. 53, Issue 4, 497–514. <https://doi.org/10.1509/jmr.15.0044>
13. Geroski, P., Machin, S., Van Reenen, J. (1993). The profitability of innovating firms. *The Rand Journal of Economics*, Vol. 24, No. 2, 198–211. <https://doi.org/10.2307/2555757>

14. Love, J.H., Roper, S., Du, J. (2009). Innovation, ownership and profitability. *International Journal of Industrial Organization*, Vol. 27, Issue 3, 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2008.11.001>
15. Roberts, P.W. (1999). Product innovation, product–market competition and persistent profitability in the US pharmaceutical industry. *Strategic Management Journal*, Vol. 20, Issue 7, 655–670. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199907\)20:7<655::AID-SMJ44>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199907)20:7<655::AID-SMJ44>3.0.CO;2-P)
16. Berg, F., Koelbel, J.F., Rigobon, R. (2022). Aggregate confusion: The divergence of ESG ratings. *Review of Finance*, Vol. 26, Issue 6, 1315–1344. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac033>
17. Crosby, L.A., Ghanbarpour, T. (2023). The Drucker intangibles measurement system: An academic perspective. *Journal of Business Research*, Vol. 155, 113452. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113452>
18. Ghanbarpour, T., Crosby, L., Johnson, M.D., Gustafsson, A. (2024). The Influence of Corporate Social Responsibility on Stakeholders in Different Business Contexts. *Journal of Service Research*, Vol. 27, Issue 1, 141–155. <https://doi.org/10.1177/10946705231207992>
19. Ratigan, D., Zaleski, P.A. (2024). The Drucker indexes and profitability: a first look. *Business Economics*, Vol. 59, 78–85. <https://doi.org/10.1057/s11369-023-00347-x>
20. Truong, C., Nguyen, T.H., Huynh, T. (2021). Customer satisfaction and the cost of capital. *Review of Accounting Studies*, Vol. 26, 293–342. <https://doi.org/10.1007/s1142-020-09555-8>
21. Luo, X., Homburg, C., Wieseke, J. (2010). Customer satisfaction, analyst stock recommendations, and firm value. *Journal of Marketing Research*, Vol. 47, Issue 6, 1041–1058. <https://doi.org/10.1509/jmkr.47.6.1041>
22. Fornell, C., Morgeson III, F.V., Hult, G.T.M. (2016). Stock returns on customer satisfaction do beat the market: Gauging the effect of a marketing intangible. *Journal of Marketing*, Vol. 80, Issue 5, 92–107. <https://doi.org/10.1509/jm.15.0229>
23. Malshe, A., Colicev, A., Mittal, V. (2020). How Main Street Drives Wall Street: Customer (Dis)satisfaction, Short Sellers, and Abnormal Returns. *Journal of Marketing Research*, Vol. 57, Issue 6, 1055–1075. <https://doi.org/10.1177/0022243720954373>
24. Wei, A.P., Peng, C.L., Huang, H.C., Yeh, S.P. (2020). Effects of corporate social responsibility on firm performance: does customer satisfaction matter? *Sustainability*, Vol. 12, Issue 18, 7545. <https://doi.org/10.3390/su12187545>
25. Peng, C.L., Lai, K.L., Chen, M.L., Wei, A.P. (2015). Investor sentiment, customer satisfaction, and stock returns. *European Journal of Marketing*, Vol. 49, No. 5/6, 827–850. <https://doi.org/10.1108/EJM-01-2014-0026>
26. Ittner, C., Larcker, D., Taylor, D. (2009). Commentary: The Stock Market's Pricing of Customer Satisfaction. *Marketing Science*, Vol. 28, No. 5, 826–835. <https://doi.org/10.1287/mksc.1090.0526>
27. Jacobson, R., Mizik, N. (2009). The financial markets and customer satisfaction: Reexamining possible financial market mispricing of customer satisfaction. *Marketing Science*, Vol. 28, No. 5, 810–819. <https://doi.org/10.1287/mksc.1090.0528>
28. Turner, P. (2020). Why is employee engagement important? In: *Employee Engagement in Contemporary Organizations. Maintaining High Productivity and Sustained Competitiveness*. Palgrave Macmillan Cham, 57–84. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-36387-1>
29. Jacobs, R., Washington, C. (2003). Employee development and organizational performance: a review of literature and directions for future research. *Human Resource Development International*, Vol. 6, Issue 3, 343–354. <https://doi.org/10.1080/13678860110096211>
30. Chi, C.G., Gursoy, D. (2009). Employee satisfaction, customer satisfaction, and financial performance: An empirical examination. *International Journal of Hospitality Management*, Vol. 28, Issue 2, 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2008.08.003>
31. Boustanifar, H., Kang, Y.D. (2022). Employee Satisfaction and Long-Run Stock Returns, 1984–2020. *Financial Analysts Journal*, Vol. 78, Issue 3, 129–151. <https://doi.org/10.1080/0015198X.2022.2074241>

32. Ben-Nasr, H., Ghouma, H. (2018). Employee welfare and stock price crash risk. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 48, 700–725. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2017.12.007>
33. Bigliardi, B., Ferraro, G., Filippelli, S., Galati, F. (2020). The influence of open innovation on firm performance. *International Journal of Engineering Business Management*, Vol. 12, 1847979020969545. <https://doi.org/10.1177/1847979020969545>
34. Singhal, C., Mahto, R.V., Kraus, S. (2020). Technological innovation, firm performance, and institutional context: a meta-analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 69, Issue 6, 2976–2986. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3021378>
35. Jia, N. (2018). Corporate innovation strategy and stock price crash risk. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 53, 155–173. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2018.10.006>
36. Ortega-Argilés, R., Piva, M., Vivarelli, M. (2015). The productivity impact of R&D investment: are high-tech sectors still ahead? *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 24, Issue 3, 204–222. <https://doi.org/10.1080/10438599.2014.918440>
37. Coad, A., Rao, R. (2008). Innovation and firm growth in high-tech sectors: A quantile regression approach. *Research Policy*, Vol. 37, Issue 4, 633–648. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.003>
38. Dranev, Y., Frolova, K., Ochirova, E. (2019). The impact of fintech M&A on stock returns. *Research in International Business and Finance*, Vol. 48, 353–364. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.01.012>
39. Apergis, N., Poufinas, T., Antonopoulos, A. (2022). ESG scores and cost of debt. *Energy Economics*, Vol. 112, 106186. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106186>
40. Shanaev, S., Ghimire, B. (2022). When ESG meets AAA: The effect of ESG rating changes on stock returns. *Finance Research Letters*, Vol. 46, 102302. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102302>
41. Liu, L., Nemoto, N., Lu, C. (2023). The effect of ESG performance on the stock market during the COVID-19 pandemic — Evidence from Japan. *Economic Analysis and Policy*, Vol. 79, 702–712. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.06.038>
42. Feng, G.F., Long, H., Wang, H.J., Chang, C.P. (2022). Environmental, social and governance, corporate social responsibility, and stock returns: What are the short- and long-run relationships? *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, Vol. 29, Issue 5, 1884–1895. <https://doi.org/10.1002/csr.2334>
43. Dorfleitner, G., Utz, S., Wimmer, M. (2018). Patience pays off—corporate social responsibility and long-term stock returns. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, Vol. 8, Issue 2, 132–157. <https://doi.org/10.1080/20430795.2017.1403272>
44. Damodaran, A. (2007). *Return on Capital (ROC), Return on Invested Capital (ROIC) and Return on Equity (ROE): Measurement and Implications*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1105499>
45. Rheyndali, P.K., Endri, E., Minanari, M., Ferranti, P.A., Karyatun, S. (2023). Energy price and stock return: evidence of energy sector companies in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, Vol. 13, No. 5, 31–36. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14544>
46. Jakub, S., Viera, B., Eva, K. (2015). Economic value added as a measurement tool of financial performance. *Procedia Economics and Finance*, Vol. 26, 484–489. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00877-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00877-1)
47. De Wet, J.H.V.H., Du Toit, E. (2007). Return on equity: A popular, but flawed measure of corporate financial performance. *South African Journal of Business Management*, Vol. 38, No. 1, 59–69. <https://doi.org/10.4102/sajbm.v38i1.578>
48. Gu, S., Kelly, B., Xiu, D. (2020). Empirical asset pricing via machine learning. *The Review of Financial Studies*, Vol. 33, Issue 5, 2223–2273. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa009>
49. Teplova, T., Sokolova, T., Kissa, D. (2023). Revealing stock liquidity determinants by means of explainable AI: The role of ESG before and during the COVID-19 pandemic. *Resources Policy*, Vol. 86, 104253. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104253>

50. Berger, T. (2023). Explainable artificial intelligence and economic panel data: A study on volatility spillover along the supply chains. *Finance Research Letters*, Vol. 54, 103757. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103757>
51. Chen, T., Guestrin, C. (2016). Xgboost: A scalable tree boosting system. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. <https://doi.org/10.1145/2939672.293978>
52. Lundberg, S.M., Lee, S.I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 30, 4765–4774. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.07874>
53. Van Dijk, M.A. (2011). Is size dead? A review of the size effect in equity returns. *Journal of Banking & Finance*, Vol. 35, Issue 12, 3263–3274. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.05.009>
54. Fama, E.F., French, K.R. (2006). Profitability, investment and average returns. *Journal of Financial Economics*, Vol. 82, Issue 3, 491–518. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2005.09.009>

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Adil Haniev

Post-Graduate Student, Basic Department of Financial Markets Infrastructure, Faculty of Economic Sciences, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia (119049, Moscow, Shabolovka street, 26, Building 1); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6028-4573> e-mail: ahaniev@hse.ru

FOR CITATION

Haniev, A. (2024). Intangible Assets and US Stock Returns: An analysis using the Index Method, Panel Regression, and Machine Learning. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 833–854. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.033>

ARTICLE INFO

Received June 24, 2024; Revised July 29, 2024; Accepted August 5, 2024.

Нематериальные активы и доходность акций США: анализ с использованием индексного метода, панельной регрессии и машинного обучения

А. Ханиев  

Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»,

г. Москва, Россия

 ahaniev@hse.ru

Аннотация. В данном исследовании изучается влияние нематериальных активов на доходность акций США с использованием индексов Института Друкера, которые оценивают компании на основе удовлетворенности клиентов, вовлеченности и развития сотрудников, инноваций, социальной ответственности и финансовой устойчивости. Актуальность этого исследования заключается в растущей важности учета нефинансовых показателей в принятии инвестиционных решений. Цель исследования в том, чтобы определить, как данные индексы влияют на доходность акций в разных секторах. Гипотезы утверждают, что каждый индекс влияет положительно. В исследовании используются как панельная регрессия с фиксированными эффектами, так и методы машинного обучения с использованием XGBoost со значениями Шепли для анализа данных компаний США за период с 30 июня 2016 г. по 30 июня 2023 г. Результаты анализа указывают на то, что социальная ответственность оказывает широкое положительное влияние на доходность акций в разных секторах. Инновации существенно влияют на доходность только в технологическом секторе. Удовлетворенность клиентов и финансовая устойчивость оказывают различные эффекты в зависимости от сектора, в то время как вовлеченность и развитие сотрудников показали только отрицательное влияние в энергетическом секторе. Значимость этого исследования заключается в его вкладе в понимание роли нематериальных активов в формировании результативности акций компаний. Мы показываем, что инвесторы могут достичь как этического удовлетворения, так и более высоких финансовых доходов, приоритезируя инвестиции в компании с сильными показателями социальной ответственности. Помимо этого, обращаем внимание инвесторов и исследователей на важность учета секторальной принадлежности компаний при анализе. Использование передовых аналитических инструментов, таких как XGBoost со значениями Шепли, подчеркивает потенциал машинного обучения для выяснения сложных взаимосвязей в финансовых данных. Этот подход показывает себя как крайне перспективный для будущих исследований.

Ключевые слова: индексы Drucker Institute; доходность акций; ESG; корпоративная социальная ответственность; машинное обучение.

Список использованных источников

1. Kim S., Yoon A. Analyzing active fund managers' commitment to ESG: Evidence from the United Nations Principles for Responsible Investment // Management Science. 2023. Vol. 69, No. 2. Pp. 741–758. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.4394>
2. Raghunandan A., Rajgopal S. Do ESG funds make stakeholder-friendly investments? // Review of Accounting Studies. 2022. Vol. 27, No. 3. Pp. 822–863. <https://doi.org/10.1007/s11142-022-09693-1>

3. Diaye M. A., Ho S. H., Oueghlissi R. ESG performance and economic growth: A panel co-integration analysis // *Empirica*. 2022. Vol. 49, No. 1. Pp. 99–122. <https://doi.org/10.1007/s10663-021-09508-7>
4. Flammer C. Does corporate social responsibility lead to superior financial performance? A regression discontinuity approach // *Management Science*. 2015. Vol. 61, No. 11. Pp. 2549–2568. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.2038>
5. McWilliams A., Siegel D. S. Creating and capturing value: Strategic corporate social responsibility, resource-based theory, and sustainable competitive advantage // *Journal of Management*. 2011. Vol. 37, Issue 5. Pp. 1480–1495. <https://doi.org/10.1177/0149206310385696>
6. He F., Du H., Yu B. Corporate ESG performance and manager misconduct: Evidence from China // *International Review of Financial Analysis*. 2022. Vol. 82. 102201. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102201>
7. Cerqueti R., Ciciretti R., Dalò A., Nicolosi M. ESG investing: A chance to reduce systemic risk // *Journal of Financial Stability*. 2021. Vol. 54. 100887. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2021.100887>
8. Goss A., Roberts G. S. The impact of corporate social responsibility on the cost of bank loans // *Journal of Banking & Finance*. 2011. Vol. 35, Issue 7. Pp. 1794–1810. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2010.12.002>
9. El Ghouli S., Guedhami O., Kwok C. C., Mishra D. R. Does corporate social responsibility affect the cost of capital? // *Journal of Banking & Finance*. 2011. Vol. 35, Issue 9. Pp. 2388–2406. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.02.007>
10. Sun K. A., Kim D. Y. Customer satisfaction and firm performance: An application of the American Customer Satisfaction Index (ACSI) // *International Journal of Hospitality Management*. 2013. Vol. 35. Pp. 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2013.05.008>
11. Payne S. C., Webber S. S. Effects of Service Provider Attitudes and Employment Status on Citizenship Behaviors and Customers' Attitudes and Loyalty Behavior // *Journal of Applied Psychology*. 2006. Vol. 91, Issue 2. Pp. 365–378. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.91.2.365>
12. Kumar V., Pansari A. Competitive advantage through engagement // *Journal of Marketing Research*. 2016. Vol. 53, Issue 4. Pp. 497–514. <https://doi.org/10.1509/jmr.15.0044>
13. Geroski P., Machin S., Van Reenen J. The profitability of innovating firms // *The Rand Journal of Economics*. 1993. Vol. 24, No. 2. Pp. 198–211. <https://doi.org/10.2307/2555757>
14. Love J. H., Roper S., Du J. Innovation, ownership and profitability // *International Journal of Industrial Organization*. 2009. Vol. 27, Issue 3. Pp. 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2008.11.001>
15. Roberts P. W. Product innovation, product–market competition and persistent profitability in the US pharmaceutical industry // *Strategic Management Journal*. 1999. Vol. 20, Issue 7. Pp. 655–670. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199907\)20:7<655::AID-SMJ44>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199907)20:7<655::AID-SMJ44>3.0.CO;2-P)
16. Berg F., Koelbel J. F., Rigobon R. Aggregate confusion: The divergence of ESG ratings // *Review of Finance*. 2022. Vol. 26, Issue 6. Pp. 1315–1344. <https://doi.org/10.1093/rof/rfac033>
17. Crosby L. A., Ghanbarpour T. The Drucker intangibles measurement system: An academic perspective // *Journal of Business Research*. 2023. Vol. 155. 113452. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113452>
18. Ghanbarpour T., Crosby L., Johnson M. D., Gustafsson A. The Influence of Corporate Social Responsibility on Stakeholders in Different Business Contexts // *Journal of Service Research*. 2024. Vol. 27, Issue 1. Pp. 141–155. <https://doi.org/10.1177/10946705231207992>
19. Ratigan D., Zaleski P. A. The Drucker indexes and profitability: a first look // *Business Economics*. 2024. Vol. 59. Pp. 78–85. <https://doi.org/10.1057/s11369-023-00347-x>
20. Truong C., Nguyen T. H., Huynh T. Customer satisfaction and the cost of capital // *Review of Accounting Studies*. 2021. Vol. 26. Pp. 293–342. <https://doi.org/10.1007/s1142-020-09555-8>
21. Luo X., Homburg C., Wieseke J. Customer satisfaction, analyst stock recommendations, and firm value // *Journal of Marketing Research*. 2010. Vol. 47, Issue 6. Pp. 1041–1058. <https://doi.org/10.1509/jmkr.47.6.1041>

22. Fornell C., Morgeson III F.V., Hult G. T.M. Stock returns on customer satisfaction do beat the market: Gauging the effect of a marketing intangible // *Journal of Marketing*. 2016. Vol. 80, Issue 5. Pp. 92–107. <https://doi.org/10.1509/jm.15.0229>
23. Malshe A., Colicev A., Mittal V. How Main Street Drives Wall Street: Customer (Dis)satisfaction, Short Sellers, and Abnormal Returns // *Journal of Marketing Research*. 2020. Vol. 57, Issue 6. Pp. 1055–1075. <https://doi.org/10.1177/0022243720954373>
24. Wei A. P., Peng C. L., Huang H. C., Yeh S. P. Effects of corporate social responsibility on firm performance: does customer satisfaction matter? // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Issue 18. 7545. <https://doi.org/10.3390/su12187545>
25. Peng C. L., Lai K. L., Chen M. L., Wei A. P. Investor sentiment, customer satisfaction, and stock returns // *European Journal of Marketing*. 2015. Vol. 49, No. 5/6. Pp. 827–850. <https://doi.org/10.1108/EJM-01-2014-0026>
26. Ittner C., Larcker D., Taylor D. Commentary: The Stock Market's Pricing of Customer Satisfaction // *Marketing Science*. 2009. Vol. 28, No. 5. Pp. 826–835. <https://doi.org/10.1287/mksc.1090.0526>
27. Jacobson R., Mizik N. The financial markets and customer satisfaction: Reexamining possible financial market mispricing of customer satisfaction // *Marketing Science*. 2009. Vol. 28, No. 5. Pp. 810–819. <https://doi.org/10.1287/mksc.1090.0528>
28. Turner P. Why is employee engagement important? // *Employee Engagement in Contemporary Organizations. Maintaining High Productivity and Sustained Competitiveness*. Palgrave Macmillan Cham, 2020. Pp. 57–84. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-36387-1>
29. Jacobs R., Washington C. Employee development and organizational performance: a review of literature and directions for future research // *Human Resource Development International*. 2003. Vol. 6, Issue 3. Pp. 343–354. <https://doi.org/10.1080/13678860110096211>
30. Chi C. G., Gursoy D. Employee satisfaction, customer satisfaction, and financial performance: An empirical examination // *International Journal of Hospitality Management*. 2009. Vol. 28, Issue 2. Pp. 245–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2008.08.003>
31. Boustanifar H., Kang Y. D. Employee Satisfaction and Long-Run Stock Returns, 1984–2020 // *Financial Analysts Journal*. 2022. Vol. 78, Issue 3. Pp. 129–151. <https://doi.org/10.1080/0015198X.2022.2074241>
32. Ben-Nasr H., Ghouma H. Employee welfare and stock price crash risk // *Journal of Corporate Finance*. 2018. Vol. 48. Pp. 700–725. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2017.12.007>
33. Bigliardi B., Ferraro G., Filippelli S., Galati F. The influence of open innovation on firm performance // *International Journal of Engineering Business Management*. 2020. Vol. 12. 1847979020969545. <https://doi.org/10.1177/1847979020969545>
34. Singhal C., Mahto R. V., Kraus S. Technological innovation, firm performance, and institutional context: a meta-analysis // *IEEE Transactions on Engineering Management*. 2020. Vol. 69, Issue 6. Pp. 2976–2986. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3021378>
35. Jia N. Corporate innovation strategy and stock price crash risk // *Journal of Corporate Finance*. 2018. Vol. 53. Pp. 155–173. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2018.10.006>
36. Ortega-Argilés R., Piva M., Vivarelli M. The productivity impact of R&D investment: are high-tech sectors still ahead? // *Economics of Innovation and New Technology*. 2015. Vol. 24, Issue 3. Pp. 204–222. <https://doi.org/10.1080/10438599.2014.918440>
37. Coad A., Rao R. Innovation and firm growth in high-tech sectors: A quantile regression approach // *Research Policy*. 2008. Vol. 37, Issue 4. Pp. 633–648. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.003>
38. Dranev Y., Frolova K., Ochirova E. The impact of fintech M&A on stock returns // *Research in International Business and Finance*. 2019. Vol. 48. Pp. 353–364. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.01.012>
39. Apergis N., Poufinas T., Antonopoulos A. ESG scores and cost of debt // *Energy Economics*. 2022. Vol. 112. 106186. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106186>

40. Shanaev S., Ghimire B. When ESG meets AAA: The effect of ESG rating changes on stock returns // *Finance Research Letters*. 2022. Vol. 46. 102302. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2021.102302>
41. Liu L., Nemoto N., Lu C. The effect of ESG performance on the stock market during the COVID-19 pandemic — Evidence from Japan // *Economic Analysis and Policy*. 2023. Vol. 79. Pp. 702–712. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.06.038>
42. Feng G. F., Long H., Wang H. J., Chang C. P. Environmental, social and governance, corporate social responsibility, and stock returns: What are the short- and long-Run relationships? // *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2022. Vol. 29, Issue 5. Pp. 1884–1895. <https://doi.org/10.1002/csr.2334>
43. Dorfleitner G., Utz S., Wimmer M. Patience pays off—corporate social responsibility and long-term stock returns // *Journal of Sustainable Finance & Investment*. 2018. Vol. 8, Issue 2. Pp. 132–157. <https://doi.org/10.1080/20430795.2017.1403272>
44. Damodaran A. Return on Capital (ROC), Return on Invested Capital (ROIC) and Return on Equity (ROE): Measurement and Implications. 2007. 67 p. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1105499>
45. Rheynaldi P. K., Endri E., Minanari M., Ferranti P. A., Karyatun S. Energy price and stock return: evidence of energy sector companies in Indonesia // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2023. Vol. 13, No. 5. Pp. 31–36. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14544>
46. Jakub S., Viera B., Eva K. Economic value added as a measurement tool of financial performance // *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 26. Pp. 484–489. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00877-1](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00877-1)
47. De Wet J. H.V.H., Du Toit E. Return on equity: A popular, but flawed measure of corporate financial performance // *South African Journal of Business Management*. 2007. Vol. 38, No. 1. Pp. 59–69. <https://doi.org/10.4102/sajbm.v38i1.578>
48. Gu S., Kelly B., Xiu D. Empirical asset pricing via machine learning // *The Review of Financial Studies*. 2020. Vol. 33, Issue 5. Pp. 2223–2273. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa009>
49. Teplova T., Sokolova T., Kissa D. Revealing stock liquidity determinants by means of explainable AI: The role of ESG before and during the COVID-19 pandemic // *Resources Policy*. 2023. Vol. 86. 104253. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104253>
50. Berger T. Explainable artificial intelligence and economic panel data: A study on volatility spillover along the supply chains // *Finance Research Letters*. 2023. Vol. 54. 103757. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2023.103757>
51. Chen T., Guestrin C. Xgboost: A scalable tree boosting system // *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2016. <https://doi.org/10.1145/2939672.293978>
52. Lundberg S. M., Lee S. I. A unified approach to interpreting model predictions // *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. Vol. 30. Pp. 4765–4774. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.07874>
53. Van Dijk M. A. Is size dead? A review of the size effect in equity returns // *Journal of Banking & Finance*. 2011. Vol. 35, Issue 12. Pp. 3263–3274. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2011.05.009>
54. Fama E. F., French K. R. Profitability, investment and average returns // *Journal of Financial Economics*. 2006. Vol. 82, Issue 3. Pp. 491–518. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2005.09.009>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ханиев Адиль

Аспирант базовой кафедры инфраструктуры финансовых рынков факультета экономических наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия (119049, г. Москва, ул. Шаболовка, 26, строение 1); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6028-4573> e-mail: ahaniev@hse.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Ханиев А. Нематериальные активы и доходность акций США: анализ с использованием индексного метода, панельной регрессии и машинного обучения // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 833–854. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.033>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 24 июня 2024 г.; дата поступления после рецензирования 29 июля 2024 г.; дата принятия к печати 5 августа 2024 г.



Influence of Top Management Characteristics on the Innovative Development of the World's Top Companies in the Pharmaceutical Industry

Nikita A. Tolstov¹  , Andrey A. Knyazev² 

¹ Moscow University of Finance and Law,
Moscow, Russia

² SYNERGY University,
Moscow, Russia

 nickita.tolstov@yandex.ru

Abstract. Changes in the pharmaceutical industry lead to the need for detailed consideration of the issues of stimulating innovation, where top management largely determines the company's strategy of innovative development. Thus, it is important to study which characteristics of top management's human capital influence the innovation activity of pharmaceutical companies in creating new products. This article tests a hypothesis that the success of a pharmaceutical company's drug portfolio depends on ideas arising from basic research and large-scale commercialization that recoup high development costs, which in turn are influenced by the personal characteristics of top managers. The study is an econometric analysis of the impact of human capital elements, represented by top management characteristics, on the innovation activity of major pharmaceutical companies, where two models on patents and R&D were tested using panel regression. The models were tested using data from the world's top 100 pharmaceutical companies from 2010 to 2022. The results made it possible to compile an average portrait of the top manager of the largest pharmaceutical companies. The analysis has shown that professional experience, age, as well as a job-specific degree can have a significant impact on innovation activity. The study contributes to the literature as it makes it possible to predict the innovation strategy of pharmaceutical companies through an average portrait of the top manager. The proposed model will reduce the number of failures of innovative directions, optimize the time period of commercialization of new drug development projects and can be used in other research studies.

Key words: innovative activity; R&D; patent; top management; human capital.

JEL I11, J24, O3, O15

1. Introduction

Human capital and innovation activity are closely related. Human capital represents the knowledge, skills, and experience that people have. Innovation activity, in turn, is the creation of new products, processes and services that lead to improvements in people's lives. People with high levels of human capital, such as education, work experience and creative thinking abilities, are often the drivers of innovation ac-

tivity. They can come up with new ideas and approaches and develop and implement new technologies and processes.

In addition, companies that invest in the human capital development of their employees often have greater innovation activity. Such companies can provide their employees with training and various development programs that allow them to improve their skills and knowledge and stimulate their creativity.

The innovation activity of a company changes under the influence of managerial decisions of top management. Innovation activity of companies operating in the same industry will differ significantly under the condition of different management teams. In order to adapt to the competitive environment and improve operational performance, companies must consider the impact of top management's human capital on the company's performance. Innovation activity is a key role for pharmaceutical companies. They have to constantly look for new treatments, develop new drugs and technologies to improve people's health and quality of life. Innovation activity also helps pharmaceutical companies stay competitive in the market and retain their position. Without innovation, pharmaceutical companies will not be able to grow and continue in the future.

Companies also need highly skilled people who can develop new drugs and technologies and conduct research and clinical trials. In addition, pharmaceutical companies must continually train their employees and keep up with industry developments. The more skilled the specialists in a company, the more successful its innovation and competitiveness in the market will be.

We hypothesize that in the pharmaceutical industry, innovation activity, which is the most important factor for survival in a competitive environment, also depends on the characteristics of top management's human capital, namely age, education and work experience.

The main purpose of this paper is to examine, how investors, managers, and analysts can use the model for academic and practical purposes to predict industry trends and the ability of pharmaceutical companies to create new products.

The paper confirms the fact that large-scale commercial success is necessary due to the development costs and high failure rate of many innovation areas.

A more *general question* that this research aims to answer is whether the innovative activity of companies will increase due to quality selection of top managers taking into account specifics of the industry?

This research fills a scientific gap regarding the study of the Issues of efficiency of R&D expenditure while increasing productivity.

Education in the company's core industry contributes to a better understanding of strategy and innovation. Nevertheless, there are studies that do not support a positive effect of management education and educational attainment in general on innovative activity explored by Barker & Mueller [1].

The late age of top management may have a negative impact on the indicators of innovation activity. This is justified by the fact that older top managers tend to make less risky decisions in anticipation of retirement, while younger top managers have a better understanding of innovation and are more receptive to change.

Work experience can also have a positive effect on innovation activity rates. The basic premise of this is that managers are imbued with the experience they gained during their earlier involvement in a particular field, so they perceive and interpret any situation based on their early experience. In this context, experience in managerial positions can enable top managers to make important managerial decisions necessary to overcome the uncertainty associated with innovation strategy.

Hypotheses under consideration:

H1a: The share of top managers with management and finance education has a positive effect on the innovative activity of pharmaceutical companies.

H1b: The share of top managers with management and finance education has a positive effect on the number of patents obtained by pharmaceutical companies.

H2a: The share of top managers with medical education has a positive effect on the innovative activity of pharmaceutical companies.

H2b: The share of top managers with medical education has a positive effect on the number of patents received by pharmaceutical companies.

H3a: Late age of top management negatively affects innovative activity of pharmaceutical companies.

H3b: Late age of top management is negatively related to the number of patents obtained by pharmaceutical companies.

H4a: Average managerial experience of top management positively influences innovative activity of pharmaceutical companies.

H4b: Average managerial experience of top management positively influences the number of patents received by pharmaceutical companies.

The structure of the study is an analytical review of research followed by identification of scientific gaps and search for practically proven claims in R&D and pharmacology. Further on the basis of the hypotheses put forward about the influence of human capital of top management on the innovation activity of pharmaceutical companies two models were tested. The models are panel regressions that were tested on patents and R&D. The models were tested using data from 100 world's top pharmaceutical companies from 2010 to 2022. The results and discussion of the research confirm that experience in managerial positions can enable top managers to make important management decisions necessary to overcome the uncertainty associated with innovation strategy.

rience in managerial positions can enable top managers to make important management decisions necessary to overcome the uncertainty associated with innovation strategy.

2. Related literature

The literature on the topic can be split into three directions. The first direction is devoted to the specifics of the pharmaceutical industry. The present section of the research will help to determine the main mechanisms for protection of inventions in the pharmaceutical industry, as well as to identify the main directions of development and problems of the industry. The second section describes how the human capital of management teams affects innovation activity to define the variables of the study. The third section is a description of innovation activity that allows us to determine basic methodology.

2.1. Pharmaceutical industry features and procedure for patenting medicines

Nowadays, big pharmaceutical companies are increasingly facing the problem of falling R&D productivity. According to some studies, only one out of 10,000 discovered drug components is currently used as the active ingredient in a drug, that Miller & Lehoux [2] have written about in their studies. The detailed process of the drug component approval funnel in the drug manufacturing process is shown in Figure 1.

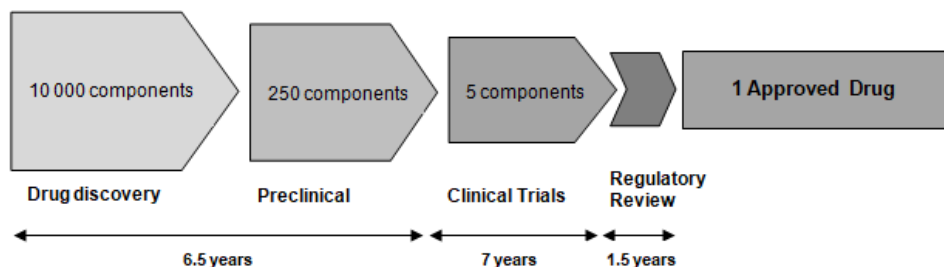


Figure 1. Open drug component funnel

With falling R&D productivity, increased regulatory scrutiny, and patent expiry undermining a significant portion of revenues, large pharmaceutical companies have realized the need to look outside their walls for innovation.

Jia & Tian [3] have stated the fact, that many companies have redirected R&D spending to external companies to license technology platforms or drug ideas. However, in some other knowledge-intensive industries such as biotechnology even the slightest change in the production environment has a large impact on product properties, which is a product defense against competition.

In this context, Ribeiro & Shapira [4] emphasize that in traditional pharmacology, intellectual rights are mainly protected through patents.

Kaitin [5] noted that the development of an active ingredient in pharmacology, takes typically 15 years. The process involves six major steps: (1) researching ideas and finding substance; (2) early preclinical studies, during which the safety of the planned clinical trial is confirmed; (3) early development stage, during which the technology for the development of the active pharmacologic element is established; (4) late phase development, during which methods for controlling the active pharmacologic element are established; (5) three phases of clinical trials, during which the mechanism of action of the drug, the efficacy of the drug and the evaluation of the risk-benefit ratio are tested; (6) a fourth phase of clinical trials, during which side effects are studied.

It should be noted that in the process of drug development, large pharmaceutical companies work closely with scientific institutes, biotech companies and smaller industry representatives, as well as contract research organizations. The latter conduct clinical trials that complete the product development process.

Since there is currently no single international system for granting patents, patents are granted by patent offices in specific territories. Thus, patent offices are divided into regional offices, which grant patents in several countries, and national offices, which grant patents in one country. This gives rise to the phenomenon of a “patent family” — a set of interrelated patent applications filed in several offices to protect the same or similar invention by a single inventor and linked by a common priority (or priorities).

Feldman & Notes [6] note that priority is the right to file applications for the same invention in other offices within 12 months of the filing of the first application and to specify the filing date of the first application. And the patenting of a medicinal product usually occurs at the early preclinical research stage.

The procedure of patenting an invention can be categorized into three steps: (1) Filing of the patent application; (2) Examination (includes first the documentary examination and then the longest part, the technological examination); (3) Obtaining a patent.

Most of the time in the patenting procedure is taken up by the technological examination. Its average duration in the industry is 24 months (Figure 2).



Figure 2. Patenting as part of the drug manufacturing process medicines

If we talk about the peculiarities of patenting in the pharmaceutical industry, it is important to note the problem of “evergreen patents” investigated by the Kim et al. [7]. With the help of such patents, pharmaceutical companies retain the exclusive right to produce products. For example, if a company has invented an active ingredient and registered a patent on it, then when the patent expires, the company can file a new patent application with a small modernization of the drug that will not significantly affect its therapeutic properties.

Thus, it is worth emphasizing the fact that relatively few studies are devoted to the impact of human capital characteristics on innovation activity, expressed in the ability to produce new medical products and technologies, which in turn can significantly improve the quality of life of patients by alleviating symptoms of diseases or preventing their development. It is important to note that in the drug development process, large pharmaceutical companies work closely with academic institutions, biotech companies and smaller industry players, as well as contract research organizations. Innovation allows pharmaceutical companies to remain competitive in the market, attract investment and attract talent. Moreover, research on innovation in the pharmaceutical industry has broad positive implications that contribute to the improvement of human health and the development of society as a whole.

The pharmaceutical industry is highly dependent on innovation, where patents are the main mechanism for protecting inventions in the pharmaceutical industry. The patent system in pharmaceutical is characterized by a high proportion of “evergreen patents”, which are major improvements of existing inventions.

2.2. Empirical studies of human capital

According to Mahroum [8] human capital is an intangible asset that is not recog-

nized on a company's balance sheet. It can be categorized as the economic value of employees' experience and skills. Human capital reflects employees' ability to generate knowledge, their individual values and attitudes, experience, and ability to bring innovation to established processes. Although human capital plays an important role in innovation, its complexity and subjectivity may make it less attractive for research compared to other areas of innovation, such as technology or production processes. The impact of investment in human capital can only be seen in the long term, making it difficult to conduct research on short time horizons. Therefore, key human capital indicators such as intellectual ability, creativity and motivation are an integral part of the research question in the pharmacology industry.

Human capital plays a major role in many fundamental works in the fields of management and organization theory. The first works devoted to the study of human capital appeared in the middle of the XX century, directly in the period of active study of management sciences, they investigate the characteristics of the top management team of the organization, which determine the cognitive structure of top management and thus affect organizational outcomes studied by Bandaranaike [9].

Studies of Binkley et al. [10] and Collet et al. [11] state that employee age, work experience revealed in the study of Karnouskos [12], and top management education revealed in the study of Rismawati et al. [13] influence firm performance, particularly innovation performance.

However, over the last decade, these results have not always been unambiguous, and a number of studies have found contradictory results for different companies and industries. For example, most studies confirm the division of human capital into the following types: basic (biophysical capital, professional education, length of

service and work experience, professional competencies, reputational and social capital) and specific (belonging to a team and loyalty to the company). The following division of forms of human capital is also common: knowledge capital, social capital and emotional capital were investigated by Li et al. [14].

Studies of Foucart & Li [15] suggest that firms' investment in R&D and their innovative products have a positive impact on the long-term financial health of the firm. In the pharmaceutical industry, characterized by a high R&D intensity, innovation has a large impact on firm performance as confirmed by research of Asaba & Wada [16].

All the employee characteristics studied can be broadly categorized into three categories:

1. Demographic characteristics such as gender, age, and education by Sena et al. [17]. Ahn et al. [18] and Crossland et al. [19] in addition to organization theory have also investigated the influence of top management characteristics at the interface of corporate finance and pharmacology, but they used average characteristics.

2. Career experience such as tenure revealed in the study of Omerzel & Jurdana [20], management experience revealed in the study of Custodio et al. [21] and industry expertise of top management revealed in the study of Nadkarni et al. [22].

3. Behavioral characteristics, such as risk appetite, intellectual and creative ability, leadership skills, and propensity to implement new ideas that have been explored in their work by Prugsamatz [23].

2.3. Innovative activity and an overview of approaches to its research

Innovations are new ideas, products, services, or processes that change the way people live and make the world a more advanced place. Innovations can be either radical or incremental, but in either case they

represent significant changes to existing methods and approaches. Innovation can have a significant impact on innovation activity. New technologies and processes can stimulate innovation activity because they facilitate the development of new products and services.

In addition, innovation can lead to increased competition, which can encourage firms to create new products and services. However, innovation can also cause some challenges. Some companies may find it difficult to adapt to new technologies and processes, which may lead to a decrease in innovation. In addition, innovation may increase research and development costs, which may not be acceptable to some companies.

In general, innovation is an important factor for stimulating innovation activity. Companies that can successfully adapt to new technologies and processes can gain an advantage in the market and increase their competitiveness.

Luo et al. [24] disclosed different types of innovations, some of the main ones are technological and managerial innovations, those that are directly related to the productivity of processes and are strongly related to the core business of the company. Managerial innovations are innovations that are related to the management and control of the company, administrative processes and human resources. Product and process innovations, which involve the development of new products or services required to meet market needs, and represent new elements, equipment and methods in the company's production process required to create a product or service. Radical and incremental innovations, which are platforms for change in the operations of a single company or an entire industry. These include new technological and business skills, new ways of solving problems.

According to different studies, there are many approaches to investigate the in-

novation capability of a company. For example, Chao & Huang [25], while studying the effect of share repurchase on innovation activity, used the most straightforward way to determine innovation activity. They used a dummy variable that showed whether or not the company invested in R&D in a given period. A probit model was used to estimate such a model.

Innovation intensity can also be calculated by Herrmann et al. [26] using R&D to revenue ratio to investigate the effect of corporate governance on innovation intensity. The same method was used by Lewellyn et al. [27].

Shahzad et al. [28] used a similar model, but as the dependent variable analyzed the R&D to assets. Also, the variable of R&D to assets ratio has been used in the literature to find the intensity of innovation. It has been found in this way by Shaikh & Peters [29].

Studying the effect of ownership structure on innovation by Garcia-Garcia et al. [30] used the ratio of intangible assets to total assets. This method is convenient because very often there are problems in finding R&D expenditures of companies and Intangible assets can usually always be found. Thus, it is possible to avoid a large number of omissions of the dependent variable in the econometric model.

The above-mentioned papers have used variables that can be used to measure companies' efforts to innovate, i.e. innovation intensity. The variables by which the production or efficiency of innovation activity can be measured are considered by Qing et al. [31]. One of the most basic indicators of innovation production is the number of patents filed, for example, this indicator was used by Ramdani et al. [32].

Forti et al. [33] used the number of patents approved. Ma [34] used the number of patent citations and the average number of citations per patent to measure innovation production. These indicators allow us to

study the effectiveness of innovation activity, that is, they show how much other scientists and researchers are interested in the company's scientific developments. The same method was used by Chkir et al. [35].

The results of the analysis of the literature show that relatively few works are devoted to the study of the impact of human capital on the innovation activity of companies' innovation activity of companies. In some of these studies, education in the spheres of management and finance is considered as a catalyst for the economic growth of the company, as confirmed by Chemmanur et al. [36].

Lee et al. [37] note that each of the listed indicators has its own limitations. For example, patents protect inventions rather than innovations, respectively, not all innovations are patented.

Camisón-Zornoza et al. [38] approve that the propensity to patent will differ depending on the strategy and industry of the firm. And such an indicator as R&D intensity measures innovation activity indirectly, as it gives an idea only about the contribution to innovation development and not about the innovativeness of the company.

Barrena-Martínez et al. [39] believe, that it is difficult for small companies to record formal R&D expenditures, as such expenditures may be classified as other expenses.

Despite numerous studies, it remains unclear whether existing methods for measuring innovation are applicable to real companies. Cruz-Cázares et al. [40] argue that the methods used in the literature seem too theoretical and not directly applicable to businesses.

3. Data and Method

To conduct the study, a list of the 100 largest pharmaceutical companies in the world by capitalization for 2023 was generated using Bloomberg's information database. The sample includes only the larg-

est companies because, as a rule, they are the most complete and reliable in reporting financial and non-financial information.

Espacenet Patent Database, a database of the European Patent Office, and Orbis Patent Database were used to collect patent data.

It is also worth noting that the study did not take into account the absolute number of patents, but the number of patents first obtained within the same patent family. Since patents for the same invention may be valid in different countries, the assessment of innovation activity simply through the absolute number of patents does not accurately reflect innovation activity.

The sample of 100 firms is unbalanced, due to the fact that most firms only listed after 2010, and also taking into account the events of the global crises in 2008 and 2020. The sample represents 1118 observations.

The study uses two measures of innovation activity: the natural logarithm of R&D intensity (LNR&D) in the first model, which characterizes innovation input, and the natural logarithm of the number of patents obtained by a company with a lag of two years (LNP) in the second model, which characterizes innovation output. The choice of the length of the time lag of the LNP indicator is justified by the duration of the patenting procedure described in detail in Figure 2. Based on the above, it follows that the article evaluates two indicators: innovation input and innovation output.

The explanatory variables used in the study represent the characteristics of top management human capital: average age of top management (AGE), average experience of top management (in years) in executive-level positions (EXP), share of top managers with education in management and finance (FINEDU), share of top managers with medical education (MEDEDU).

Control variables were also selected to reflect important factors that may have

influenced the innovation activity of pharmaceutical companies. Company size, represented as the natural logarithm of the number of company employees (LNEMP), can have both positive and negative effects on innovation activity. This is because on the one hand, large firms may have more resources to develop sustainable innovation programs, while on the other hand large firm size and the market power it generates may provide less incentive for managers to invest in innovation.

Past financial performance can also have a large impact on innovation activity. The paper uses Return on Assets with a lag of one year (ROA) and the natural logarithm of net income (LNNI) as variables reflecting past period financial performance.

It is known that a high level of debt burden of a company reduces the motivation of management to invest in long-term research and development for the sake of increasing the current cash flow for debt service. The debt-to-assets ratio (LEV) is an indicator reflecting the level of debt load.

Based on the collected panel data, the following trends in the human capital characteristics of top management are clearly visible:

- 1) The age of top managers shows an increasing trend: from 45 years in 2010 to 53.2 years in 2022, with an average of 53 years.
- 2) The share of top managers with financial and medical education is almost unchanged — 50 %.
- 3) The share of top managers with medical education is increasing from 0.5 in 2010 to 0.6 in 2022.
- 4) The average work experience at top management positions ranges from 7.5 to 30 years, with an average of 12 years (Table 1).

Before building regression models, data were analyzed for association between regressors to detect multicollinearity (Table 2 and Table 3).

Table 1. Descriptive statistics of variables

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
LNR&D	1 118	0.97	0.389	0	0.984
LNP	1 118	1.856	0.69	0	4.885
AGE	1 118	53.381	2.141	45.5	60.5
MEDEDU	1 118	0.465	0.242	0.1	1
FINEDU	1 118	0.510	0.312	0	0.8
EXP	1 118	12.349	2.752	7.5	30.3
LNEMP	1 118	1.27	0.788	2.188	3.933
LNNI	1 118	4.189	0.631	0.911	5.333
ROA	1 118	0.207	0.08	−0.081	0.585
LEV	1 118	0.251	0.187	0	2.987

Table 2. Correlation matrix for regression model (1)

Variables	LNR&D	AGE	MEDEDU	FINEDE	EXP	LNEMP	LNNI	ROA	LEV
LNR&D	1.000								
AGE	0.067	1.000							
MEDEDU	0.137	−0.152	1.000						
FINEDU	0.164	0.189	−0.495	1.000					
EXP	0.120	0.289	0.218	0.162	1.000				
LNEMP	−0.065	−0.040	−0.318	−0.160	−0.280	1.000			
LNNI	0.046	0.126	−0.405	0.006	−0.195	0.242	1.000		
ROA	0.124	0.113	−0.112	0.109	0.032	−0.212	0.169	1.000	
LEV	−0.159	−0.031	0.021	−0.071	−0.095	0.141	0.190	−0.088	1.000

Table 3. Correlation matrix for regression model (2)

Variables	LNP	AGE	MEDEDU	FINEDE	EXP	LNEMP	LNNI	ROA	LEV
LNP	1.000								
AGE	0.065	1.000							
MEDEDU	−0.273	0.141	1.000						
FINEDU	−0.179	0.189	−0.505	1.000					
EXP	−0.387	0.344	0.218	0.192	1.000				
LNEMP	0.530	−0.040	−0.318	−0.170	−0.280	1.000			

End of table 3

Variables	LNP	AGE	MEDEDU	FINEDE	EXP	LNEMP	LNNI	ROA	LEV
LNNI	0.435	0.126	−0.405	0.006	−0.195	0.694	1.000		
ROA	−0.112	0.139	−0.012	0.101	0.035	−0.212	0.170	1.000	
LEV	−0.316	−0.003	0.005	−0.007	−0.095	−0.141	0.144	0.078	1.000

There is no significant correlation between the variables (correlation does not exceed 60 %). Therefore, there is no correlation above the threshold value of 60 %, which allows us to reject the problem of multicollinearity between the variables. The results most adequately describe the fixed effects models, which allows us to make the assumption that there is no heteroskedasticity.

4. Econometric Model

The influence of top management characteristics on the innovation activity of pharmaceutical companies is investigated using econometric analysis of panel data in two models (1) и (2).

$$\begin{aligned} LNR \& D_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 AGE_{i,t} + \\ & \beta_2 FINEDU_{i,t} + \beta_3 MEDEDU_{i,t} + \\ & \beta_4 EXP_{i,t} + \beta_5 LNEMP_{i,t} + \\ & \beta_6 LNNI_{i,t} + \beta_7 ROA_{i,t} + \beta_8 LEV_{i,t} + \varepsilon_{i,t}, \end{aligned} \tag{1}$$

where $LNR \& D_{i,t} = LN(R \& D / Revenue)$, $AGE_{i,t}$ — average age of top managers, $FINEDU_{i,t}$ — Share of top managers with Management and Finance education, $MEDEDU_{i,t}$ — Share of top managers with Medical education, $EXP_{i,t}$ — average work experience of top managers, $LNEMP_{i,t} = LN(Staff \ Number)$, $LNNI_{i,t} = LN(Net \ Income)$ with a time lag of 1 year, $ROA_{i,t} = Net \ Income / Total \ Assets$, $LEV_{i,t} = Total \ Debt / Total \ Assets$.

$$\begin{aligned} LNP_i^{t+2} = & \beta_0 + \beta_1 AGE_{i,t} + \\ & + \beta_2 FINEDU_{i,t} + \beta_3 MEDEDU_{i,t} + \\ & \beta_4 EXP_{i,t} + \beta_5 LNEMP_{i,t} + \\ & + \beta_6 LNNI_{i,t} + \beta_7 ROA_{i,t} + \\ & + \beta_8 LEV_{i,t} + \varepsilon_{i,t}, \end{aligned} \tag{2}$$

where $LNP_i^{t+2} = LN(Patent \ Number)$ with a time lag of 2 years, $AGE_{i,t}$ — average age of top managers, $FINEDU_{i,t}$ — Share of top managers with Management and Finance education, $MEDEDU_{i,t}$ — Share of top managers with Medical education, $EXP_{i,t}$ — average work experience of top managers, $LNEMP_{i,t} = LN(Staff \ Number)$, $LNNI_{i,t} = LN(Net \ Income)$ with a time lag of 1 year, $ROA_{i,t} = Net \ Income / Total \ Assets$, $LEV_{i,t} = Total \ Debt / Total \ Assets$.

For each of the models, a series of tests were conducted to determine, which of the panel data estimation methods — pass-through, regression with regression with fixed individual effects and regression with random individual effects — better describes the data. The results of the tests suggest that both regressions most adequately describe the fixed effects model. The models were also tested for autocorrelation and heteroscedasticity using the Durbin-Watson test and White’s test, respectively, where the test results showed that there is no autocorrelation and heteroscedasticity in both models.

5. Results

According to the results of model (1) presented in Table 4, the share of top managers with medical education has an insignificant effect on R&D intensity in the largest pharmaceutical companies, where the mature age of top management representative is negatively and significantly related to R&D intensity ($t = -0.00985$, $p < 0.01$). The share of top managers with education in finance is not significant. Average experience in managerial positions among top managers is positively and significant-

ly related to R&D intensity ($t = 0.2547$, $p < 0.01$).

Pharmaceutical company size, represented as number of employees, is negatively related to R&D intensity, which confirms some previous studies for high-tech sectors. Other control variables representing financial performance have no significant coefficients in model (1).

Therefore, *Hypothesis 1a* indicating that the proportion of top managers with management and finance education is positively related to R&D intensity of pharmaceutical companies — cannot be confirmed or accepted, due to the ambiguity of the findings, but *Hypothesis 2a* is not rejected and the fact that medical education has a positive effect on innovation is confirmed.

Hypothesis 3a and *Hypothesis 4a* are also accepted. This is due to the fact that the mature age of top management members is negatively related to contribution to innovation (R&D intensity), while greater experience allows them to make informed decisions while holding senior positions. Older employees in anticipation of retirement life tend to make less risky decisions, while younger top managers have a better

understanding of innovation and are more receptive to change. The result obtained is in line with the research result for other industries for R&D intensity that Barker V. and Mueller G. [1] explored in their paper «CEO Characteristics and Firm R&D Spending».

The results of model (2) disprove the *Hypothesis 2b* hypothesis about the positive relationship between the share of top managers with medical education and the number of patents obtained by the company. The results of model (2) showed that this relationship is negative and significant ($t = -0.6549$, $p < 0.01$).

The obtained result refutes the results of foreign authors by Lee et al [37], who claimed that in innovative industries the share of top managers with industry-specific education positively affects the number of patents obtained. It is worth noting that *Hypothesis 4b* is also confirmed. Management teams with a higher share of employee representatives with more than 10 years of experience have better quality of top management, which will allow the company's employees to fulfill their tasks more efficiently. The rest of the indicators are not significant, so it is impossible to draw unambiguous conclusions about the acceptance or rejection of the hypotheses.

Table 4. Influence of top managers' characteristics on innovative activity

	Model (1)	Model (2)		Model (1)	Model (2)
AGE	-0.00985** (0.00452)	0.00364 (0.0217)	LNNI	0.0103 (0.0379)	0.4162* (0.0836)
MEDEDU	0.3874* (0.0860)	-0.6549** (0.1291)	ROA	-0.462 (0.162)	-1.450** (0.383)
FINEDU	0.2135 (0.1748)	-0.070 (0.023)	LEV	0.0247 (0.0524)	0.0245 (0.0504)
EXP	0.2547** (0.4335)	0.4205* (0.1454)	Const	0.536* (0.272)	1.991* (0.522)
LNEMP	-0.197* (0.289)	0.425** (0.105)	N	1 118	1 118
			R ²	0.471	0.394

This trend could be due to the fact that the number of patents granted in the second half of the time period under study decreased, which affected the results of the analysis. Moreover, there is a tendency for the industry to decrease R&D productivity, which could have also had a negative impact on the number of discovered active ingredients and, consequently, on the number of patents granted.

The results of model (2) could be affected by “evergreen patents”, the share of which in the total number of patents of a pharmaceutical company can reach large values but varies from company to company.

Based on the results of the models, it is worth noting that if the concentration of hiring top managers with managerial skills with more than 20 years of experience increases by 1 %, the innovation activity of the company increases by 0.25 % for input innovation and 0.42 % for output innovation. Since innovation is aimed at cost optimization and automation of internal processes, special attention is paid to employees with specialized medical education, where when the share of top managers with medical education increases by 1 %, innovation activity increases by 0.39 % for input innovation, but decreases by 0.65 % for output input innovation.

This is explained by the fact that, despite the relatively small share of top managers, investors are interested in overcoming corporate problems in order to normalize and maximize exclusively the economic performance of the company and exclusively in the long term, without taking into account pharmacological aspects. This is also confirmed by the number of company employee’s indicator, where in the case of innovation expansion for top managers with medical education, if the share of all employees increases by 1 %, innovation activity increases by 0.43 %.

The share of top managers with education in management and finance does not

have a proper significance on innovation activity, therefore the results are ambiguous and cannot be compared with the share of top managers with medical education. Thus, the intensity of innovation increases due to the involvement of top managers with a certain business interest in their portfolio companies, where the costs of monitoring in pharmacology significantly exceed the corresponding costs of independent other companies from other industries.

6. Discussion

The information presented in the article will allow investors to choose the right strategic directions when planning external investments. Company owners can also use the data to develop innovation strategies and analysts to forecast trends in the industry in order to develop new products.

The article suggests that in the pharmaceutical industry, innovation activity, which is the most important factor for survival in a competitive environment, also depends on the characteristics of human capital of top management, namely age, education and work experience.

The empirical analysis conducted in the study showed that some characteristics of human capital of top management can have a significant impact on the indicators of innovation activity of companies. We found a positive relationship between the average work experience of top managers and R&D intensity, a negative relationship between the late age of top managers and R&D intensity, and a positive relationship between the share of top managers with medical education and R&D intensity. The hypothesis, which states that the share of top managers with medical education has a positive effect on the innovative activity and number of patents received by pharmaceutical companies is not rejected. The result obtained is similar to earlier empirical studies for other industries by Barker & Mueller [1].

The authors in their research note that the characteristics of human capital can positively influence the innovative development of the company. Empirical evidence supported this notion and showed that age disclosed in the paper of Vania et al. [17], work experience disclosed in the paper of Doris & Dora [20] and education of top management disclosed in the paper of Garg [13] affect firm performance, particularly innovation performance.

A negative relationship was also found between the share of top managers with medical education and the number of patents initiated during the period of top managers' work. At the same time, the number of patents obtained reflects the innovation output of the company.

The result obtained in this study refutes the results of foreign researchers that in high-tech industries the industry-specific education of top managers contributes to the increase in the number of patents by Lee et al [37]. This is explained by the specificity of the patent system in the pharmaceutical industry. In this regard, the measurement of the innovative output of pharmaceutical companies in further studies can be carried out with the help of other absolute indicators of innovation, e.g. by using other absolute indicators of innovation, for example, the number of new drugs.

However, the hypothesis which states that average managerial experience of top management positively influences innovative activity and the number of patents of pharmaceutical companies is not rejected.

The results of the paper are also supported by the work of Shaikh & Peters [29], where based on the results obtained, the researchers agree that the high level of debt load of a company, expressed as an indicator reflecting the level of debt load, reduces the motivation of management to invest in long-term R&D for the sake of increasing the current cash flow for debt service, which is also affected by the strong degree

of government regulation and the falling number of new drugs per R&D unit.

The study has some weaknesses. Firstly, not all characteristics of top management's human capital are considered in the study, as the research was limited to measurements using secondary information. Perhaps, a more extensive set of characteristics will allow us to analyze more deeply the mechanism of top management human capital influence on the innovation activity of pharmaceutical companies. Secondly, the study does not take into account such aspects as the stage of the company's life cycle, country affiliation and diversification of production, which can also have a significant impact on the innovation activity indicators.

7. Conclusion

Human capital is the knowledge, skills, experience, and education of people who work in a company. It is a key factor influencing innovation in a company. Senior management regulates most of the company's activities. In most cases, when considering the activities of management, external factors that influence the decision-making process are taken into account.

However, endogenous factors are considered much less frequently, although they are of considerable importance in decision-making processes. While exogenous factors are more objective and visible for unbiased evaluation, endogenous factors are less visible and require a more comprehensive approach for evaluation. In this regard, the relationship between the human capital of top management and the characteristics of these very companies has been confirmed.

The growth of the industry is slowing down as investment in research and development becomes less efficient, external controls are increasing, and companies are increasingly having to collaborate with each other on innovation, creating more complex management and control struc-

tures. The lack of a consolidated patent system forces companies to spend a lot of time filing patents with several offices to protect themselves from competitors. Imperfections in patent law also make it possible to re-register patents on a product after minor modifications, which negates the need for new products.

However, the study confirms the fact that the influence of the leadership structure characterizes a certain aspect of the company's activity, where there are also interactions within this structure. Decisions in the company are not made unilaterally, but one of the management representatives has significantly more authority than other managers, which ultimately makes it necessary to take into account separately the influence of the CEO on the decisions made by the management.

The findings of the paper give important strategic importance to R&D investments in order to maintain leadership and competitive advantage for companies in the pharmaceutical industry. The results close many research gaps whose studies are limited to using only one variety of human capital characteristics. The results of the

study may also be useful in lectures, seminars, or other topical forums.

The present study complements the previous works by specifying the characteristics of human capital of top management, which influence the innovation activity indicators of the largest companies, as applied to the pharmacological industry. This is relevant due to the fact that, as the literature review has shown, most of the previous works focused either on a set of high-tech industries or on the IT sector.

In addition, the study investigates the impact of average experience in managerial positions on innovation performance, which has previously been investigated only for CEOs and not for top management in general. The practical significance of the research is that the proposed model, which will help predict the innovation strategy of pharmaceutical companies, can be used by investors when planning external investments, by owners when developing an innovation strategy, by analysts to forecast trends in the industry, and the ability of pharmaceutical companies to create new products.

References

1. Barker, V.L., Mueller, G.C. (2002). CEO Characteristics and Firm R&D Spending. *Management Science*, Vol. 48, No. 6, 782–801. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.48.6.782.187>
2. Miller, F.A., Lehoux, P. (2020). The innovation impacts of public procurement offices: The case of healthcare procurement. *Research Policy*, Vol. 49, Issue 7, 104075. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104075>
3. Jia, N., Tian, X. (2018). Accessibility and materialization of firm innovation. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 48, 515–541. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2017.12.002>
4. Ribeiro, B., Shapira, P. (2018). Private and public values of innovation: A patent analysis of synthetic biology. *Research Policy*, Vol. 49, Issue 1, 103875. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103875>
5. Kaitin, K.I. (2010). Deconstructing the Drug Development Process: The New Face of Innovation. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, Vol. 87, Issue 3, 356–361. <https://doi.org/10.1038/clpt.2009.293>
6. Feldman, R., Notes, A. (2018). May your drug price be evergreen. *Journal of Law and the Biosciences*, Vol. 5, Issue 3, 590–647. <https://doi.org/10.1093/jlb/lsy022>
7. Kim, I., Pantzalis, C., Zhang, Z. (2021). Multinationality and the value of green innovation. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 69, 101996. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2021.101996>

8. Mahroum, S. (2002). Europe and the Immigration of Highly Skilled Labour. *International Migration*, Vol. 39, Issue 5, 27–43. <https://doi.org/10.1111/1468-2435.00170>
9. Bandaranaike, S. (2018). From Research Skill Development to Work Skill Development. *Journal of University Teaching & Learning Practice*, Vol. 15, Issue 4. 7. <https://doi.org/10.5376/1.15.4.7>
10. Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., Rumble, M. (2012). Defining Twenty-First Century Skills. In: *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*. Edited by P. Griffin, B. McGaw, E. Care. Springer, 17–66. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2
11. Collet C., Hine, D., du Plessis, K. (2015). Employability skills: perspectives from a knowledge-intensive industry. *Education and Training*, Vol. 57, Issue 5, 532–559. <https://doi.org/10.1108/ET-07-2014-0076>
12. Karnouskos, S. (2017). Massive open online courses (MOOCs) as an enabler for competent employees and innovation in industry. *Computers in Industry*, Vol. 91, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.05.001>
13. Sitepu, R.Br., Eliyana, A., Raza, A., Rosalina, M. (2020). The Readiness of Educational Competency in Higher Education in Connecting the Era of Industrial Revolution 4.0. *SHS Web of Conferences*, Vol. 76, Issue 2, 01045. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207601045>
14. Li, X., Nosheen, S., Ul Haq, N., Gao, X. (2021). Value creation during fourth industrial revolution: Use of intellectual capital by most innovative companies of the world. *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 163, 120479. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120479>
15. Foucart, R., Li, Q.C. (2021). The role of technology standards in product innovation: Theory and evidence from UK manufacturing firms. *Research Policy*, Vol. 50, Issue 2, 104157. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104157>
16. Asaba, S., Wada, T. (2019). The Contact-Hitting R&D Strategy of Family Firms in the Japanese Pharmaceutical Industry. *Family Business Review*, Vol. 32, Issue 3, 277–295. <https://doi.org/10.1177/0894486519852449>
17. Sena, V., Duygun, M., Lubrano, G., Marra, M., Shaban, M. (2018). Board independence, corruption and innovation. Some evidence on UK subsidiaries. *Journal of Corporate Finance*, Vol. 50, 22–43. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2017.12.028>
18. Ahn, J.M., Mortara, L., Tim, M. (2013). Linkages between CEO Characteristics and Open Innovation Adoption in Innovative Manufacturing SMEs. *SSRN*, 35 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2328644>
19. Crossland, C., Zyung, J., Hiller, N.J., Hambrick, D.C. (2014). Ceo career variety: Effects on firm-level strategic and social novelty. *Academy of Management Journal*, Vol. 57, No. 3, 652–674. <https://doi.org/10.5465/amj.2012.0469>
20. Omerzel, D.G., Jurdana, D.S. (2016). The influence of intellectual capital on innovativeness and growth in tourism SMEs: empirical evidence from Slovenia and Croatia. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, Vol. 29, Issue 1, 1075–1090. <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2016.1211946>
21. Custódio, C., Ferreira, M.A., Matos, P. (2017). Do General Managerial Skills Spur Innovation? *Management Science*, Vol. 65, No. 2, 459–476. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2017.2828>
22. Nadkarni, S., Herrmann, P. (2010). CEO personality, strategic flexibility, and firm performance: The case of the Indian business process outsourcing industry. *Academy of Management Journal*, Vol. 53, No. 5, 1050–1073. <https://doi.org/10.5465/amj.2010.54533196>
23. Prugsamat, N.C. (2021). CEO dominance and firm innovation effort. *Managerial Finance*, Vol. 47, Issue 7, 998–1015. <https://doi.org/10.1108/MF-05-2020-0235>
24. Luo, J.-H., Li, X., Wang, L.C., Liu, Y. (2021). Owner type, pyramidal structure and R&D Investment in China's family firms. *Asia Pacific Journal of Management*, Vol. 38, Issue 3, 1085–1111. <https://doi.org/10.1007/s10490-019-09702-z>

25. Chao, Ch.-H., Huang, Ch.-J. (2022). Firm performance following actual share repurchases: Effects of investment crowding out and financial flexibility. *Pacific-Basin Finance Journal*, Vol. 73, 101738. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2022.101738>
26. Herrmann, P., Kaufmann, J., van Auken, H. (2010). The role of corporate governance in R&D intensity of US-based international firms. *International Journal of Commerce and Management*, Vol. 20, Issue 2, 91–108. <https://doi.org/10.1108/10569211011057236>
27. Lewellyn, K.B., Bao, R.S. (2021). R&D investment around the world: Effects of ownership and performance-based cultural contexts. *Thunderbird International Business Review*, Vol. 63, Issue 2, 217–233. <https://doi.org/10.1002/tie.22187>
28. Shahzad, F., Ahmad, M., Fareed, Z., Wang, Z. (2022). Innovation decisions through firm life cycle: A new evidence from emerging markets. *International Review of Economics & Finance*, Vol. 78, 51–67. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.11.009>
29. Shaikh, I.A., Peters, L. (2018). The value of board monitoring in promoting R&D: a test of agency-theory in the US context. *Journal of Management & Governance*, Vol. 22, Issue 2, 339–363. <https://doi.org/10.1007/s10997-017-9390-8>
30. García-García, L. Alonso-Buenaposada, M.G., Romero-Merino, M.E., Santamaria-Mariscal, M. (2020). Ownership structure and R&D investment: the role of identity and contestability in Spanish listed firms. *Academia Revista Latinoamericana de Administración*, Vol. 33, Issue 3–4, 405–426. <https://doi.org/10.1108/ARLA-01-2019-0013>
31. Qing, L., Wang, M., Xiangli, L. (2021). Do government subsidies promote new-energy firms' innovation? Evidence from dynamic and threshold models. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 286, 124992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124992>
32. Ramdani, B., Guermat, C., Mellahi, K. (2021). The effect of downsizing on innovation outputs: The role of resource slack and constraints. *Australian Journal of Management*, Vol. 46, Issue 2, 346–365. <https://doi.org/10.1177/03128962209706>
33. Forti, E., Morricone, S., Munari, F. (2021). Litigation risks and firms innovation dynamics after the IPO. *Journal of Industrial and Business Economics*, Vol. 48, Issue 2, 291–313. <https://doi.org/10.1007/s40812-020-00161-y>
34. Ma, S. (2020). The life cycle of corporate venture capital. *The Review of Financial Studies*, Vol. 33, Issue 1, 358–394. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz042>
35. Chkir, I., Haj Hassan, B.E., Rjiba, H., Saadi, S. (2021). Does corporate social responsibility influence corporate innovation? International evidence. *Emerging Markets Review*, Vol. 46, 100746. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2020.100746>
36. Chemmanur, Th.J., Kong, L., Krishnan, K., Qianqian, Y. (2015). Top Management Human Capital, Inventor Mobility, and Corporate Innovation. *Journal of Financial and Quantitative Analysis (JFQA)*, 1–88. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2654416>
37. Lee, C., Park, G., Marhold, K., Kang, J. (2017). Top management team's innovation-related characteristics and the firm's explorative R&D: an analysis based on patent data. *Scientometrics*, Vol. 111, Issue 2, 639–663. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2322-1>
38. Camisón-Zornoza, C., Lapiedra-Alcamí, R., Segarra-Ciprés, M., Boronat-Navarro M. (2004). A Meta-analysis of Innovation and Organizational Size. *Organization Studies*, Vol. 25, Issue 3, 331–361. <https://doi.org/10.1177/0170840604040039>
39. Barrena-Martínez, J., Cricelli, L., Ferrándiz, E., Greco, M., Grimaldi, M. (2020). Joint forces: Towards an integration of intellectual capital theory and the open innovation paradigm. *Journal of Business Research*, Vol. 112, 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.029>
40. Cruz-Cázares, C., Bayona-Sáez, C., García-Marco, T. (2013). You can't manage right what you can't measure well: Technological innovation efficiency. *Research Policy*, Vol. 42, Issue 6–7, 1239–1250. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.03.012>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Nikita Alekseevich Tolstov

Post-Graduate Student, Moscow University of Finance and Law, Moscow, Russia (117342, Moscow, Vvedenskogo street, 1a); ORCID <https://orcid.org/0009-0009-3230-888X> e-mail: nickita.tolstov@yandex.ru

Andrey Aleksandrovich Knyazev

Post-Graduate Student, SYNERGY University, Moscow, Russia (105318, Moscow, Izmailovsky Val street, 2); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1850-7857> e-mail: ak290599@yandex.ru

FOR CITATION

Tolstov, N.A., Knyazev, A.A. (2024). Influence of Top Management Characteristics on the Innovative Development of the World's Top Companies in the Pharmaceutical Industry. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 3, 855–875. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.034>

ARTICLE INFO

Received April 1, 2024; Revised May 7, 2024; Accepted June 5, 2024.

Влияние характеристик топ-менеджеров на инновационную активность ведущих мировых фармацевтических компаний

Н. А. Толстов¹  , А. А. Князев² 

¹Московский финансово-юридический университет МФЮА,

г. Москва, Россия

²Университет СИНЕРГИЯ,

г. Москва, Россия

 nickita.tolstov@yandex.ru

Аннотация. Стратегия инновационного развития компании в большей степени определяется топ-менеджерами, где все изменения, происходящие в фармацевтической отрасли, требуют детального рассмотрения вопросов стимулирования инноваций. Таким образом, важно изучить, какие характеристики человеческого капитала топ-менеджеров влияют на инновационную активность фармацевтических компаний при создании новых продуктов. В статье выдвигается гипотеза о том, что успех портфеля лекарственных препаратов прямо или косвенно зависит от идей, возникающих в ходе масштабной коммерциализации и фундаментальных исследований, окупающих высокие затраты на разработку, на которые в свою очередь влияют личностные характеристики топ-менеджеров. Исследование представляет собой эконометрический анализ влияния элементов человеческого капитала, представленного характеристиками топ-менеджеров, на инновационную активность крупных фармацевтических компаний, где с помощью панельной регрессии были протестированы две модели влияния переменных на патенты и НИОКР. Статистические данные были протестированы на 100 ведущих мировых фармацевтических компаниях в период с 2010 по 2022 г. Полученные результаты позволили составить усредненный портрет топ-менеджера одной из крупнейших фармацевтических компаний. Анализ показал, что профессиональный опыт, возраст, а также профильное образование оказывают существенное влияние на инновационную активность. Исследование вносит вклад в литературу, поскольку позволяет спрогнозировать инновационную стратегию фармацевтических компаний на основе усредненного портрета топ-менеджера. Предлагаемая модель позволит снизить количество неудач инновационных направлений, оптимизировать сроки коммерциализации проектов по разработке новых лекарственных средств и может быть использована в других научных исследованиях.

Ключевые слова: инновационная активность; НИОКР; патенты; топ-менеджмент; человеческий капитал.

Список использованных источников

1. Barker V. L., Mueller G. C. CEO Characteristics and Firm R&D Spending // Management Science. 2002. Vol. 48, No. 6. Pp. 782–801. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.48.6.782.187>
2. Miller F. A., Lehoux P. The innovation impacts of public procurement offices: The case of healthcare procurement // Research Policy. 2020. Vol. 49, Issue 7. 104075. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104075>
3. Jia N., Tian X. Accessibility and materialization of firm innovation // Journal of Corporate Finance. 2018. Vol. 48. Pp. 515–541. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2017.12.002>

4. *Ribeiro B., Shapira P.* Private and public values of innovation: A patent analysis of synthetic biology // *Research Policy*. 2018. Vol. 49, Issue 1. 103875. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103875>
5. *Kaitin K. I.* Deconstructing the Drug Development Process: The New Face of Innovation // *Clinical Pharmacology & Therapeutics*. 2010. Vol. 87, Issue 3. Pp. 356–361. <https://doi.org/10.1038/clpt.2009.293>
6. *Feldman R., Notes A.* May your drug price be evergreen // *Journal of Law and the Biosciences*. 2018. Vol. 5, Issue 3. Pp. 590–647. <https://doi.org/10.1093/jlb/lsy022>
7. *Kim I., Pantzalis C., Zhang Z.* Multinationality and the value of green innovation // *Journal of Corporate Finance*. 2021. Vol. 69. 101996. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2021.101996>
8. *Mahroum S.* Europe and the Immigration of Highly Skilled Labour // *International Migration*. 2002. Vol. 39, Issue 5. Pp. 27–43. <https://doi.org/10.1111/1468-2435.00170>
9. *Bandaranaike S.* From Research Skill Development to Work Skill Development // *Journal of University Teaching & Learning Practice*. 2018. Vol. 15, Issue 4. 7. <https://doi.org/10.53761/1.15.4.7>
10. *Binkley M., Erstad O., Herman J., Raizen S., Ripley M., Miller-Ricci M., Rumble M.* Defining Twenty-First Century Skills // *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* / edited by P. Griffin, B. McGaw, E. Care. Springer, 2012. Pp. 17–66. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2
11. *Collet C., Hine D., du Plessis K.* Employability skills: perspectives from a knowledge-intensive industry // *Education and Training*. 2015. Vol. 57, Issue 5. Pp. 532–559. <https://doi.org/10.1108/ET-07-2014-0076>
12. *Karnouskos S.* Massive open online courses (MOOCs) as an enabler for competent employees and innovation in industry // *Computers in Industry*. 2017. Vol. 91. Pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.05.001>
13. *Sitepu R.Br., Eliyana A., Raza A., Rosalina M.* The Readiness of Educational Competency in Higher Education in Connecting the Era of Industrial Revolution 4.0 // *SHS Web of Conferences*. 2020. Vol. 76, Issue 2. 01045. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20207601045>
14. *Li X., Nosheen S., Ul Haq N., Gao X.* Value creation during fourth industrial revolution: Use of intellectual capital by most innovative companies of the world // *Technological Forecasting and Social Change*. 2021. Vol. 163. 120479. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.05.001>
15. *Foucart R., Li Q. C.* The role of technology standards in product innovation: Theory and evidence from UK manufacturing firms // *Research Policy*. 2021. Vol. 50, Issue 2. 104157. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104157>
16. *Asaba S., Wada T.* The Contact-Hitting R&D Strategy of Family Firms in the Japanese Pharmaceutical Industry // *Family Business Review*. 2019. Vol. 32, Issue 3. Pp. 277–295. <https://doi.org/10.1177/0894486519852449>
17. *Sena V., Duygun M., Lubrano G., Marra M., Shaban M.* Board independence, corruption and innovation. Some evidence on UK subsidiaries // *Journal of Corporate Finance*. 2018. Vol. 50. Pp. 22–43. <https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2017.12.028>
18. *Ahn J. M., Mortara L., Tim M.* Linkages between CEO Characteristics and Open Innovation Adoption in Innovative Manufacturing SMEs. SSRN, 2013. 35 p. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2328644>
19. *Crossland C., Zyung J., Hiller N. J., Hambrick D. C.* Ceo career variety: Effects on firm-level strategic and social novelty // *Academy of Management Journal*. 2014. Vol. 57, No. 3. Pp. 652–674. <https://doi.org/10.5465/amj.2012.0469>
20. *Omerzel D. G., Jurdana D. S.* The influence of intellectual capital on innovativeness and growth in tourism SMEs: empirical evidence from Slovenia and Croatia // *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. 2016. Vol. 29, Issue 1. Pp. 1075–1090. <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2016.1211946>
21. *Custódio C., Ferreira M. A., Matos P.* Do General Managerial Skills Spur Innovation? // *Management Science*. 2017. Vol. 65, No. 2. Pp. 459–476. <https://doi.org/10.1287/mnsc.2017.2828>

22. Nadkarni S., Herrmann P. CEO personality, strategic flexibility, and firm performance: The case of the Indian business process outsourcing industry // *Academy of Management Journal*. 2010. Vol. 53, No. 5. Pp. 1050–1073. <https://doi.org/10.5465/amj.2010.54533196>
23. Prugsamat N. C. CEO dominance and firm innovation effort // *Managerial Finance*. 2021. Vol. 47, Issue 7. Pp. 998–1015. <https://doi.org/10.1108/MF-05-2020-0235>
24. Luo J.-H., Li X., Wang L. C., Liu Y. Owner type, pyramidal structure and R&D Investment in China's family firms // *Asia Pacific Journal of Management*. 2021. Vol. 38, Issue 3. Pp. 1085–1111. <https://doi.org/10.1007/s10490-019-09702-z>
25. Chao Ch.-H., Huang Ch.-J. Firm performance following actual share repurchases: Effects of investment crowding out and financial flexibility // *Pacific-Basin Finance Journal*. 2022. Vol. 73. 101738. <https://doi.org/10.1016/j.pacfin.2022.101738>
26. Herrmann P., Kaufmann J., van Auken H. The role of corporate governance in R&D intensity of US-based international firms // *International Journal of Commerce and Management*. 2010. Vol. 20, Issue 2. Pp. 91–108. <https://doi.org/10.1108/10569211011057236>
27. Lewellyn K. B., Bao R. S. R&D investment around the world: Effects of ownership and performance-based cultural contexts // *Thunderbird International Business Review*. 2021. Vol. 63, Issue 2. Pp. 217–233. <https://doi.org/10.1002/tie.22187>
28. Shahzad F., Ahmad M., Fareed Z., Wang Z. Innovation decisions through firm life cycle: A new evidence from emerging markets // *International Review of Economics & Finance*. 2022. Vol. 78. Pp. 51–67. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.11.009>
29. Shaikh I. A., Peters L. The value of board monitoring in promoting R&D: a test of agency-theory in the US context // *Journal of Management & Governance*. 2018. Vol. 22, Issue 2. Pp. 339–363. <https://doi.org/10.1007/s10997-017-9390-8>
30. García-García L., Alonso-Buenaposada M. G., Romero-Merino M. E., Santamaria-Mariscal M. Ownership structure and R&D investment: the role of identity and contestability in Spanish listed firms // *Academia Revista Latinoamericana de Administración*. 2020. Vol. 33, Issue 3–4. Pp. 405–426. <https://doi.org/10.1108/ARLA-01-2019-0013>
31. Qing L., Wang M., Xiangli L. Do government subsidies promote new-energy firms' innovation? Evidence from dynamic and threshold models // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 286. 124992. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124992>
32. Ramdani B., Guermat C., Mellahi K. The effect of downsizing on innovation outputs: The role of resource slack and constraints // *Australian Journal of Management*. 2021. Vol. 46, Issue 2. Pp. 346–365. <https://doi.org/10.1177/03128962209706>
33. Forti E., Morricone S., Munari F. Litigation risks and firms innovation dynamics after the IPO // *Journal of Industrial and Business Economics*. 2021. Vol. 48, Issue 2. Pp. 291–313. <https://doi.org/10.1007/s40812-020-00161-y>
34. Ma S. The life cycle of corporate venture capital // *The Review of Financial Studies*. 2020. Vol. 33, Issue 1. Pp. 358–394. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhz042>
35. Chkir I., Haj Hassan B. E., Rjiba H., Saadi S. Does corporate social responsibility influence corporate innovation? International evidence // *Emerging Markets Review*. 2021. Vol. 46. 100746. <https://doi.org/10.1016/j.ememar.2020.100746>
36. Chemmanur Th.J., Kong L., Krishnan K., Qianqian Y. Top Management Human Capital, Inventor Mobility, and Corporate Innovation // *Journal of Financial and Quantitative Analysis (JFQA)*. 2015. Pp. 1–88. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2654416>
37. Lee C., Park G., Marhold K., Kang J. Top management team's innovation-related characteristics and the firm's explorative R&D: an analysis based on patent data // *Scientometrics*. 2017. Vol. 111, Issue 2. Pp. 639–663. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2322-1>
38. Camisón-Zornoza C., Lapiedra-Alcami R., Segarra-Ciprés M., Boronat-Navarro M. A Meta-analysis of Innovation and Organizational Size // *Organization Studies*. 2004. Vol. 25, Issue 3. Pp. 331–361. <https://doi.org/10.1177/0170840604040039>

39. Barrena-Martínez J., Cricelli L., Ferrándiz E., Greco M., Grimaldi M. Joint forces: Towards an integration of intellectual capital theory and the open innovation paradigm // Journal of Business Research. 2020. Vol. 112. Pp. 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.10.029>
40. Cruz-Cázares C., Bayona-Sáez C., García-Marco T. You can't manage right what you can't measure well: Technological innovation efficiency // Research Policy. 2013. Vol. 42, Issue 6–7. Pp. 1239–1250. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.03.012>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Толстов Никита Алексеевич

Аспирант Московского финансово-юридического университета МФЮА, г. Москва, Россия (117342, г. Москва, ул. Введенского, 1а); ORCID <https://orcid.org/0009-0009-3230-888X> e-mail: nickita.tolstov@yandex.ru

Князев Андрей Александрович

Аспирант Университета СИНЕРГИЯ, г. Москва, Россия (105318, г. Москва, ул. Измайловский Вал, 2); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1850-7857> e-mail: ak290599@yandex.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Толстов Н. А., Князев А. А. Влияние характеристик топ-менеджеров на инновационную активность ведущих мировых фармацевтических компаний // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 3. С. 855–875. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.3.034>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 1 апреля 2024 г.; дата поступления после рецензирования 7 мая 2024 г.; дата принятия к печати 5 июня 2024 г.



Научное сетевое издание

Journal of Applied Economic Research

Vol. 23 No. 3, 2024

Учредитель и издатель журнала Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
*«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»*

Главный редактор *И. А. Майбуров*

Ответственный за выпуск *А. В. Калина*
Редактор *Е. Е. Крамаревская*
Компьютерная верстка *Ю. В. Ершовой*
Перевод *А. Н. Бахаревой*
Менеджер сайта *Н. В. Стародубец*

Подписано 20.08.2024.
Минимальные системные требования:
ПО Adobe Reader версии 8 и выше
Объем издания 14,5 Мб

Адрес редакции:
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, а/я 10
Тел. +7 (343) 375-97-20
E-mail: vestnikurfu@yandex.ru
WEB-SITE: journalaer.ru

Издательство Уральского университета
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел./факс: +7 (343) 358-93-06
e-mail: press-urfu@mail.ru
<http://print.urfu.ru>