



БЕЛОРУССКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ЖУРНАЛ
БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЭКОНОМИКА

JOURNAL
OF THE BELARUSIAN STATE UNIVERSITY

ECONOMICS

Издается с января 1969 г.
(до 2017 г. – под названием «Веснік БДУ.
Серія 3, Гісторыя. Эканоміка. Права»)

Выходит один раз в полугодие

2

2023

МИНСК
БГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор	КОВАЛЁВ М. М. – доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: kovalev@bsu.by
Заместитель главного редактора	ЛЕМЕЩЕНКО П. С. – доктор экономических наук, профессор; заведующий кафедрой теоретической и институциональной экономики экономического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: liamp@bsu.by
Ответственный секретарь	ГОСПОДАРИК Е. Г. – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой аналитической экономики и эконометрики экономического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь. E-mail: gospodarik@bsu.by

- Аузан А. А.* Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия.
- Воробьев В. А.* Белорусский государственный экономический университет, Минск, Беларусь.
- Гриценко А. А.* Институт экономики и прогнозирования Национальной академии наук Украины, Киев, Украина.
- Давыденко Е. Л.* Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Данильченко А. В.* Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь.
- Королёва А. А.* Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.
- Несветайлова А.* Городской центр исследований политической экономики Лондонского университета, Лондон, Великобритания.
- Нуреев Р. М.* Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия.
- Петренко Е. С.* Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия.
- Салаходжаев Р. Ф.* Консалтингово-исследовательский центр ERGO Research & Advisory, Ташкент, Узбекистан; Международный Вестминстерский университет в Ташкенте, Ташкент, Узбекистан.
- Хацкевич Г. А.* Институт бизнеса и менеджмента технологий Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
- Шаховская Л. С.* Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief	KOVALEV M. M. , doctor of science (physics and mathematics), full professor; professor at the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: kovalev@bsu.by
Deputy editor-in-chief	LIAMESHCHANKA P. S. , doctor of science (economics), full professor; head of the department of theoretical and institutional economics, faculty of economics, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: liamp@bsu.by
Executive secretary	GOSPODARIK C. G. , PhD (economics), docent; head of the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: gospodarik@bsu.by

<i>Auzan A. A.</i>	Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.
<i>Danilchanka A. V.</i>	Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus.
<i>Davydenko E. L.</i>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Gritsenko A. A.</i>	Institute for Economics and Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.
<i>Khatskevich G. A.</i>	School of Business and Management of Technology of the Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Koroleva A. A.</i>	Belarusian State University, Minsk, Belarus.
<i>Nesvetailova A.</i>	City Political Economy Research Centre of the University of London, London, United Kingdom.
<i>Nureev R. M.</i>	Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia.
<i>Petrenko Y. S.</i>	Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia.
<i>Salahodjaev R. F.</i>	Consulting and research center ERGO Research & Advisory, Tashkent, Uzbekistan; Westminster International University in Tashkent, Tashkent, Uzbekistan.
<i>Shakhovskaya L. S.</i>	Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia.
<i>Vorob'ev V. A.</i>	Belarusian State Economic University, Minsk, Belarus.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕЙТИНГОВОГО АНАЛИЗА

Е. Г. ГОСПОДАРИК^{1), 2)}, М. М. КОВАЛЁВ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
пр. Ленинградский, 49, 125167, г. Москва, Россия

Рассматриваются современные математические модели рейтингов и рэнкингов, применяемые в сравнительном экономическом анализе. Изложен взгляд на теорию рейтингов как с позиций теории коллективного выбора, так и с позиции теории построения сводных индексов, которая описывает наиболее распространенные модели рейтингов, основанные на построении сводного рейтингового индекса. Представлены также модели рейтингов, базирующиеся на проведении факторного и кластерного анализа, а также графовые модели и модели, созданные на основе решения оптимизационных задач поиска порядка, наименее отклоняющегося от заданных.

Ключевые слова: рейтинг; рэнкинг; мажоритарная модель Кондорсе; кластер-анализ; балльная модель Борда; модель Симпсона; модель Копленда; модель Нэша; модель рейтинга на основе сводного рейтингового индекса; агрегация показателей; модель на основе линейных порядков; модель на основе факторного анализа; модель на основе кластер-анализа; оптимизационная модель разбиения на классы.

Образец цитирования:

Господарик ЕГ, Ковалёв ММ. Математические модели рейтингового анализа. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023;2:4–19.
EDN: OYCNAГ

For citation:

Gospodarik CG, Kovalev MM. Mathematical models of rating analyses. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;2:4–19. Russian.
EDN: OYCNAГ

Авторы:

Екатерина Геннадьевна Господарик – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой аналитической экономики и эконометрики экономического факультета¹⁾, профессор департамента бизнес-аналитики²⁾.

Михаил Михайлович Ковалёв – доктор физико-математических наук, профессор; профессор кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета.

Authors:

Catherine G. Gospodarik, PhD (economics), docent; head of the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics^a, and professor at the department of business analysis^b.
gospodarik@bsu.by

Mikhail M. Kovalev, doctor of science (physics and mathematics), full professor; professor at the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics.
kovalev@bsu.by

MATHEMATICAL MODELS OF RATING ANALYSES

C. G. GOSPODARIK^{a, b}, M. M. KOVALEV^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bFinancial University under the Government of the Russian Federation,
49 Leningradskii Avenue, Moscow 125167, Russia

Corresponding author: C. G. Gospodarik (gospodarik@bsu.by)

The article outlines modern mathematical models of ratings and rankings used in comparative economic analysis. A view on the theory of ratings is presented both from the point of the theory of collective choice and from the point of the theory of constructing composite indices, which give the most common rating models based on the construction of a composite rating index. Rating models based on factor and cluster analysis, as well as graph models and models based on optimisation problems of finding the order least deviating from the specified ones are also developed.

Keywords: rating; ranking; Condorcet majority model; cluster analysis; Bord score model; Simpson model; Copland model; Nash model; rating model based on a consolidated rating index; aggregation of indicators; model based on linear orders; model based on factor analysis; model based on cluster analysis; optimisation model partitions into classes.

Введение

В последнее время экономисты все чаще применяют рейтинговые исследования для сравнительного анализа различных производственных объектов, в первую очередь экономических процессов в странах и региональных объединениях в целях выявления скорости модернизации и конвергенции, т. е. выравнивания социально-экономического развития. Рейтинговый анализ широко применяется такими международными организациями, как ООН, Всемирный банк, МВФ, для сравнения экономических процессов в странах мира, а его результаты широко используются и обсуждаются учеными. Однако в поле зрения попадают только результаты и показатели, а модели рейтингования остаются в стороне, хотя они оказывают существенное влияние на результаты рейтингового анализа.

Теория рейтингов восходит к классическим работам Ж. Ш. Борда [1] и М. Кондорсе [2] времен Великой французской революции, посвященным моделям обработки и методам голосования. Эти труды предопределили развитие теории кооперативного (коллективного) принятия решений [3] и теории общественного выбора [4]. В основе этих теорий лежат математические модели агрегации индивидуальных предпочтений в единственный (рейтинговый) коллективный выбор, которые бурно развиваются и сегодня, несмотря на знаменитую теорему Эрроу [5] о несуществовании правила коллективного выбора, удовлетворяющего пяти естественным аксиомам: единогласию, отсутствию диктатора, транзитивности, охвату (полноте и универсальности), а также независимости от посторонних альтернатив. Иными словами, К. Д. Эрроу доказал, что справедливая демократия невозможна, а коллективное решение всегда должно совпадать с мнением одного (диктатора). В 1972 г. К. Д. Эрроу стал лауреатом Нобелевской премии по экономике за теорию благосостояния и экономического равновесия. Позднее А. Сен на основе теории общественного выбора разработал теорию справедливости и экономики благосостояния [6], за что в 1998 г. получил Нобелевскую премию по экономике. Заметим, что ему же принадлежит идея создания одного из первых и самых известных рейтингов – рейтинга ООН человеческого развития.

Необходимо отметить, что все эти теории возникли как поиск модели агрегации мнений людей (экспертов) по любому вопросу – от обработки голосов избирателей до выбора устраивавшего общество варианта экономической политики. Нас же будут интересовать модели агрегации не только предпочтений людей, но и численных показателей, когда одни из них лучше у одной страны (процесса, системы), а другие лучше у другой страны.

К числу самых простых и самых распространенных моделей рейтинга относится модель построения рейтингового индекса, который является сверткой отобранных для рейтинга показателей. База такой модели – построение композитного (или сводного) индекса, агрегирующего частные показатели. Методология построения композитных (сводных) индикаторов обобщена в методологических руководствах Статистической дирекции ОЭСР¹, на основе которых позднее этой организацией были даны рекомендации к измерению, например, конкурентоспособности², проведены экономический анализ глобализации³ или обзор методов построения композитного индекса [7]. Обширный обзор литературы по теме построения композитных индексов имеется также в работе [8].

¹Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide. Paris : OECD, 2008. 162 p.

²Methodologies to measure market competition. Paris : OECD, 2021. 55 p.

³Measuring globalisation : handbook on economic globalisation indicators. Paris : OECD, 2005. 230 p.

Опубликовано огромное количество работ, посвященных моделям рейтинга в конкретных областях мировой и национальной экономики. Использование рейтингового подхода к рассмотрению сложных процессов в экономике можно найти в [9–22].

Позиции российских ученых по вопросу построения сводных критериев эффективности различных систем подробно проанализированы в работе [23], где утверждается, что метод сводных показателей предложил выдающийся математик А. Н. Крылов еще в 1908 г., дав обзор моделей построения композитных индексов оценки качества жизни в [24].

Рейтинги и рэнкинги: уточнение понятий и исторические модели

Теория рейтингов (лат. *rating*) – это раздел математической экономики, изучающий методы измерения сравнительных преимуществ одних экономических объектов перед другими и отнесение к классу подобных ему объектов, разряду, категории (буквально слово *rating* переводится как «положение, класс, разряд, ранг»), с течением времени возможна миграция объекта в другой класс.

Рэнкинг (лат. *ranking*) – это упорядочивание объектов в линейный (от первого до последнего) список (шеренгу) по некоторому правилу.

С проблемой сравнения классификации (не только экономических систем) человечество сталкивается с незапамятных времен и практически с момента своего зарождения использует те или иные методики проведения, сравнения и отбора лучших (победителей) или упорядочения всех объектов, систем (соревнования, турниры, разведка, экзамены, экспертизы, выборы, советы, тендеры, конкурсы, консилиумы, комиссии и т. п.). Подходы и модели могут различаться, но суть их применения одна: некие экономические объекты, системы или процессы – государства, отрасли, регионы, города, предприятия, банки, гостиницы, тендерные предложения, университеты и т. д. – необходимо либо ранжировать (упорядочить от наилучшего к худшему), либо отнести к тому ли иному классу однородных равноценных объектов.

Есть три важные особенности подобных классов задач: 1) многокритериальность, при которой качество каждого объекта оценивается по многим, как правило несоизмеримым между собой, показателям; 2) противоречивость и субъективность информации⁴; 3) динамичность⁵.

По исходной информации задачи рейтинга делятся на два класса: с заданной информацией о состоянии каждого объекта в отдельности и с заданной информацией о попарном сравнении всех объектов.

Идея рэнкинга, т. е. ранжирования от первого до последнего, принадлежит известному французскому ученому эпохи Великой французской революции Ж. Ш. Борда, позднее к нему примкнул и математик М. Кондорсе. На основе своих моделей они пытались построить теорию справедливых выборов – рейтинг политиков, программ, партий. Их идеи и модели легли в основу современной математической теории коллективного выбора, рейтингов. Это фактически раздел теории рейтингов. Понятие «рейтинг» употребляется чаще, заменяя понятие «рэнкинг». Следуя этой практике, мы тоже будем употреблять в обоих смыслах термин «рейтинг».

Необходимость использования рейтингов достаточно очевидна. К их достоинствам относятся следующие:

- устранение асимметрии экономической информации о рынках по Стиглицу – Акерлофу – Спенсу (лауреаты Нобелевской премии по экономике 2001 г. за это открытие);
- наглядность (достаточно легко сравнивать объекты по различным направлениям деятельности по единой сводной таблице или классу);
- компактность (агрегация многих показателей в небольшое число индексов улучшает способность людей воспринимать одновременно десятки показателей);
- сегментация (в отдельных индексах характеризуется только одна определенная характеристика экономического процесса (надежность, эффективность и т. д.));
- системность (дается целостное представление о всех сторонах объекта);
- робастность (устойчивость во времени, т. е. объекты могут менять класс или место, но сохранять некоторую стабильность).

Постановка задачи. В дальнейшем независимо от числа объектов и принципа отбора показателей, характеризующих их работу, исходные данные для рейтинга будем представлять в виде матрицы

⁴При построении рейтингов учитываются как объективные статистические данные (полные, неполные, вероятностные), так и субъективные, противоречивые оценки значений критериев, данные экспертами. Первые обычно называют жесткими данными (*harddate*), вторые – мягкими данными (*softdate*).

⁵Как правило, решение принимают в фиксированный момент времени, значения критериев были заданы в прошлые периоды, а интерес представляет качество объекта в будущем, т. е. по предыстории объекта необходимо классифицировать его будущее состояние, например, по репутации фирмы и некоторым ее финансовым показателям нужно составить представление о реальных возможностях реализации ее деловых предложений.

$[a_{ij}]_{n \times m}$, где n – число объектов; m – число показателей; a_{ij} – значение j -го показателя (*hard date*) для i -го объекта либо усредненное мнение экспертов (*soft date*). В динамических рейтингах такие матрицы $[a_{ij}^t]_{n \times m}$ задаются для каждого момента времени t .

Необходимо либо разбить объекты на классы родственных с возможно заданным числом классов (рейтинг), либо упорядочить их от первого до последнего (рэнкинг).

Приведем исторические модели рейтингов, которые агрегируют мнения экспертов.

Балльная модель Борда. В теории ранжирования очень популярна модель другого французского математика Ж. Ш. Борда. При построении данной модели упорядочиваем все n объектов от лучшего к худшему по каждому показателю j . За последнее место объект получает 0 баллов, за предпоследнее место он получает 1 балл и т. д. За первое место объект получает $n - 1$ баллов. Баллы, полученные за каждый показатель, суммируются. В итоговом рэнкинге на первое место ставится объект с наибольшей суммой баллов. Упорядочение, полученное этим методом, обобщает мнения всех экспертов или значения всех показателей, учитывая мнение большинства. Многие методики Всемирного банка основываются на модели Борда. Однако очевиден их недостаток: они только сравнивают показатели и не учитывают их значения, т. е. происходит потеря информации об объектах.

Мажоритарная модель Кондорсе. Буквальное применение модели Кондорсе к рэнкингу объектов в поставленной задаче формулируется следующим образом: наилучшим называется объект i (с необходимостью единственный), который лучше любого по правилу большинства (рейтинговых показателей, при которых $a_{ik} > a_{jk}$, больше, чем показателей k , при которых $a_{ik} < a_{jk}$). Затем определяется наилучший объект из оставшихся, и таким образом строится рэнкинг.

Соревнование моделей Борда и Кондорсе суммирует известная теорема Фишберна, гласящая, что существуют профили предпочтений по определению худших или лучших показателей, при которых победитель по Кондорсе не может быть выявлен ни при какой модели подсчета баллов.

Модель Копленда. Объект получает +1 балл, если согласно большинству экспертов или показателей он лучше какого-то другого объекта, получает –1 балл, если он хуже какого-то другого объекта. Объект получает 0 баллов, если он не лучше и не хуже других. Рейтинг суммирует баллы при сравнении объекта со всеми другими. Получается, что оценка Копленда равна разности между количеством объектов, которые лучше данного объекта, и количеством объектов, которые хуже его, по мнению экспертов или по значениям показателей. Модель Копленда рекомендуется использовать, когда необходимо упорядочить мнение большинства и узнать, по сравнению со сколькими объектами, по мнению большинства, каждый объект выигрывает или проигрывает. Если в полученном упорядочении сумма баллов всех объектов равна количеству экспертов, то рейтинг каждого объекта указывает на то, сколько экспертов поставили его на первое место, и на то, что нет больших расхождений во мнениях экспертов. Если же сумма баллов всех объектов больше количества экспертов, это свидетельствует о том, что у экспертов значительное расхождение во мнениях. В этом случае оценки могут оказаться необъективными.

Модель Симпсона. Для каждой пары объектов i и j находим число u_{ij} экспертов или показателей, указывающих, что объект i лучше, чем объект j . Оценкой Симпсона $u_{ij\min}$ объекта i будем называть наименьшее из чисел $(u_{i1}, \dots, u_{in})$. Объекты размещаем в порядке убывания оценки Симпсона. В результате упорядочения происходит усреднение мнений экспертов. Эту модель рекомендуется использовать при отсутствии больших расхождений экспертов во мнениях об упорядочении объектов. Тогда модель выделяет самые лучшие объекты по мнению самых необъективных экспертов. С помощью этой модели можно обнаружить необъективность экспертов.

Модель Нэша. Объекты упорядочиваются по произведению всех своих показателей (аналог среднего геометрического без корня). Оценка 0 не учитывается. Эту модель не рекомендуется использовать при большом разбросе оценок.

В перечисленных исторических моделях все эксперты (показатели) равноправны, т. е. вес каждого из них равняется 1. Но при обработке мнений экспертов или значений показателей можно пользоваться методом упорядочения с весами экспертов или показателей, но это вопрос отдельной теории утилитарных коллективных функций.

Модель рейтинга на основе сводного рейтингового индекса (агрегация показателей)

Построение модели состоит из четырех этапов: отбора показателей, перехода к безразмерным показателям (шкалирование), агрегации показателей в сводный рейтинговый индекс, упорядочения в линейный список (рэнкинг). Рассмотрим подробнее эти этапы.

Этап 1: формулировка цели рейтинга и отбор адекватной цели рейтинговых показателей. Каждая модель рейтинга, имеющая свою цель, опирается на соответствующий набор показателей. Можно использовать немного показателей, это хорошо известно специалистам по распознаванию образов, однако определить, какие показатели существенны, трудно, поэтому на практике применяют достаточно много показателей.

Этап 2: шкалирование показателей. Этот этап представляет собой превращение показателей в безразмерные величины (баллы) путем сравнения либо с лучшим, либо со средним, либо с эталонным значением или другим способом. Шкалирование проводят по одной из формул построения композитных (в русскоязычной практике сводных) индикаторов (индексов) согласно рекомендациям ОЭСР⁶:

- ранжирование (фактически это модель Борда)

$$\bar{a}_{ij} = n - \text{Rank}_{ij}; \quad (1)$$

- сравнение с лучшим значением

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max a_{ij}}; \quad (2)$$

- решкалирование (*re-scaling*)⁷

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij} - \min a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}}; \quad (3)$$

- сравнение со средним значением

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{a_{cpij}} \text{ или } \bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij} - a_{cpij}}{a_{cpij}}; \quad (4)$$

- стандартизация

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij} - a_{cpij}}{\sigma_j}; \quad (5)$$

- квантильное шкалирование

$$\bar{a}_{ij} = \begin{cases} 25, & \text{если } a_{ij} \in 25 \% \text{ (1-й худший квантиль),} \\ 50, & \text{если } a_{ij} \in \{25 \%, 50 \%\} \text{ (2-й худший квантиль),} \\ 75, & \text{если } a_{ij} \in \{50 \%, 75 \%\} \text{ (3-й худший квантиль),} \\ 100, & \text{если } a_{ij} \in \{75 \%, 100 \%\} \text{ (4-й худший квантиль).} \end{cases} \quad (6)$$

В приведенных формулах a_{cpij} – среднее значение показателя j ; $\sigma_j = \sum_{i=1}^n (a_{ij} - a_{cpij})^2$ – дисперсия.

Выбор подходящей формулы шкалирования из (1) – (6) является непростой задачей, при этом нужно учитывать как свойства данных, так и цель построения рейтинга. Для того чтобы оценить влияние используемой формулы шкалирования на получаемые результаты, необходимо провести тесты на устойчивость рейтинга. Формула ранжирования Борда (1) применяется при большом разбросе показателей, при этом теряется информация об их значении, а используется только их отношение друг с другом. В двух наиболее часто употребляемых формулах (2) и (3) производится отображение показателей на интервал $[0, 1]$ или $[0, 100]$ в случае умножения на 100. Однако значительный выброс показателя у объекта дает ему балл 1, существенно уменьшая количество баллов у остальных и стирая их различия. Чтобы этого избежать, часто берут логарифмические значения показателей. Для динамических рейтингов важна робастность, т. е. непрерывность рейтингового индекса для каждого объекта во времени, достижение которой невозможно при использовании формул (2) и (3), так как лучший и худший показатели для следующего года изменятся. Чтобы избежать такой ситуации, берут пороговые значения для худшего и лучшего показателей на длительную перспективу. Так, в рейтинге стран по индексу человеческого развития за пороги для ожидаемой продолжительности жизни взяты 85 и 20 лет, для валового национального дохода – 100 и 75 000 долл. США.

⁶Handbook on constructing composite indicators...

⁷В решкалировании балл от 0 до 1 иногда умножают на 100, так делают, например, при построении глобального инновационного индекса GII.

Этап 3: построение рейтингового (композитного) критерия как некоторой функции свертки шкалированных показателей. Наибольшее распространение получили аддитивные или мультипликативные функции $F(i)$ в следующем виде:

$$F(i) = \sum_{j=1}^m f(\bar{a}_{ij}) \text{ или } F(i) = \prod_{j=1}^m f(\bar{a}_{ij}),$$

где f – некоторая возрастающая функция, которая выбирается из одного из следующих классов:

$$F(i) = \sum_{j=1}^n c_j a_{ij} - \text{линейная функция (взвешенное среднее) или}$$

$$F(i) = (\text{sign } q) \prod_{i=1}^m \bar{a}_{ij}^q - \text{степенная функция.}$$

В модели Нэша степенная функция имеет вид $F(i) = \prod_{j=1}^m \bar{a}_{ij}$. Очень часто берется среднее геометрическое: $F(i) = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \bar{a}_{ij}}$.

При большом разбросе показателей используют логарифмическую функцию

$$F(i) = \sum_{j=1}^n \log a_{ij} \text{ или } F(i) = \prod_{j=1}^m \log a_{ij}.$$

Если хотят увеличить разброс, используют экспоненциальную функцию

$$F(i) = (\text{sign } p) \prod_{j=1}^m e^{pa_{ij}}.$$

Можно дать простейшие рекомендации по выбору рейтинговой функции. Чаще всего из-за простоты отдается предпочтение линейной функции с обоснованием весов, которые выбираются как усреднение мнений экспертов (метод Дельфи) или математически с помощью метода главных компонент. Однако в большинстве рейтингов берут равные веса, считая показатели равнозначными.

Логарифмическую функцию рекомендуется использовать, когда оценки объектов имеют большой разброс, при применении такой функции вперед выйдут объекты с равномерными значениями показателей.

При использовании экспоненциальной функции с положительной степенью ($p > 0$) более высокие оценки сильнее влияют на результат, чем более низкие. Такую функцию хорошо использовать, когда необходимо дать преимущество резко вырвавшимся вперед по отдельным показателям объектам. Выбор значения коэффициента p зависит от величины показателей. Если показатели выражаются большими числами, то коэффициент p лучше брать ближе к 0, потому что при суммировании не будут учитываться низкие оценки. Если показатели выражаются небольшими числами, то коэффициент p рекомендуется брать равным 1 и больше, чтобы слагаемые не были слишком маленькими и рейтинги отличались друг от друга на большую величину. Для диапазона оценок от 0 до 100 удобны коэффициенты, равные 0,1.

В противоположность предыдущей функции более низкие показатели экспоненциальной функции с отрицательной степенью ($p < 0$) сильнее влияют на результат благодаря отрицательному показателю степени. Эту функцию хорошо использовать, когда нужно, чтобы более низкие показатели были тоже учтены в конечном результате. Для диапазона от 0 до 100 предлагается принимать p равным $-0,1$.

Степенную функцию с положительной степенью ($0 < q < 1$) рекомендуется применять при необходимости сгладить высокие оценки, поскольку большие числа при возведении в степень q уменьшаются в большее число раз, чем меньшие оценки, а при $q > 1$ большие оценки влияют на рейтинг сильнее, чем меньшие.

При использовании степенной функции с отрицательной степенью большие оценки при возведении в степень q уменьшаются в большее число раз, чем меньшие оценки. При подсчете рейтинга большие оценки сглаживаются сильнее, чем меньшие. Для диапазона оценок от 0 до 100 часто используется значение $q = -0,3$. Функцию рекомендуется использовать при желании сгладить высокие оценки.

Этап 4: линейное упорядочение объектов. Этот процесс осуществляется по убыванию значений рейтингового сводного индекса $F(i)$.

Главный недостаток почти всех рейтингов, построенных на основе композитного индекса, – использование единственного результирующего критерия для упорядочивания объектов. Действительное состояние объекта характеризуется множеством экономических показателей. Свести все эти показатели к одному числу (баллу), которое определяет место в рейтинге с помощью математических методов, большой проблемы не представляет. Однако проблема сравнения объектов является принципиально

многокритериальной, и поэтому любой линейный список (это хорошо знают математики) характеризуется субъективизмом и в весах отдельных показателей, и в схеме отбора самих показателей, и в функции свертки показателей. Поэтому к рейтингам, построенным в виде списков, в которых все объекты ранжированы от первого до последнего места, даже если это сделано только внутри групп однотипных объектов (больших, средних, малых), следует относиться как к мнению экспертов, составивших модель, а не как к объективной реальности. Безусловно, могут быть подобраны более адекватные реальности и менее субъективные модели. Существует простой критерий: если одни и те же объекты в разных рейтингах, составленных разными институтами по разным моделям, попадают в первые или последние десятки, то так оно и есть. Если при этом будет выявлена корреляция между действительными результатами и тем, о чем сигнализировал некоторый рейтинг, это придаст данному ранкингу вес и авторитет.

Пример 1: модель индекса человеческого развития. Данный индекс ООН рассчитывает с 1990 г. (*human development index*, HDI), берет среднее геометрическое трех шкалированных показателей: продолжительности жизни, времени обучения (текущее и ожидаемое) и валового национального дохода:

$$\text{HDI} = \left(\overline{\text{HEALTH}} \cdot \overline{\text{EDU}} \cdot \overline{\text{GNI}} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (7)$$

где HEALTH – здоровье; EDU – образование; GNI – валовый национальный доход.

Расчет индекса HDI по формулам (3) и (7) приведем на примере Беларуси:

$$\overline{\text{HEALTH}}_{\text{Беларусь}} = \frac{72,4 - 20}{85 - 20} = 0,806,$$

$$\overline{\text{EDU}}_{\text{Беларусь}} = \frac{1}{2} \left(\overline{\text{EDU}}_{\text{Беларусь}}^{\text{expected}} + \overline{\text{EDU}}_{\text{Беларусь}}^{\text{mean}} \right) = \frac{1}{2} \left(\left(\frac{15,2 - 0}{18 - 0} \right) + \left(\frac{12,1 - 0}{15 - 0} \right) \right) = 0,826,$$

$$\overline{\text{GNI}}_{\text{Беларусь}} = \frac{\ln(18,849) - \ln(100)}{\ln(75\,000) - \ln(100)} = 0,791.$$

Валовый национальный доход берется по паритету покупательной способности в долларах США 2017 г.

В результате HDI для Беларуси составляет 0,808, что соответствует 60-му месту в мире (для сравнения: HDI мирового лидера – Швейцарии – равен 0,962).

ООН вычисляет и другие композитные рейтинговые индексы: индекс неравенства в человеческом развитии, индекс гендерного развития, индекс гендерного неравенства, многомерный индекс бедности – с помощью аналогичных моделей (среднее геометрическое и шкалирование по формуле (3), но с определением экспертных весов по методу главных компонент).

Пример 2: модель ООН рейтинга стран по достижению целей устойчивого развития. Новая идея в этой модели рейтинга ООН заключается в том, что большое число показателей (93) агрегируется не сразу в сводный индекс, а сначала в 17 субиндексов, каждый из которых отвечает за одну из 17 целей развития ООН, и только затем вычисляется сводный индекс как среднее арифметическое своих субиндексов (ООН считает, что все 17 целей тысячелетия равнозначны). Шкалирование всех показателей осуществляется по формуле (3) с умножением на 100, а их свертка в субиндексы, как правило, представляет собой среднее арифметическое или среднее геометрическое. Беларусь в рейтинге 2023 г. занимает 34-е место в мире (77,5 балла), США – 39-е место, Финляндия – 1-е место.

Заметим, что такая иерархическая агрегация показателей (сначала строятся субиндексы показателей на нижнем уровне, затем сводный индекс из субиндексов на верхнем уровне) присуща большинству рейтингов, причем количество таких уровней бывает и три, и четыре.

Пример 3: рейтинг глобального инновационного развития. В век экономики знаний популярность завоевал рейтинг Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO), созданный на основе глобального инновационного индекса (*Global innovation index*, GII), ранжирующий к октябрю каждого года 132 страны мира. Новая идея в модели этого рейтинга – разбиение субиндексов, а следовательно и показателей, на две группы: input (потенциал) и output (результат), что позволяет находить рейтинг по индексу output/input, определяющему отношение результатов к потенциалу, который показывает, насколько эффективно страны используют свой инновационный потенциал. Например, Беларусь в 2022 г. оказалась на 86-м месте по потенциалу и на 63-м месте по результатам (в основном за счет ИКТ-экспорта, сложности экспортной продукции, внедрения ИСО-стандартов, производительности труда), что говорит об эффективном использовании потенциала. США по потенциалу занимает 2-е место, а по результатам – 5-е место в отличие от Китая, который пока по потенциалу находится на 21-м месте, а по результатам – на 8-м месте в мире.

Пример 4: рейтинг скорости развития процесса. Практически во всех рейтингах сравнивают текущее состояние того или иного экономического процесса в странах. При этом очень важно для прогноза будущего сравнивать скорость развития процесса, т. е. скорость догоняющей или обгоняющей мирового лидера (США) модернизации. Для оценки скорости процесса в сводном индексе необходимо агрегировать в качестве показателей индексы роста, что не требует применения процедур шкалирования. В подобных рейтингах в лидеры будут выходить страны, находящиеся на низком уровне и поэтому стремительно догоняющие мировых лидеров.

Рейтинговая модель линейных порядков

Модель линейных порядков удобно применять с помощью показателей, когда для всех объектов имеются данные об их попарном сравнении экспертами, т. е. для любых объектов i и j дано число C_{ij} , показывающее, насколько i -й объект лучше j -го, например, C_{ij} может показывать число показателей, по которым i -й объект лучше j -го. По заданной матрице $\|C_{ij}\|_{n \times n}$ необходимо найти перестановку объектов $\pi^* = (\pi_1^*, \dots, \pi_n^*)$, на которой достигается следующее равенство:

$$\sum \sum C_{\pi^*(i)\pi^*(j)} = \max_{\pi} \sum \sum C_{\pi(i)\pi(j)}. \quad (8)$$

Формула (8) – это так называемая задача линейных порядков. Чтобы ее свести к задаче дискретной оптимизации, нужно ввести следующие переменные: $x_{ij} = 1$, если в искомом порядке π объект i предшествует объекту j , и $x_{ij} = 0$ в противном случае.

Тогда задача линейных порядков (8) эквивалентна следующей задаче дискретной оптимизации:

$$\max \sum \sum C_{ij} x_{ij},$$

$$x_{ij} = 0 \text{ или } 1, \quad x_{ij} + x_{ji} = 1, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (9)$$

$$x_{ij} + x_{jk} + x_{ki} \leq 2, \quad i, j, k = 1, \dots, n. \quad (10)$$

Последняя задача решается стандартными методами дискретной оптимизации, например построения фасетных неравенств, отсекающих нецелочисленные вершины многогранника (9) и (10) [23]. Модель применялась для ранжирования белорусских банков [12] и дала хорошие результаты.

Модель свертки рейтинговых индексов

Во многих ситуациях анализа экономических процессов необходимо из нескольких рейтинговых индексов получить один, например, для расчета роста совокупной факторной производительности [25]. Простейшие модели для агрегации индексов $I_1, \dots, I_s$, переведенных в одинаковую меру от 0 до 1, имеют следующий вид:

$$I = \frac{\sum_{k=1}^s I_k}{s},$$

$$I = \sum_{k=1}^s \frac{I_k^* - I_k}{I_k^*},$$

$$I = \frac{100 \left(\sum_{k=1}^s \frac{I_k}{I_k^*} \right)}{s},$$

где I_k^* – значение у лучшей страны k -го индекса.

Модернизируем предложенную в [25] более сложную модель агрегации индексов следующим образом:

$$I = \frac{\sum_{k=1}^s \left(\frac{\ln I_k^1}{\ln I^{*1}} e^{\left(\frac{I_k^1}{I^{*1}} - \frac{I_k^0}{I^{*0}} \right)} \right)}{s},$$

где I_k^1, I_k^0 – индексы страны в двух k -х рейтингах: последнем и предыдущем.

Рейтинговая модель факторного анализа

Ранжирование на основе композитного индекса сводит показатели в один фактор. Ранжирование на основе моделей с двумя, тремя и более факторами эффективнее. Например, модель на основе двух-факторного анализа представляет объекты точками на плоскости факторов, что особенно удобно при составлении динамических рейтингов и отслеживании траектории движения объекта, так как в двух-факторной динамической модели во времени объекты-точки превращаются в траектории, указывающие, в каком направлении они движутся (рис. 1). Идеей построения моделей факторного анализа выступают выделение из многочисленных показателей некоррелированных главных факторов (главных компонент) и исключение остальных. Впрочем, существует мнение, что метод главных компонент (*principal component analysis*, PCA) слишком упрощает идеи факторного анализа.

В рейтинговой факторной модели предполагается, что известные показатели a_{ij} являются линейными функциями некоторых неизвестных нам факторов, определенных на множестве рейтингуемых объектов. Некоторые из них являются общими для нескольких показателей, а некоторые другие выступают характерными, возможно, только для одного показателя. Характерные факторы полагаются ортогональными друг другу и, следовательно, не вносящими вклад в ковариацию. Отбрасывая характерные факторы (приравнивая их к нулю), получаем следующее выражение, аппроксимирующее каждый вектор-показатель:

$$A^j = x_{j1}F_1 + \dots + x_{jp}F_p + \dots + x_{jr}F_r, \quad j = 1, \dots, m,$$

где x_{jp} – вес фактора p в показателе j ; $A^j = (a_{1j}, \dots, a_{nj})$ – вектор значений показателя j на множестве объектов.

Необходимо определить факторы и факторную матрицу $[x_{jp}]_{m \times r}$ так, чтобы они наиболее точно аппроксимировали значения вектор-показателя, при этом желательно, чтобы факторы несли в себе некий содержательный смысл. Например, в анализе экономических объектов факторами могут быть масштабность, эффективность, надежность.

Метод главных компонент применяется в три этапа.

Этап 1: построение корреляционной матрицы. Значения каждого из показателей $[a_{ij}]_{n \times m}$ считаются нормированными, т. е. среднее арифметическое каждого показателя равно 0, дисперсия равна 1. Если это условие не выполняется, то проводим нормировку

$$\bar{a}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}.$$

Сделаем замену значений показателей на их нормированные значения:

$$a_{ij} = \frac{(a_{ij} - \bar{a}_j)}{\sigma_j},$$

где $\bar{a}_j$ – среднее арифметическое показателя j ; $\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_j)^2}$ – дисперсия.

Построим ковариационную матрицу $C = A^T \times \frac{A}{n}$, затем вычислим корреляционную матрицу $R = [r_{ij}]_{m \times m}$:

$$r_{ij} = \frac{c_{ij}}{\sqrt{c_{ii}c_{jj}}}$$

– и нормируем у нее диагональ:

$$r_{ii} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_{ik}, \quad i \neq k, i = 1, \dots, n,$$

которая есть общность показателя i .

Этап 2: выделение главных факторов и факторной матрицы $[x_{jp}]_{m \times r}$. Сначала ищем коэффициенты x_{i1} при первом факторе так, чтобы достигался максимум

$$\max(x_{11}^2 + x_{21}^2 + \dots + x_{m1}^2) \quad (11)$$

при условии, что

$$\sum_{p=1}^r x_{jp}x_{kp} = r_{jk}, \quad j, k = 1, \dots, m. \quad (12)$$

Идея задачи (11), (12) – сделать среднеквадратичное отклонение максимальным. С помощью множителей Лагранжа легко доказывается, что искомый максимум является ничем иным, как максимальным собственным решением следующего уравнения:

$$\det(R - \lambda E) = 0.$$

При помощи метода вращений Якоби находим все собственные значения редуцированной матрицы R и соответствующие им собственные векторы $q_{11}, \dots, q_{n1}$. В итоге получим искомые коэффициенты при всех факторах F_p :

$$x_p = \frac{q_{j1} \sqrt{\lambda_1}}{\sqrt{q_{11}^2 + q_{21}^2 + \dots + q_{n1}^2}}.$$

Этап 3: вращение факторов. Идея этого этапа заключается в том, чтобы каждый следующий фактор сделать ортогональным предыдущим. Полученную факторную матрицу $[x_{jp}]_{m \times r}$ размерности $m \times r$ вращаем путем умножения на матрицу поворота T . Для двухфакторного анализа матрица поворота T имеет следующий вид:

$$T = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix},$$

где α – угол поворота. Оптимальное значение угла поворота α получаем путем перебора всех значений от 0 до $\frac{\pi}{2}$ с шагом $\frac{\pi}{720}$.

Окончательный поворот будет произведен на угол, при котором для преобладающих в данном факторе показателей сумма квадратов отклонений (дисперсия) от абсолютного максимума (M) должна быть минимальна:

$$\sum_{p=1}^r \sum_{j=T_p} (M_j - a_j)^2 \rightarrow \min,$$

здесь T_p – множество показателей, которые должны нести в p -м факторе основную нагрузку.

Умножив справа факторную матрицу $X = [x_{jp}]_{m \times r}$ на T , получим окончательную матрицу, показывающую расположение объектов в полученных факторах $F_1, \dots, F_r$.

Экономисты не обязаны знать все тонкости рейтинговой модели факторного анализа, они могут воспользоваться программами в *SPSS* или *STATISTICA*. Здесь модельные нюансы приведены для лучшего понимания роли факторов, иногда их называют главными компонентами.

В двух- или трехфакторных моделях объекты удобно разбивать на классы, указывая интервалы значений для классов по каждому фактору. Например, объект попадает в класс A , если фактор масштабности находится в интервале $[a, b]$, если меньше a , то это класс A^- , если больше, то это класс A^+ (рис. 1). Таким образом, в 1999 г. объект (страна) попадает в класс (A, B^-) , хотя в 1994 г. был в классе (A^-, B^+) .

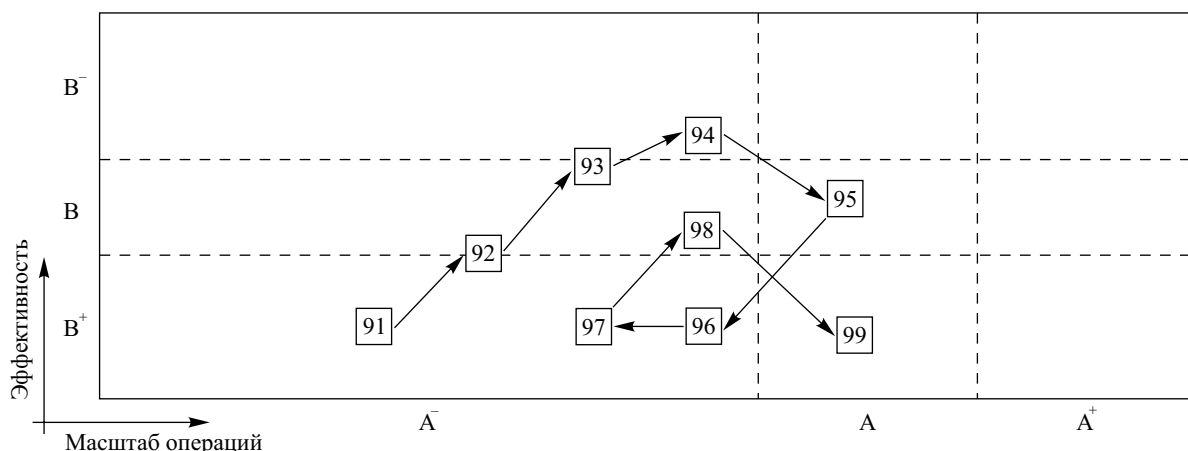


Рис. 1. Динамика развития объекта в двухфакторном пространстве масштабность – эффективность

Fig. 1. The dynamics of the development of an object in a two-factor space scale – efficiency

Под масштабностью понимается доля страны в мировом ВВП по ППС, в мировом населении и мировом экспорте, а под эффективностью – ВВП на жителя, продолжительность жизни, энергоёмкость ВВП, коэффициент Джини.

Рейтинговая модель кластер-анализа

Рейтинговые модели, основанные на разделении однотипных объектов на кластеры (группы), являются основным инструментом работы международных рейтинговых агентств, которые определяют место государств, банков, предприятий в международных рейтингах путем отнесения к определенному кластеру.

В рейтинговой модели кластер-анализа сначала отбираются рейтинговые показатели и каждый объект представляется в m -мерном метрическом пространстве, определяющемся некоторой метрикой (евклидовой, Минковского, Чебышева и др.). Далее с помощью одного из методов кластер-анализа объекты группируются в несколько однотипных кластеров. Точнее, ведется поиск наилучшей группировки (кластеризация) объектов в пространстве отобранных рейтинговых показателей. Количество таких множеств (кластеров) и их содержательный смысл могут быть либо заданы заранее, либо получиться автоматически. Рейтинговые модели кластер-анализа бывают двух классов: разделяющие и агломеративные (объединяющие). Их различие состоит в том, что в моделях первого класса все объекты объединяются сначала в один кластер, а потом пошагово делятся, а в моделях второго класса кластеры сначала столько же, сколько и объектов, и они пошагово объединяются.

Объединяющие модели кластер-анализа. Каждый объект i рассматривается как m -мерный вектор $A_i = (a_{i1}, \dots, a_{im})$ его показателей. Все объекты дают n точек в m -мерном метрическом пространстве, и их необходимо разбить на заданное число кластеров максимально близко расположенных точек.

При построении этой модели все объекты рассматриваются как совокупность одноэлементных кластеров. Из них выбираются два объекта, которые в смысле некоторой меры близости наиболее близки друг к другу, и объединяются в один кластер. Новая совокупность кластеров содержит на один кластер меньше. С помощью повторения процесса получающаяся совокупность кластеров сводится к требуемому количеству кластеров, каждый из которых содержит близкие объекты.

В качестве меры близости кластеров может применяться, например, расстояние между их центрами. Изначально матрица расстояний $D = \{d_{ij}^2\}$, где d_{ij} есть дисперсия между вектор-показателями объектов i и j , содержит n строк и n столбцов. После объединения двух кластеров в новый кластер матрицу расстояний необходимо пересчитать. Теперь эта матрица содержит на одну строку и на один столбец меньше. Пересчитывать необходимо лишь одну строку и один столбец для объединяемых кластеров, поскольку остальные элементы не изменятся. Вычисления можно свести к минимуму, выразив эти новые элементы через элементы старой матрицы расстояний. При этом вариативные модели могут использоваться из-за разных мер близости двух кластеров.

В модели максимального локального расстояния два кластера объединяются, если максимальное расстояние между точками одного кластера и точками другого минимально.

Модель минимального локального расстояния аналогична предыдущей, но с точностью до наоборот. Эта модель склонна создавать крупные кластеры.

В модели Уорда в качестве функции расстояния применяется внутригрупповая сумма квадратов отклонений, которая является суммой квадратов расстояний между каждым объектом и средним объектом в кластере. На каждом шаге объединяются такие два кластера, которые приводят к минимальному увеличению внутригрупповой суммы квадратов расстояний.

В центроидной модели близость кластеров определяется как расстояние между их центрами.

В модели групповых средних два кластера объединяются, если их среднее сходство максимально среди прочих. Среднее сходство между кластерами определяется как среднее сходство между всеми парами объектов из соответствующих кластеров.

Приведем рекурсивную схему, интегрирующую различные модели кластер-анализа за счет разных способов перерасчета расстояний.

Квадрат расстояния (дисперсия) между объектами i и j определяется по следующей формуле:

$$d_{ij}^2 = (A_i - A_j)^T (A_i - A_j).$$

Сначала необходимо найти два кластера p и q , расстояние (дисперсия) между которыми минимально:

$$d_{pq}^2 = \min \{d_{ij}^2\}, \quad i = 1, \dots, j-1, \quad j = 2, \dots, n, \quad n_i > 0, \quad n_j > 0.$$

Затем кластер p объединяется с кластером q . Мера близости при этом увеличивается на величину, рассчитываемую по формуле

$$W_{pq} = \frac{1}{2} d_{pq}^2.$$

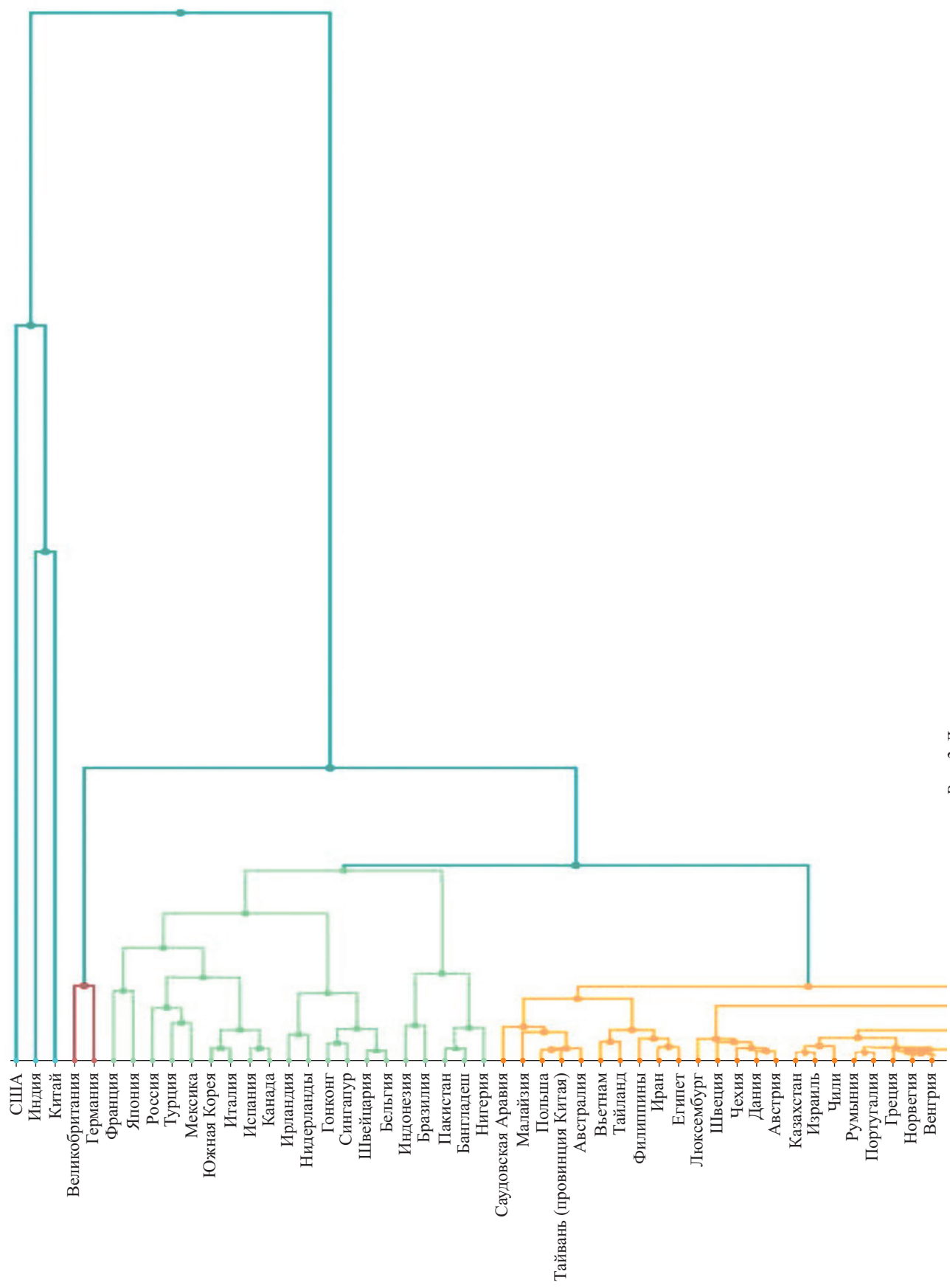


Рис. 2. Дендрограмма кластер-анализа стран мира
Fig. 2. Dendrogram of cluster analysis of countries

Далее строка и столбец, соответствующие новому кластеру h , пересчитываются по следующей формуле:

$$d_{hk}^2 = \alpha_i d_{hi}^2 + \alpha_j d_{hj}^2 + \beta d_{ij}^2 + \gamma |d_{hi}^2 - d_{hj}^2|,$$

где значения параметров α , β , γ соответствуют каждой модели и имеют следующие значения: $\alpha_i = \alpha_j = \frac{1}{2}$, $\beta = 0$, $\gamma = -\frac{1}{2}$ (для модели минимальных локальных расстояний); $\alpha_i = \alpha_j = \frac{1}{2}$, $\beta = 0$, $\gamma = \frac{1}{2}$ (для модели максимальных локальных расстояний); $\alpha_i = \alpha_j = \frac{1}{2}$, $\beta = \frac{1}{4}$, $\gamma = 0$ (для модели медиан); $\alpha_i = \frac{n_i}{n_k}$, $\alpha_j = \frac{n_j}{n_k}$, $\beta = \gamma = 0$ (для модели средних групп); $\alpha_i = \frac{n_i}{n_k}$, $\alpha_j = \frac{n_j}{n_k}$, $\beta = -a_i a_j$, $\gamma = 0$ (для центроидной модели); $\alpha_i = \frac{(n_h + n_i)}{(n_h + n_k)}$, $\alpha_j = \frac{(n_h + n_j)}{(n_h + n_k)}$, $\beta = -\frac{n_h}{(n_h + n_k)}$, $\gamma = 0$ (для модели Уорда).

Наконец, возвращаемся к вычислению квадратов кластеров и повторяем процедуру до тех пор, пока не получим требуемое количество кластеров, например три: объекты с высокими показателями (класс А), объекты со средними показателями (класс В) и объекты с низкими показателями (класс С).

Пример 5: кластеризация государств по модели Уорда. Развитие каждого государства характеризуется тремя показателями: долей в мировом ВВП по ППС, долей в населении и долей в торговле. Фрагмент дендрограммы, построенной по матрице мер близости всех стран мира, представлен на рис. 2.

Модель выделила пять кластеров государств (и их объединений): сверхзначимые, или супербольшие (Китай, США, ЕС, Индия), значимые, или большие (Великобритания, Германия, Франция, Япония, Россия, Турция, Мексика, Корея, Италия, Испания, Канада, Ирландия, Нидерланды), среднезначимые, или средние (Польша и др.), малозначимые, или малые (Беларусь, Израиль и др.), микроразличимые (Литва, Латвия, Эстония и др.).

Рейтинговая модель оптимизационного разбиения на классы

Число классов заранее не определяется. С каждым показателем k сопоставляется некоторое бинарное отношение R_k , которое характеризует похожесть объектов i и j по показателю k . Обычно $R_k = \{(i, j) : |a_{ik} - a_{jk}| \leq e_k\}$, где e_k есть заданная вариация значений показателя k (если объекты i и j имеют различия в показателе k не более e_k , то считается, что они схожи по этому показателю). Заметим, что R_k может быть мнением эксперта по вопросу отнесения объектов к одному классу. Искомое разбиение объектов на непересекающиеся классы однотипных объектов представляет собой нечто иное, как отношение эквивалентности R на всем множестве объектов. Искомые классы определены отношением эквивалентности R . Для определения наилучшей группировки необходимо сравнить искомое отношение эквивалентности R с каждым из бинарных отношений R_k , т. е. подсчитать количество рассогласований между R и R_k :

$$|R \Delta R_k| = \{(i, j) / (i, j) \in R \text{ и } (i, j) \notin R_k \text{ или } (i, j) \notin R \text{ и } (i, j) \in R_k\}.$$

Также нужно просуммировать количество рассогласований по отношениям R_k для всех показателей k и найти оптимальное отношение эквивалентности R^* , на котором достигается $\min \sum_{k=1}^m |R \Delta R_k|$, где $|R, R_k|$ – выбранная метрика, например число рассогласований.

Сформулированная задача с нефиксированным числом классов сводится к задаче булевой линейной оптимизации, для чего каждое бинарное отношение R_k , R на множестве объектов представляется с помощью булевой матрицы следующим образом: для каждого k , $1 \leq k \leq m$, и для каждой пары объектов (i, j) пусть

$$r_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1, & \text{если } (i, j) \in R_k, \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin R_k, \end{cases} \quad r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } (i, j) \in R, \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin R. \end{cases}$$

Нелинейную целевую функцию $\sum_{k=1}^m |R \Delta R_k|$ можно линеаризовать, а требования к искомому отношению эквивалентности R (рефлексивность, симметричность и транзитивность) выразить с помощью линейных неравенств, исключив часть переменных r_{ij} , в силу того что $r_{ij} = r_{ji}$ (порядок i и j несуществен,

так что можно считать $i < j$), и определить новые веса $w_{ij} = c_{ij} + c_{ji}$. В результате возникает следующая задача линейной булевой оптимизации поиска матрицы $\begin{bmatrix} x_{ij} \end{bmatrix}_{n \times n}$, определяющей оптимальное отношение эквивалентности R :

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_{ij},$$

при условиях, что

$$\begin{aligned} x_{ij} + x_{jk} - x_{ik} &\leq 1, 1 \leq i < j < k \leq n, \\ x_{ij} - x_{jk} + x_{ik} &\leq 1, 1 \leq i < j < k \leq n, \\ -x_{ij} + x_{jk} + x_{ik} &\leq 1, 1 \leq i < j < k \leq n, \\ x_{ij} &\in \{0, 1\}, 1 \leq i < j \leq n. \end{aligned}$$

Результатом решения последней задачи является разбиение множества объектов на классы, которые объединяют близкие друг другу объекты. Эксперты анализируют полученный результат и определяют названия классов.

Этой модели можно дать графовую интерпретацию, если все объекты представить вершинами полного n -вершинного графа, ребра которого взвешены числами w_{ij} . В таком случае задача кластеризации объектов сводится к задаче разбиения на клики полного графа со взвешенными ребрами, а $\begin{bmatrix} x_{ij} \end{bmatrix}$ является их матрицей инцидентности.

Когда число классов фиксировано, возникает задача разбиения взвешенного полного графа на заданное число однородных клик, это значит, что сумма ребер с обоими концами в клике должна быть минимальна по всем кликам.

Рейтинговая модель оболочечного анализа данных

Модели оболочечного анализа данных (*data envelopment analysis*, DEA), предложенные специалистами по теории принятия решений А. Чарнсом, В. Купером и Е. Родом еще в 1978 г. [26], широко применяются в экономическом анализе эффективности работы объектов, в том числе и для их рейтингования, например, в [12] она использовалась для составления рейтинга белорусских банков.

Основная идея рейтинговых моделей оболочечного типа состоит в разбиении на две группы (*output* (выход – результаты), например объемы выпуска, и *input* (вход – ресурсы), например затраты и последующее определение эффективности работы каждого объекта) всех показателей, характеризующих объекты как отношение свертки выходных показателей к свертке входных с неизвестными агрегирующими коэффициентами для выхода ($u_1, \dots, u$) и для входа ($v_1, \dots, v$), которые определяются как решение задач максимизации эффективности для каждого i -го объекта следующего вида:

$$\max \theta_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} u_j a_{ij}}{\sum_{j=n_1+1}^m v_j a_{ij}}. \quad (13)$$

Далее рейтинг объектов строится в порядке убывания эффективностей θ_i по преобразованию входов в выходы.

Задача (13) легко линеаризуется и решается стандартными программами линейного программирования.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. Популярность рейтингов и их широкое применение для сравнительного анализа процессов экономического, социального, инновационного, промышленного, экономического развития и конкуренции стран, регионов, интеграционных объединений, организаций требуют понимания математической модели рейтинга, которое позволит более полно выявлять глубинные причины низких или высоких позиций в рейтингах и указывать механизмы улучшения положения в них.

2. Для многих важных экономических процессов рейтинги составляют разные исследовательские центры, и, разумеется, результаты этих рейтингов не совпадают, хотя, как правило, коррелируют. Чтобы прояснить ситуацию, полезно составлять консенсус-рейтинг как агрегацию мест или лучших рейтинговых композитных индексов. Для их агрегации можно применять все модели, описанные в статье. Иногда,

когда рейтингов с разным количеством стран много, как, например, при измерении степени глобализации или продвижения к цифровой экономике, применяют специальные методики консенсус-рейтингов, как, например, в [27; 28], модели свертки рейтингов глобализации и цифровизации и связь между ними. Проблема консенсус-рейтингов является особо важной для инвестиционных и кредитных рейтингов и поэтому широко изучается отдельно [29]. В России, например, создан агрегатор независимых оценок качества предметного образования в вузах России, где по правилу Борда агрегируются места, затем вузы кластеризуются в лиги в зависимости от суммы баллов Борда (Национальный агрегированный рейтинг). Хотя мы считаем, что эта проблема полностью аналогична проблеме рейтинга, где показатели – это места или композитные индексы в отдельных рейтингах.

3. Большинство рейтингов стран учитывают достигнутые показатели процесса, однако политиков больше интересует скорость в догоняющем развитии. Существует очень мало рейтингов, которые агрегировали бы индексы роста показателей, т. е. таких рейтингов, где все показатели измерялись бы одной шкалой, соответственно, отпала бы необходимость их предварительного шкалирования.

Библиографические ссылки

1. Borda JC. *Mémoire sur les elections au scrutiny. Histoire de l'Academie Royale des Sciences*. Paris: [s. n.]; 1781.
2. Condorcet M. *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des decisions rendue à la pluralité de voix*. Paris: Imprimerie royale; 1784. 304 p.
3. Мулен Э. *Кооперативное принятие решений: аксиомы и модели*. Москва: Мир; 1991. 464 с.
4. Нуреев РМ. *Теория общественного выбора*. Москва: Издательский дом ВШЭ; 2005. 531 с.
5. Эрроу КД. *Коллективный выбор и индивидуальные ценности*. Москва: Издательский дом ВШЭ; 2004. 204 с.
6. Сен А. *Идея справедливости*. Москва: Издательство Института экономической политики имени Е. Т. Гайдара; 2016. 520 с.
7. Mazziotta M, Pareto A. Methods for constructing composite indices: one for all or all for one. *Rivista Italiana di Economia Demografica e Statistica*. 2013;LXVII(2):67–80.
8. Greco S, Isshizako A, Tasion M, Torrisi G. On the methodological framework of composite indices: a review of the issues of weighting, aggregation and robustness. *Social Indicators Research*. 2019;141:61–94.
9. Горбач АВ, Ковалёв ММ. Как определяются международные рейтинги государств. *Вестник Ассоциации белорусских банков*. 2000;33:13–19.
10. Ковалёв ММ, Новик ВВ. Факторы, влияющие на экономический рост, конкурентоспособность и страновые рейтинги. В: Коваль ММ, редактор. *Вопросы внешней политики Республики Беларусь*. Минск: БГУ; 2001. с. 68–117.
11. Ковалёв ММ, Шибек ИТ. Методики расчета банковских рейтингов. *Банковский вестник*. 1999;8:30–39.
12. Ковалёв ММ, Господарик ЕГ. *Банковская аналитика*. Минск: Издательский центр БГУ; 2020. 458 с.
13. Ковалёв М, Петрик О. Рейтинг информационных сайтов белорусских банков. *Вестник Ассоциации белорусских банков*. 2003;45:25–31.
14. Ковалёв ММ, Шашко АА. Инвестиционный рейтинг основных городов Беларуси. *Белорусский банковский бюллетень*. 2003;19:36–44.
15. Ковалёв ММ, Шашко АА. Малое предпринимательство в Беларуси: рейтинг развития МП в регионах. *Вестник Ассоциации белорусских банков*. 2004;28:16–34.
16. Ковалёв ММ, Шашко АА. Развитие инновационного потенциала Республики Беларусь: инновационный рейтинг областей и г. Минска. *Вестник Ассоциации белорусских банков*. 2004;38–39:24–32.
17. Girlich E, Kovalev MM, Kozulin AV. *Ranking: theorie and praxis*. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität; 2001. 24 S.
18. Ковалёв ММ, Гедранович АБ. Международные рейтинги университетов. *Высэйшая школа*. 2007;1:12–15.
19. Ковалёв ММ, Листопад НИ, Миннюкович ЕА. Сайт – зеркало вуза и инструмент маркетинговой политики. *Высэйшая школа*. 2011;3:58–60.
20. Ковалёв ММ, Гедранович АБ, Миннюкович ЕА. Белорусский опыт рейтингования вузов. В: *Система рейтинга вузов: национальная и мировая практика. Материалы Международного научно-практического семинара; 19–20 марта 2010 г.; Алма-Ата, Казахстан*. Алма-Ата: КазНТУ имени К. И. Сатпаева; 2010. с. 41–52.
21. Ковалёв ММ, Листопад НИ, Миннюкович ЕА. Вебметрический рейтинг университетов. *Информатизация образования*. 2009;2:63–73.
22. Ковалёв ММ, Курбачкий АН, Листопад НИ. Экспертная система анализа тендерных предложений компьютерного оборудования и софтвера. *Информатизация образования*. 1997;1:68–92.
23. Федотов ЮВ, Ховамов НВ. *Методы построения сводных оценок эффективности деятельности сложных производственных систем*. Санкт-Петербург: НИИ менеджмента Санкт-Петербургского университета; 2006. 33 с.
24. Жгун ТВ. Алгоритмы построения интегрального индикатора качества сложной системы для ряда последовательных наблюдений. *Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика*. 2017;6(1):5–25. DOI: 10.14529/cmse170101.
25. Головенчик ГГ, Ковалёв ММ. *Цифровая экономика*. Минск: Издательский центр БГУ; 2019. 395 с.
26. Charnes A, Cooper W, Rhodes E. Measuring the effectiveness of decision-making units. *European Journal of Operational Research*. 1978;2(6):429–444.
27. Bolotashvili G, Kovalev M, Girlich E. New facets of the linear ordering polytope. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*. 1999;12(3):326–336.
28. Головенчик ГГ. *Цифровизация белорусской экономики в современных условиях глобализации*. Минск: Издательский центр БГУ; 2019. 257 с.
29. Буздалин АВ, Заночкин АЮ, Курбангалеев МЗ, Смирнов СН. Агрегация кредитных рейтингов как задача построения консенсуса в системе экспертных оценок. *Глобальные рынки и финансовый инжиниринг*. 2017;4(3):181–207. DOI: 10.18334/grfi.4.3.38830.

References

1. Borda JC. *Mémoire sur les elections au scrutiny. Histoire de l'Academie Royale des Sciences*. Paris: [s. n.]; 1781.
2. Condorcet M. *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des decisions rendue à la pluralité de voix*. Paris: Imprimerie royale; 1784. 304 p.
3. Moulin H. *Kooperativnoe prinyatie reshenii: aksiomy i modeli* [Cooperative decision making: axioms and models]. Moscow: Mir; 1991. 464 p. Russian.
4. Nureev RM. *Teoriya obshchestvennogo vybora* [The theory of collective choice]. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics; 2005. 531 p. Russian.
5. Arrow KD. *Kollektivnyi vybor i individual'nye tsennosti* [Collective choice and individual values]. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics; 2004. 204 p. Russian.
6. Sen A. *Ideya spravedlivosti* [The idea of fairness]. Moscow: Publishing House of the Gaidar Institute for Economic Policy; 2016. 520 p. Russian.
7. Mazziotto M, Pareto A. Methods for constructing composite indices: one for all or all for one. *Rivista italiana di Economia Demografica e Statistica*. 2013;LXVII(2):67–80.
8. Greco S, Isshizako A, Tasion M, Torrisi G. On the methodological framework of composite indices: a review of the issues of weighting, aggregation and robustness. *Social Indicators Research*. 2019;141:61–94.
9. Gorbach AV, Kovalev MM. [How are international ratings of states determined]. *Vestnik Assotsiatsii belorusskikh bankov*. 2000;33:13–19. Russian.
10. Kovalev MM, Novik VV. [Factors influencing economic growth, competitiveness and country rankings]. In: Kovalev MM, editor. *Voprosy vneshnei politiki Respubliki Belarus'* [Foreign policy issues of the Republic of Belarus]. Minsk: Belarusian State University; 2001. p. 68–117. Russian.
11. Kovalev MM, Shibeko IT. [Methods of calculating of bank ratings]. *Bankovskii vestnik*. 1999;8:30–39. Russian.
12. Kovalev MM, Gospodarik EG. *Bankovskaya analitika* [Bank analytics]. Minsk: Publishing House of the Belarusian State University; 2020. 458 p. Russian.
13. Kovalev M, Petrik O. [Information sites rating of Belarusian banks]. *Vestnik Assotsiatsii belorusskikh bankov*. 2003;45:25–31. Russian.
14. Kovalev MM, Shashko AA. [Investment rating of the main cities of Belarus]. *Belorusskii bankovskii byulleten'*. 2003;19:36–44. Russian.
15. Kovalev MM, Shashko AA. [Small business in Belarus: ranking of small business development in the regions]. *Vestnik Assotsiatsii belorusskikh bankov*. 2004;28:16–34. Russian.
16. Kovalev MM, Shashko AA. [Development of the innovative potential of the Republic of Belarus: innovation rating of regions and Minsk]. *Vestnik Assotsiatsii belorusskikh bankov*. 2004;38–39:24–32. Russian.
17. Girlich E, Kovalev MM, Kozulin AV. *Ranking: theorie and praxis*. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität; 2001. 24 S.
18. Kovalev MM, Gedranovich AB. [International ratings of universities]. *Vyshhejschaya shkola*. 2007;1:12–15. Russian.
19. Kovalev MM, Listopad NI, Mimnyukovich EA. [Site is a mirror of university and marketing politics instrument]. *Vyshhejschaya shkola*. 2011;3:58–60. Russian.
20. Kovalev MM, Gedranovich AB, Minyukovich EA. [Belarusian experience of universities ranking]. In: *Sistema reitinga vuzov: natsional'naya i mirovaya praktika. Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar; 19–20 marta 2010 g.; Alma-Ata, Kazakhstan* [The system of universities rating: national and world practice. Materials of the International scientific and practice seminar; 2010 March 19–20; Alma-Ata, Kazakhstan]. Alma-Ata: Satbayev University; 2010. p. 41–52. Russian.
21. Kovalev MM, Listopad NI, Minyukovich EA. [Webometric universities rating]. *Informatizatsiya obrazovaniya*. 2009;2:63–73. Russian.
22. Kovalev MM, Kurbatskii AN, Listopad NI. [Expert system for analysing tender proposals for computer equipment and software]. *Informatizatsiya obrazovaniya*. 1997;1:68–92. Russian.
23. Fedotov YuV, Khovamov NV. *Metody postroeniya svodnykh otsenok effektivnosti deyatel'nosti slozhnykh proizvodstvennykh system* [Methods for constructing summary assessments of the efficiency of complex production systems]. Saint Petersburg: NII menedzhmenta Sankt-Peterburgskogo universiteta; 2006. 33 p. Russian.
24. Zhgun TV. An algorithm for constructing integral quality indicator of complex systems for a sequence of observations. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Software Engineering*. 2017;6(1):5–25. Russian. DOI: 10.14529/cmse170101.
25. Colovenchik GG, Kovalev MM. *Tsifrovaya ekonomika* [Digital economy]. Minsk: Publishing House of the Belarusian State University; 2019. 395 p. Russian.
26. Charnes A, Cooper W, Rhodes E. Measuring the effectiveness of decision-making units. *European Journal of Operational Research*. 1978;2(6):429–444.
27. Bolotashvili G, Kovalev M, Girlich E. New facets of the linear ordering polytope. *SIAM Journal on Discrete Mathematics*. 1999;12(3):326–336.
28. Golovenchik GG. *Tsifrovizatsiya belorusskoi ekonomiki v sovremennykh usloviyakh globalizatsii* [Digitalisation of Belarusian economics in the contemporary conditions of globalisation]. Minsk: Publishing House of the Belarusian State University; 2019. 257 p. Russian.
29. Buzdalin AV, Zanozhkin AYU, Kurbangaleev MZ, Smirnov SN. Aggregation of credit ratings as a task of building consensus in the system of expert assessments. *Global Markets and Financial Engineering*. 2017;4(3):181–207. Russian. DOI: 10.18334/grfi.4.3.38830.

Статья поступила в редакцию 15.10.2023.
Received by editorial board 15.10.2023.

СЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ k КОММИВОЯЖЕРОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ДОСТАВКИ

С. Р. ДУТИН¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Строится сетевая модель задачи k коммивояжеров для оптимизации маршрутов доставки в электронной торговле. Предлагаются приближенные и точные методы поиска оптимальных или квазиоптимальных маршрутов для данной модели. Задача маршрутизации доставки имеет важное практическое значение в связи с быстрым ростом электронной торговли и является недостаточно исследованной ввиду ее новизны.

Ключевые слова: логистика электронной торговли; задача k коммивояжеров; метод ветвей и границ; муравьиный алгоритм; жадный алгоритм; кластерный алгоритм.

NETWORK MODEL AND METHODS FOR SOLVING THE k TRAVELLING SALESMAN PROBLEM FOR OPTIMISATION OF DELIVERY ROUTES

S. R. DUTIN^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

The article formulates a network model of the k travelling salesman problem for optimisation of delivery routes in electronic commerce. Approximate and exact methods of searching for optimal or quasi-optimal routes are proposed for the constructed model. The task of routing delivery is of great practical importance due to the rapid growth of e-commerce and it has not been sufficiently investigated due to the novelty.

Keywords: e-commerce logistics; k travelling salesman problem; branch and boundary method; ant algorithm; greedy algorithm; cluster algorithm.

Введение

Стремительный рост электронной торговли обусловил появление нового сектора транспортной логистики – доставки товаров со складов покупателям. Многие прогнозируют исчезновение в будущем традиционных супермаркетов (особенно продовольственных) и их замену цифровой торговлей и цифровой логистикой доставки. Покупатель будет выбирать товары не в магазине, а на цифровом

Образец цитирования:

Дутин СР. Сетевая модель и методы решения задачи k коммивояжеров для оптимизации маршрутов доставки. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023;2:20–24.
EDN: PQHBZW

For citation:

Dutin SR. Network model and methods for solving the k travelling salesman problem for optimisation of delivery routes. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023; 2:20–24. Russian.
EDN: PQHBZW

Автор:

Сергей Русланович Дутин – аспирант кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета. Научный руководитель – кандидат физико-математических наук А. А. Королёва.

Author:

Sergey R. Dutin, postgraduate student at the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics.
sergei.dutin@gmail.com

маркетплейсе, а затем службы доставки будут развозить заказы десяткам тысяч клиентов. Создатели платформы «Яндекс.Маршрутизация» заверяют, что алгоритм маршрутизации уже поддерживает 40 тыс. заказов в день и что работы по совершенствованию алгоритма продолжаются. Поэтому исследование новых моделей и алгоритмов маршрутизации является весьма актуальной научной проблемой. На сайтах многих компаний электронной доставки размещены объявления о поиске разработчика алгоритма маршрутизации, что свидетельствует и о высокой практической значимости проблемы.

Цель настоящей статьи – построить модели и разработать методы составления оптимальных планов доставки продукции (без опозданий), т. е. определить маршруты для каждого из k курьеров-водителей на каждый фиксированный отрезок времени, в течение которого заказ должен быть выполнен.

Теоретические основы

Базовая модель задач маршрутизации – это сетевая модель задачи k коммивояжеров с различными дополнительными условиями, восходящая к классической задаче коммивояжера (*travelling salesman problem*) – составлению кратчайшего маршрута объезда n городов по одному разу с возвратом в исходный пункт с известной матрицей расстояний между каждым из них (первая публикация задачи содержится в [1], детальное изложение многих результатов – в [2]). Задача коммивояжера имеет n возможных маршрутов и относится к классу так называемых NP-трудных, для которых нет эффективных (полиномиальных) алгоритмов решения. В 2000 г. Математический институт Клэя назвал задачу коммивояжера в числе семи математических проблем тысячелетия. Еще более трудной является задача k коммивояжеров, тем не менее для практического решения небольших задач построены достаточно эффективные переборные алгоритмы типа метода ветвей и границ (их обзор содержится, например, в [3]). В последнее время интерес к задаче k коммивояжеров возрос в связи с необходимостью оптимального управления службами доставки [4–7]. Поэтому возникла необходимость в построении современной модели, адекватной геолокационным технологиям работы транспортных фирм по доставке (имеется в виду конечная доставка клиентам, разбросанным на карте города). Задачи снабжения даркстортов товарами также имеют близкое содержание.

Кроме того, иногда задача доставки усложняется возрастанием объема грузов и ограниченностью объема автомобиля, т. е. при анализе каждого маршрута нужно еще учитывать задачу об упаковке рюкзака (методы ее решения содержатся в [3]). Оптимизация маршрутов доставки дает значительный экономический эффект (достаточно сравнить, сколько доставок совершает машина в требуемый отрезок времени: 22 или 25).

Определенный простейший эвристический софт маршрутизации доставки на рынке имеется, это *АНТОР* – программа оптимальной сортировки (порядка) обслуживания клиентов в уже готовый список для одного курьера¹, программы *API Яндекс* и *Google* для геокодирования и геолокации и программа *diaspar*, которая якобы дает оптимальный маршрут. Программа доставки *Relog*, учитывающая грузогабаритные характеристики машин и товаров, график водителя, оснащенность автомобиля, также позволяет уложиться во временные рамки доставки.

Сетевая модель оптимальной маршрутизации доставки (современная задача k коммивояжеров)

Крупный маркетплейс, осуществляющий доставку покупателям, может иметь несколько складов. В этом случае возникает задача кластеризации улиц города, т. е. их прикрепления к складам, каждый из которых за определенный квант времени должен с помощью своего парка из k курьеров (машин) выполнить n тысяч заказов.

Для достижения такой цели возможно сократить время доставок, оптимизировать их суммарное время, уменьшить общую дистанцию, проезжаемую всем автопарком. Главное ограничение в данном случае – это жесткие временные рамки доставки.

Итак, на каждый период времени доставки (например, у сети «Евроопт» он составляет 3 ч) даны примерно 15–20 клиентов на каждого из полусотни курьеров и граф (сеть) $G = (V, E)$, каждая вершина которого – это точка доставки на этот период, а каждое ребро между точками доставки дублируется схемой дорог с заданным средним временем перемещения t_{ij} от вершины i (клиент) до вершины j графа G (причем к t_{ij} добавлено время t_j обслуживания клиента j). Необходимо покрыть все вершины графа G маршрутами k курьеров-водителей (прикрепить к ним клиентов) так, чтобы суммарное время в пути, а это значит и дистанция (расход топлива), было минимальным.

¹См.: Операционная система предприятия реального времени [Электронный ресурс]. URL: diasparbusiness.com (дата обращения: 24.10.2023).

Сформулируем поставленную задачу оптимальной маршрутизации в форме задачи дискретной булевой оптимизации [3]:

$$\min \sum_{(i,j) \in E} t_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = \sum_{j=2}^n x_{j1} \leq k, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = 1, \dots, n, \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$u_i + (L - 2)x_{1i} - x_{i1} \leq L - (-1), i = 2, \dots, n, \quad (4)$$

$$u_i + x_{ii} + (2 - N)x_{11} \geq 2, i = 2, \dots, n, \quad (5)$$

$$x_{1i} + x_{i1} \leq 2, i = 2, \dots, n, \quad (6)$$

$$u_i - u_j + Lx_{ij} + (L - 2)x_{ji} \leq L - 1, 2 \leq i \neq j \leq n, \quad (7)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ или } 1(ij) \in E, \quad (8)$$

где $x_{ij} = 1$, если водитель посещает клиентов i и j ; u_i – число клиентов, посещенных от склада u_0 до вершины клиента i , равное единице; L и N – максимальное и минимальное число клиентов, которое может (должен) посетить один водитель.

Целевая функция минимизирует суммарное время в пути всех водителей. Условие (2) гарантирует, что все k водителей начинают и заканчивают путь на складе. Равенства (3) гарантируют, что все клиенты будут обслужены. Условия (4), (5) налагают ограничения по клиентам на каждого водителя. Ограничение (6) показывает, что водитель, приехавший к клиенту, уедет и не посетит его вторично.

Отличия сформулированной сетевой задачи маршрутизации от классической задачи k коммивояжеров заключаются в следующем:

- 1) отсутствии требования непересечения маршрутов двух коммивояжеров (водителей);
- 2) наличии ограничения на длину маршрута каждого коммивояжера: она не должна превышать время обслуживания (чаще всего оно составляет 3 ч), что задается с помощью ограничений (4), (5) либо их обобщений с учетом времени нахождения в пути.

Задача (1)–(8) может решаться стандартными программами для задач булевой оптимизации.

Основной учитываемый показатель – время в пути t_{ij} на каждом отрезке (i, j) маршрута со складом до 1-го клиента, от 1-го до 2-го клиента и т. д. Для построения возможных маршрутов следует использовать картографические сервисы (типа навигатора «Яндекс»), по их картам можно определить границы, минимальное и максимальное время доставки (по историческим данным). Необходимо также учитывать сервисное время t_j , т. е. время вручения заказа и выполнения платежной операции.

Метод ветвей и границ

Сформулированная задача есть своеобразная модель k коммивояжеров. Перебрать вручную все варианты возможных комбинаций маршрутов и включения в них клиентов невозможно. Основной метод точного решения сформулированной задачи – это метод ветвей и границ, который заключается в частичном переборе возможных вариантов закрепления клиентов за водителями и исключении подмножеств, содержащих решения хуже уже имеющегося рекордного, которое строится каким-нибудь приближенным алгоритмом.

Оценка для подмножеств, получаемых в процессе ветвления, вычисляется как длина минимального остовного дерева на своем подмножестве клиентов либо как сумма минимальных элементов в строке и после вычитания в столбце, причем всякий раз берется подматрица матрицы расстояний для нефиксированных вершин.

Жадный алгоритм маршрутизации

Жадный (*greedy*) алгоритм маршрутизации был впервые использован при поставках грузов в армии Наполеона главным интендантом Г. Монжем, ставшим впоследствии известным математиком, и позже

получил широкое распространение и оценку точности [8]. Его суть заключается в следующем: на каждом шаге, начиная со склада v_0 , выбирается самая близкая к текущему положению 1-го автомобиля точка, процесс завершается, когда суммарное требуемое водителю время истекло, и он возвращается на склад. Затем точки, попавшие на маршрут 1-го автомобиля, и 3 графа G исключаются, и процесс повторяется для 2-го автомобиля и далее до последнего k -го автомобиля. Недостатками алгоритма являются вытянутые маршруты и довольно длинный маршрут порожнего возвращения на склад. Тем не менее алгоритм может успешно применяться для построения начального рекордного решения, необходимого методу ветвей и границ. Достоинством данного алгоритма выступают короткие пути от одного потребителя до другого, что уменьшает время простоя в пробках.

Иногда этот алгоритм сочетают с алгоритмом формирования k кластеров из клиентов для каждого водителя-курьера, затем внутри каждого кластера строят оптимальный маршрут.

Кластерный алгоритм маршрутизации

Алгоритм кластеризации заключается в объединении множества из m точек с матрицей расстояний $(t_{ij})_{n \times n}$ между ними в заданное число k кластеров, в каждом из которых будут наиболее близкие по расстоянию. Кластерные алгоритмы широко применяются в различных экономических теориях – от составления рейтингов до проведения классификации государств. В нашем случае точки – это вершины графа G , т. е. клиенты – получатели заказа, а расстояние t_{ij} между любыми двумя точками i и j есть среднее время переезда от клиента i к клиенту j , определенное по геокартам, k – будущее число кластеров (имеющееся в наличии число курьеров-водителей для данного отрезка времени). Центроидный алгоритм кластеризации работает рекурсивно начиная с k начальных кластеров, в каждом из которых точка v_0 (исходный склад) считается центром кластера. На каждой последующей итерации находится точка, наиболее близкая к центру ближайшего кластера, которая присоединяется к нему, после чего в этом кластере находится новый центр как точка, наименее удаленная от всех остальных точек кластера, и процедура, где на каждом шаге объединяются два кластера с самыми близкими центрами (разумеется, размеры кластеров контролируются), чтобы не создать кластер с чрезмерным невозможным для обслуживания числом клиентов, повторяется. Разбиение на кластеры завершено, когда все точки (клиенты) прикреплены к одному из кластеров (водителей). После этого с помощью жадного алгоритма составляется маршрут движения каждого курьера-водителя в своем кластере клиентов.

Вычислительные эксперименты показали, что последние получаемые кластеры имеют достаточно длинные маршруты. Поэтому для каждого из них был апробирован алгоритм минимального локального расстояния, когда на каждой итерации объединяются два кластера, у одного из которых есть точка, наиболее близкая к некоторой точке другого кластера. Это так называемый min-min-алгоритм, и этот алгоритм давал очень хорошие результаты.

Муравьиный алгоритм маршрутизации

Муравьиный алгоритм основан на подражании движению муравьиной колонии (курьеры) к источникам пищи (клиенты) и возврату в гнездо (склад). Достоинством алгоритма выступает минимальный путь последней мили, т. е. короткие маршруты возврата порожних водителей. Впервые данный алгоритм был предложен М. Дориго в 1992 г. для решения задачи коммивояжеров [9]. Фактически муравьиный алгоритм представляет собой модификацию жадного алгоритма путем введения вероятности $P_{ij}(t)$ перехода из вершины i к вершине j , которая рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{ij}(t) = \frac{\mu_{ij}^{\beta} \cdot \tau_{ij}^{\alpha}(t)}{\sum_k \mu_{ik}^{\beta} \cdot \tau_{ik}^{\alpha}(t)}, \mu_{ij}^{\beta} = \frac{1}{t_{ij}}, \quad (9)$$

и случайного начального блуждания колонии из k муравьев (курьеров). Каждый муравей рассчитывает вероятность перехода в следующий город на основе феромонов (т. е. вероятностей), на каждой итерации муравьи обновляют маршруты, улучшая качество решения.

Заключение

Благодаря алгоритмам, реализующим поиск хотя бы квазиоптимального маршрута в сформулированной сетевой задаче k коммивояжеров, логистам станет проще планировать маршруты курьеров, а курьерам – развозить товары. При этом главное, что для всех клиентов будет выполняться указанный интервал времени доставки.

Библиографические ссылки

1. Little J, Murty D, Sweeney D, Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem. *Operational Research*. 1963;11:972–982.
2. Gutin G, editor. *The traveling salesman problem and its variations*. Dordrecht: Kluwer Academy Publishing; 2002. 830 p.
3. Ковалёв ММ. *Дискретная оптимизация: целочисленное программирование*. Минск: БГУ; 1977. 192 с.
4. Дудник ТА, Бодров АС, Колпакова СВ, Левшина КВ. Решение задачи коммивояжера с ограничением времени доставки в условиях развития цифровых технологий на транспорте. *Мир транспорта и технологических машин*. 2021;1:64–72.
5. Зак ЮА. *Математические модели и алгоритмы построения эффективных маршрутов доставки грузов*. Москва: Русайнс; 2023. 304 с.
6. Solomon MM. Algorithm for vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operational Research*. 1987; 35:254–265.
7. Gan J, Zhang G. The k -delivery traveling salesman problem: revisited. *Lecture Notes in Computer Science*. 2019;11949:197–209.
8. Ковалёв ММ. *Матроиды в дискретной оптимизации*. Москва: URSS; 2003. 222 с.
9. Dorigo M. *Optimisation, learning and natural algorithms*. Milano: Politecnico di Milano; 1992. 102 p.

References

1. Little J, Murty D, Sweeney D, Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem. *Operational Research*. 1963;11:972–982.
2. Gutin G, editor. *The traveling salesman problem and its variations*. Dordrecht: Kluwer Academy Publishing; 2002. 830 p.
3. Kovalev MM. *Diskretnaya optimizatsiya: tselochislennoe programmirovaniye* [Discrete optimisation: integer programming]. Minsk: Belarusian State University; 1977. 192 p. Russian.
4. Dudnik TA, Bodrov AS, Kolpakova SV, Levshina KV. Solution of the travelling salesman problem with a limited delivery time in the conditions of the development of digital technologies in transport. *World of Transport and Technological Machines*. 2021;1:64–72. Russian.
5. Zak YuA. *Matematicheskie modeli i algoritmy postroeniya effektivnykh marshrutov dostavki грузов* [Mathematical models and algorithms of construction effective cargo delivery routes]. Moscow: Rusains; 2023. 304 p. Russian.
6. Solomon MM. Algorithm for vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operational Research*. 1987; 35:254–265.
7. Gan J, Zhang G. The k -delivery traveling salesman problem: revisited. *Lecture Notes in Computer Science*. 2019;11949:197–209.
8. Kovalev MM. *Matroidy v diskretnoi optimizatsii* [Matroids in discrete optimisation]. Moscow: URSS; 2003. 222 p. Russian.
9. Dorigo M. *Optimisation, learning and natural algorithms*. Milano: Politecnico di Milano; 1992. 102 p.

Статья поступила в редколлегию 23.10.2023.
Received by editorial board 23.10.2023.

ГИБРИДНАЯ НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ РЫНКА

А. И. БЕЛЬЗЕЦКИЙ¹⁾

¹⁾БелМежКомИнвест, ул. Игнатенко, 7, 220030, г. Минск, Беларусь

Для повышения качества прогнозирования поведения рынка предложена гибридная модель, объединяющая модели организованной целостности рынка и искусственной нейронной сети. Гибридная модель позволяет учесть неоднородную пространственно-временную структуру рынка во взаимодействии с внешней средой, принять в расчет нелинейные эффекты и выполнить достоверный прогноз для основных показателей рынка на несколько будущих периодов. Представлен пример нейросетевого прогнозирования поведения финансового рынка, подтверждающий качество гибридной модели.

Ключевые слова: рынок; гибридная модель; нейронная сеть; прогнозирование; поведение; организованная целостность.

HYBRID NEURAL NETWORK MODEL FOR FORECASTING MARKET BEHAVIOUR

A. I. BELZETSKY^a

^aBelMezhKomInvest, 7 Ignatenko Street, Minsk 220030, Belarus

For improving the quality of forecasting market behaviour, a hybrid model that combines models of organised market integrity and an artificial neural network is proposed. The hybrid model allows us to take into account the heterogeneous spatiotemporal structure of the market in interaction with the external environment, to take into account non-linear effects and to make a reliable forecast of the main market indicators for several future periods. An example of neural network forecasting of financial market behaviour, confirming the quality of the hybrid model is presented.

Keywords: market; hybrid model; neural network; forecasting; behaviour; organised integrity.

Введение

Важнейшим инструментом государственного регулирования является прогнозирование процессов социально-экономического развития. Зарубежный опыт свидетельствует, что среди других областей исследования экономики прогнозирование социально-экономических систем занимает первое место (составляет свыше 53 %) [1]. В условиях социально ориентированной регулируемой государством

Образец цитирования:

Бельзецкий АИ. Гибридная нейросетевая модель прогнозирования поведения рынка. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023;2:25–38. EDN: QZHLZE

For citation:

Belzetsky AI. Hybrid neural network model for forecasting market behaviour. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;2:25–38. Russian. EDN: QZHLZE

Автор:

Анатолий Иосифович Бельзецкий – кандидат технических наук; директор.

Author:

Anatoly I. Belzetsky, PhD (engineering); director. *bmki07@mail.ru*

рыночной экономики объективная необходимость прогнозирования обусловлена ее неспособностью к саморегулированию, общественным характером производства и необходимостью поддерживать его рациональную структуру, деятельностью государства как субъекта рынка, усложнением межрыночных и межотраслевых связей.

Для повышения качества прогнозирования временных рядов разработаны гибридные модели, которые интегрируют модели нейронных сетей с традиционными статистическими или эконометрическими методами. Основная идея гибридизации моделей прогнозирования заключается в объединении их достоинств. При этом, как правило, используются преимущества линейного и нелинейного моделирования. Известны примеры прогнозирования финансовых временных рядов, сочетающие модели нейронных сетей (ANN) с методом экспоненциального сглаживания (ES) [2; 3], моделью интегрированной скользящей средней с авторегрессией (ARIMA) [4; 5], сезонной моделью ARIMA (SARIMA) [6], моделью векторной авторегрессии (VAR) [4], моделью обобщенной линейной авторегрессии (GLAR) [7], моделью экспертных систем [8; 9], моделью множественной линейной регрессии (MLR) [10] и др. Результаты численных экспериментов на реальных данных показали, что гибридная модель обеспечивает повышение точности прогноза по сравнению с точностью любой из единичных моделей [3; 11].

Неспособность нейронных сетей одинаково хорошо обрабатывать как линейные, так и нелинейные составляющие сдерживает использование гибридных моделей для решения задач прогнозирования [5; 12], поскольку в процессе обучения нейронной сети линейные компоненты «затмевают» или «подавляют» нелинейные составляющие. Кроме того, сложность обучения нейронной сети возрастает с увеличением количества входов как куб размерности входного вектора [13], поэтому невозможно подать на вход нейронной сети произвольное количество показателей с тем, чтобы нейронная сеть сама определила, какие из них наиболее значимы. Наконец, гибридные модели, как правило, являются слишком абстрактными, так как предназначены исключительно для прогнозирования временных рядов. Они не рассматривают сам объект прогнозирования, его состав, структуру и взаимосвязи с внешней средой, а также не учитывают погрешности и модель измерения временных рядов.

Настоящая статья посвящена повышению качества прогнозирования поведения рынка за счет устранения отмеченных недостатков. Предложена гибридная модель, объединяющая инновационную модель рынка как организованной целостности [14] и модель искусственной нейронной сети¹. На конкретном примере рассмотрены практические вопросы реализации, выбора параметров и архитектуры гибридной нейросетевой модели.

Гибридная нейросетевая модель

Нейронная сеть строится по принципам организации и функционирования ее биологического аналога [13; 15]. Она состоит из множества слоев нейронов (рис. 1). В каждом из слоев нейроны независимы друг от друга, но выход каждого нейрона текущего слоя соединен синаптическими связями со всеми входами нейронов следующего слоя. По функциональному признаку слои нейронной сети могут быть разбиты на входной, выходной и скрытый. Входной слой принимает информацию и распределяет ее между нейронами следующего слоя. Выходной слой обрабатывает информацию, полученную от предыдущего слоя, и выдает окончательный результат прогнозирования. Скрытые слои расположены между входным и выходным слоями. Они обрабатывают информацию, полученную от предыдущего слоя, и передают ее следующему слою. Тем самым в нейронной сети информация распространяется последовательно от входного слоя через скрытые слои к выходному слою. Поэтому такая нейронная сеть получила название «нейронная сеть прямого распространения» [16].

Обычно модель нейронной сети принимает входной вектор Y и выдает выходной вектор R . Взаимосвязь между Y и R определяется архитектурой нейронной сети. В матричной форме выражение для расчета выходных значений нейронной сети с двумя скрытыми слоями через ее входные значения имеет следующий вид:

$$R = F^{(3)}(W^{(3)}F^{(2)}(W^{(2)}F^{(1)}(W^{(1)}Y))),$$

где $R = \{R_j(t+1), R_j(t+2), \dots, R_j(t+T)\}^T$ – вектор выходных значений, R_j – j -й исходный прогнозируемый показатель, T – горизонт прогнозирования, t – символ транспонирования матрицы; $F^{(i)}$ – оператор нелинейного преобразования i -го слоя; $W^{(i)}$ – матрица весовых коэффициентов i -го слоя; $Y = \{Y_1(t), Y_1(t-1), \dots, Y_1(t-q), \dots, Y_n(t), Y_n(t-1), \dots, Y_n(t-q)\}^T$ – вектор входных значений, $Y_j(t)$ – значение j -го интегрального показателя целостности в момент t , n – число интегральных показателей целостности, подаваемых на вход нейронной сети, q – глубина погружения или число последовательных значений интегрального показателя целостности, одновременно подаваемых на вход нейронной сети.

¹Далее в работе для обозначения понятия «искусственная нейронная сеть» будет использоваться словосочетание «нейронная сеть».

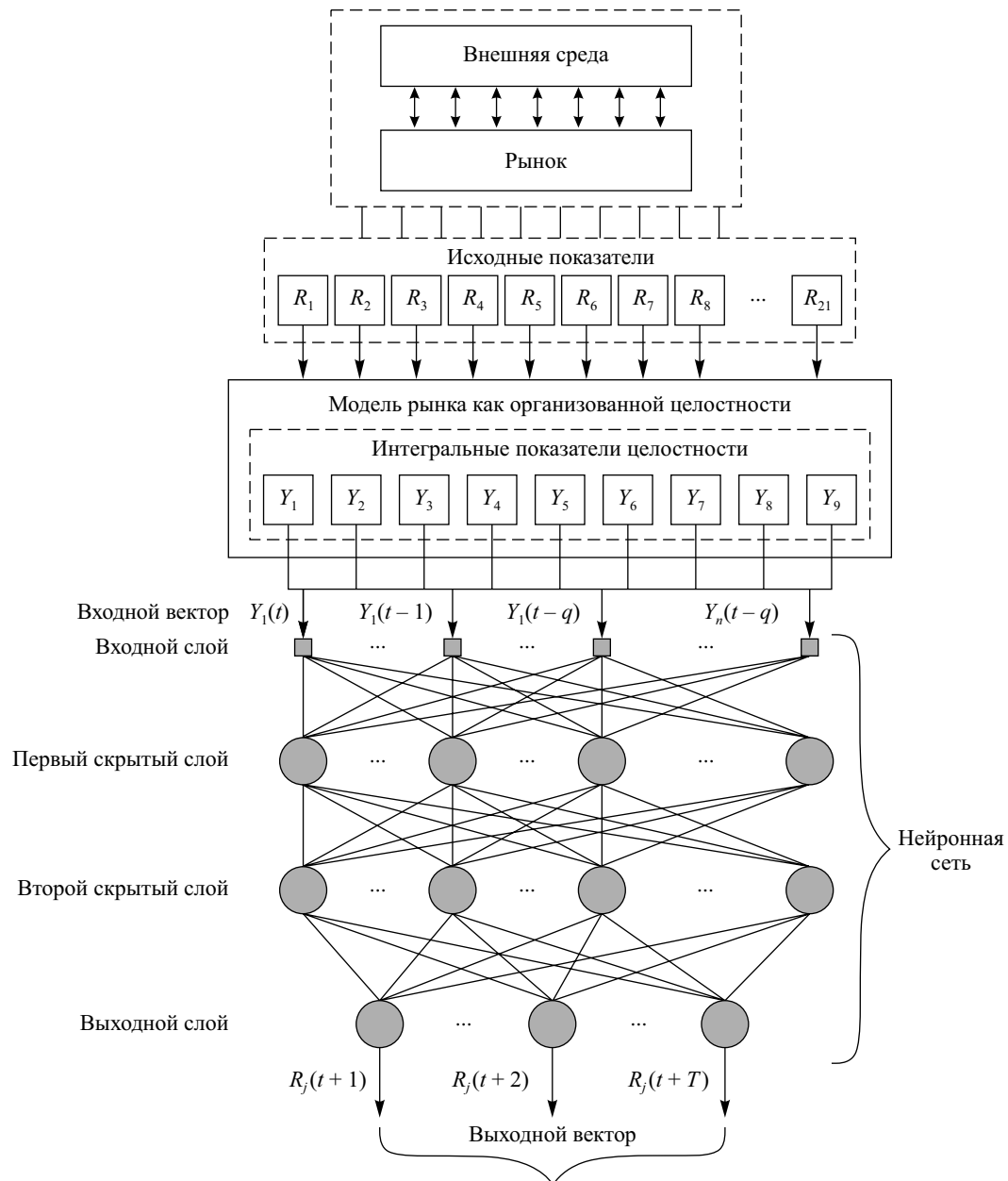


Рис. 1. Гибридная нейросетевая модель поведения рынка

Fig. 1. Hybrid neural network model of market behaviour

В гибридной нейросетевой модели векторы входных значений формируются на основе рядов данных интегральных показателей целостности, полученных по результатам измерения организованной целостности рынка. С позиций методологии холизма «рынок – это организованная целостность, в которой субъекты рынка регулярно реализуют свои противоречивые интересы посредством обмена товарами и услугами» [14, с. 87]. Модель рынка как организованной целостности во взаимосвязи с внешней средой имеет следующий вид [14]:

$$A = \frac{V\Sigma}{\sqrt{n-1}}, \quad (1)$$

$$Y = U\sqrt{n-1}, \quad (2)$$

где A – матрица целостных образов; V – матрица правых сингулярных векторов; $\Sigma = \text{diag}\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m\}$ – матрица сингулярных чисел; Y – матрица интегральных показателей целостности; U – матрица левых сингулярных векторов; n – число значений исходного ряда данных (объем выборки).

Диагональная матрица сингулярных чисел, а также матрицы левых и правых сингулярных векторов определяются на основе сингулярного разложения матрицы рядов данных исходных показателей (Z) [17; 18]

$$Z = U\Sigma V^T. \quad (3)$$

В контексте решения задачи измерения целостности элементы сингулярного разложения матрицы рядов данных исходных показателей имеют следующий смысл. Матрица правых сингулярных векторов представляет собой матрицу собственных векторов матрицы произведения исходных рядов данных ($Z^T Z$) [19]. Столбцы матрицы собственных векторов ортогональны и определяют положение новой системы координат, оси которой совпадают с интегральными показателями целостности.

Матрица левых сингулярных векторов представляет собой матрицу собственных векторов матрицы произведения исходных рядов данных (ZZ^T) [19]. В ее столбцах расположены нормированные и ортогональные ряды интегральных показателей целостности. Сингулярные числа, расположенные на диагонали матрицы сингулярных чисел, играют роль масштабирующих множителей. Каждое сингулярное число соответствует конкретному интегральному показателю, ряд данных которого расположен в соответствующем столбце матрицы левых сингулярных векторов. Поэтому сингулярные числа определяют весомость интегральных показателей целостности: чем больше сингулярное число, тем больше размах (амплитуда) колебаний ряда данных интегрального показателя целостности и тем более значима информация об измеряемой целостности, которую он содержит.

Модели (1) и (2) описывают неоднородную пространственно-временную организованную целостность рынка и внешней среды. Главным результатом измерения выступает матрица целостных образов, поскольку она включает в себя все сведения о свойствах, составе и структуре организованной целостности рынка. Матрица интегральных показателей целостности содержит в столбцах ряды данных, которые характеризуют поведение целостностей. Причем к одной целостности может относиться несколько интегральных показателей, если эта целостность имеет несколько степеней свободы. Матрица рядов данных интегральных показателей целостности используется для формирования входных образов нейронной сети, применяемых как для ее обучения, так и для прогнозирования поведения рынка.

Программная реализация гибридной нейросетевой модели

Для реализации гибридной нейросетевой модели на языке Visual Basic.NET платформы «Microsoft Visual Studio 2015» [20] разработано приложение *Neural Networks*. Визуальный интерфейс данного приложения построен на основе элемента управления TabControl Visual Basic.NET [21], который содержит вкладки «Исходные данные», «Нейронные сети», «Сертификат качества», «Графики» и «Результаты» (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид элемента управления приложения *Neural Networks*

Fig. 2. The appearance of the application *Neural Networks*

Вкладка «Исходные данные» предназначена для выбора исходных рядов данных, установки основных параметров приложения, а также для предварительной диагностики и масштабирования рядов данных исходных показателей. Во вкладке «Нейронные сети» задается архитектура нейронной сети (количество внутренних слоев, число нейронов в каждом внутреннем слое, функции активации нейронов),

а также устанавливается алгоритм обучения и выбираются критерии завершения обучения нейронной сети. Во вкладке «Сертификат качества» в текстовой форме выводятся основные характеристики качества нейросетевого моделирования: коэффициент детерминации, среднеквадратичная ошибка моделирования, суммарный квадрат ошибки обучения. Вкладки «Графики» и «Результаты» предназначены для визуального анализа результатов нейросетевого моделирования в графической и табличной форме.

Основные этапы гибридного нейросетевого прогнозирования

Гибридное нейросетевое прогнозирование поведения рынка включает следующие основные этапы.

Этап 1: выбор прогнозируемых показателей, характеризующих поведение рынка. В состав исходных показателей включаются все возможные показатели, характеризующие экзогенные факторы, которые влияют или связаны с прогнозируемыми показателями. Число исходных показателей и единицы их измерения не имеют значения.

Этап 2: подготовка и предварительная обработка исходных данных. Ряды данных исходных показателей масштабируются путем расчета относительных приращений и стандартизируются посредством их приведения к нулевому среднему значению и единичной дисперсии.

Этап 3: измерение организованной целостности рынка. Результатом этого измерения является матрица целостных образов, которая содержит сведения о свойствах, составе и структуре организованной целостности рынка и внешней среды.

Этап 4: спектральный анализ организованной целостности рынка. На основе измеренной матрицы целостных образов анализируются спектры собственных значений и форм целостностей и определяется состав организованной целостности рынка и внешней среды, а также находятся интегральные показатели целостностей, относящихся к прогнозируемым показателям. Для прогнозирования отбираются только те интегральные показатели целостности, которые связаны или влияют на прогнозируемый показатель. Таким образом, необходимая для прогнозирования информация сжимается, а число показателей, подаваемых на вход нейронной сети, существенно снижается (чаще всего на величину от одного до трех).

Этап 5: расчет динамических рядов данных интегральных показателей целостности и их нормализация. Нормализация – это пересчет рядов данных интегральных показателей целостностей к диапазону от -1 до 1 с учетом условия, что в скрытых слоях нейронной сети будут использоваться функции активации гиперболического тангенса. Ряды данных интегральных показателей целостности независимы, т. е. коэффициенты корреляции между ними равны нулю. Это способствует повышению производительности и качества обучения нейронной сети.

Этап 6: формирование входных и выходных образов для обучения нейронной сети. На этом этапе используется метод скользящего окна. Ширину скользящего окна (глубину погружения), т. е. количество значений интегрального показателя, одновременно подаваемых на вход нейронной сети, рекомендуется принимать равной трем. Меньшее значение ширины скользящего окна снижает точность, а большее значение увеличивает время обучения нейронной сети без существенного повышения точности. Для формирования выходных образов нейронной сети рекомендуется использовать исходный, немасштабированный и нестандартизованный, но нормализованный ряд данных прогнозируемого показателя, который сдвинут относительно входного ряда на величину периода прогнозирования. Предлагается использовать один прогнозируемый показатель, а горизонт прогнозирования выбирать равным трем периодам.

Этап 7: выбор архитектуры нейронной сети. Рекомендуется использовать нейронную сеть прямого распространения с двумя скрытыми слоями с числом нейронов в скрытых слоях, равным числу нейронов во входном слое, с функциями активации гиперболического тангенса для нейронов скрытых слоев и с линейной функцией активации для нейронов выходного слоя. Каждый нейрон текущего слоя связан со всеми нейронами следующего слоя, а входная информация передается в прямом направлении от входного слоя через скрытые слои к выходному слою.

Этап 8: обучение нейронной сети и оценка качества обучения. На этом этапе нейронная сеть обучается посредством настройки ее весовых коэффициентов. При обучении нейронной сети хорошие результаты дает «стандартный» алгоритм обратного распространения ошибки [22]. В процессе обучения нейронная сеть проверяется на ее соответствие историческому ряду данных прогнозируемого показателя, который не использовался для обучения, с последующим проведением корректировки параметров нейронной сети, если результаты обучения оказались неудовлетворительными. Для оценки качества нейронной сети используется серия ошибок между историческим рядом данных и ретропрогноznым рядом данных прогнозируемого показателя, рассчитанным с помощью обученной нейронной сети. При этом используются следующие статистические показатели: коэффициент детерминации (R^2), среднеквадратичное

отклонение ошибки, сумма квадратов ошибок. Модель обученной нейронной сети запоминается для дальнейшего ее использования.

Этап 9: нормальная работа гибридной нейросетевой модели, расчет значений прогнозируемого показателя для новых данных. Следует иметь в виду, что чем больше горизонт прогнозирования, тем ниже точность прогноза. Кроме того, нейросетевая модель будет давать ошибочный прогноз, если при прогнозировании встречаются факторы, которые не учитывались при обучении нейронной сети.

Этап 10: анализ результатов прогнозирования. На этом этапе выявляются основные факторы, которые определяют поведение рынка в будущем, и разрабатываются соответствующие рекомендации.

Прогнозирование поведения финансового рынка

Рассмотрим пример гибридного нейросетевого прогнозирования поведения финансового рынка на основе исторических данных за 2017–2021 гг. В состав исходного множества включались показатели, характеризующие внешнюю среду и основные сегменты финансового рынка: валютный рынок, рынок межбанковских кредитов, рынок банковских вкладов (депозитов), рынок банковских кредитов.

В качестве показателей внешней среды использовались месячный объем валового внутреннего продукта (R_1), текущие цены; месячный темп роста потребительских цен (R_2), %; месячный темп роста цен производителей промышленной продукции (R_3), %; месячный объем экспорта товаров и услуг (R_4), млн долл. США; месячный объем импорта товаров и услуг (R_5), млн долл. США; месячный объем доходов консолидированного бюджета (без ФСЗН) (R_6), млн руб.; месячная выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг (R_7), млн руб.; денежные доходы населения нарастающим итогом с начала года (R_8), млн руб.; средний за месяц агрегат рублевой денежной массы $M2^*$ (R_9), млн руб.

Для анализа валютного рынка использовались показатели среднемесячного официального курса белорусского рубля по отношению к российскому рублю (за 100 российских рублей) (R_{10}), к доллару США (за 1 долл.) (R_{11}), к евро (за 1 евро) (R_{12}). Для характеристики рынка межбанковских кредитов использовались показатели среднемесячных процентных ставок, по которым банки привлекали (размещали) кредиты, вклады (депозиты) на межбанковском рынке в национальной валюте на 1 день (R_{13}), 2 дня (R_{14}) и 4–7 дней (R_{15}). В качестве характеристик рынка банковских вкладов (депозитов) использовались показатели среднемесячных процентных ставок в национальной валюте по обязательствам банков (R_{16}), по всем срочным вкладам (депозитам) (R_{17}) и по новым вкладам (депозитам) (R_{18}). Для рынка банковских кредитов выбирались показатели среднемесячных процентных ставок кредитов банков в национальной валюте по новым кредитам без учета межбанковских кредитов, но с учетом льготных кредитов (R_{19}); по всем кредитам, но без учета межбанковских и льготных кредитов (R_{20}); по новым кредитам, но без учета межбанковских и льготных кредитов (R_{21}).

Ряды данных исходных показателей $R_1, R_2, \dots, R_{21}$ масштабировались путем расчета их относительных приращений (темпов прироста), после чего масштабированные ряды данных центрировались и приводились к единичной дисперсии, т. е. подвергались статистической стандартизации. Масштабирование исходных рядов данных предназначено для исключения из расчета ложных корреляций между рядами данных, которые обусловлены трендами во времени, для устранения влияния единиц измерения исходных рядов данных на результаты расчета, а также для исключения влияния пропусков данных на результаты измерения. Кроме того, вычисление относительных приращений позволяет преобразовать нестационарные временные ряды данных в стационарные [23, с. 199]. Для проверки стационарности исходных рядов данных применялся расширенный тест Дики – Фуллера с константой и линейным трендом [24, с. 382] при уровне значимости 0,05. Из представленных в табл. 1 данных следует, что использование процедуры масштабирования и стандартизации позволило преобразовать все исходные ряды данных в форму, соответствующую стационарному процессу.

Таблица 1

Стационарность рядов данных исходных показателей $R_1, R_2, \dots, R_{21}$

Table 1

Stationarity of data series of initial indicators $R_1, R_2, \dots, R_{21}$

Ряд данных	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}
Исходный	+	+	–	–	–	+	+	+	–	–
Масштабированный и стандартизованный	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Окончание табл. 1
Ending of the table 1

Ряд данных	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}	R_{19}	R_{20}	R_{21}
Исходный	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Масштабированный и стандартизованный	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание. Информация, представленная в табл. 1–4, а также на рис. 3–7, разработана автором на основе данных Национального банка Республики Беларусь².

Для измерения целостности важна теснота связей между исходными показателями. Для ее оценки использовался коэффициент сферичности Бартлетта – Уилкса [25; 26]. Результаты вычислений показали, что расчетное значение χ^2 -критерия Уилкса, равное 1200, значительно превышает его критическое значение, равное 245, при уровне значимости 0,05. Следовательно, между исходными показателями существуют тесные связи и изучаемая среда представляет собой целостность.

Для оценки того, насколько теснота связей между исходными показателями объясняется целостностями, применялся критерий Кайзера – Мейера – Олкина (КМО) [27]. Его допустимые значения должны находиться в следующих пределах: $0,5 < \text{КМО} \leq 1$ [28]. Расчетное значение критерия КМО равняется 0,662 и находится в допустимых пределах. Таким образом, модель для измерения целостности среды финансового рынка может быть полезна для прогнозирования рядов данных исходных показателей.

В табл. 2 представлены результаты измерения целостности финансового рынка и внешней среды за 2017–2021 гг. Матрица целостных образов рассчитывалась путем сингулярного разложения исходных рядов данных по формулам (1) и (3). Из-за больших размеров матрица целостных образов разбита на две части: матрицу целостных образов главных целостностей (см. табл. 2) и матрицу целостных образов прочих целостностей.

Таблица 2

Матрица целостных образов финансового рынка и внешней среды

Table 2

Matrix of integral images of the financial market and the external environment

Показатели	Главные целостности								
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9
R_1	–0,217	0,325	0,233	–0,686	–0,360	–0,248	–0,066	–0,164	0,123
R_2	0,156	–0,135	–0,329	–0,319	–0,136	0,660	–0,439	–0,164	0,099
R_3	0,293	–0,257	–0,238	–0,648	0,205	0,259	–0,023	0,303	–0,313
R_4	–0,399	0,743	0,236	0,162	0,064	0,260	–0,129	–0,065	0,125
R_5	–0,447	0,764	0,268	–0,016	0,060	0,243	–0,016	0,108	–0,011
R_6	–0,171	0,129	0,291	–0,626	–0,477	–0,326	0,087	0,091	0,091
R_7	–0,453	0,752	0,310	–0,107	0,184	0,164	0,037	0,019	0,018
R_8	–0,485	0,662	0,338	–0,060	0,107	0,092	0,057	0,125	–0,219
R_9	–0,497	–0,219	0,084	–0,469	–0,490	0,017	–0,080	–0,154	–0,269
R_{10}	–0,048	–0,138	–0,288	–0,125	–0,492	0,576	0,492	0,126	0,197
R_{11}	0,168	0,222	–0,287	–0,577	0,618	–0,109	0,128	–0,017	0,071
R_{12}	0,052	0,207	–0,454	–0,560	0,544	–0,047	0,080	–0,145	0,121
R_{13}	0,675	0,480	–0,344	0,003	–0,179	–0,148	–0,171	0,220	0,009
R_{14}	0,651	0,489	–0,254	0,017	–0,263	–0,136	–0,202	0,238	0,128

²Статистический бюллетень / Нац. банк Респ. Беларусь. Минск, 2017. № 12. 262 с. ; Статистический бюллетень / Нац. банк Респ. Беларусь. Минск, 2019. № 12. 255 с. ; Статистический бюллетень / Нац. банк Респ. Беларусь. Минск, 2021. № 12. 276 с. ; Основные тенденции в экономике и денежно-кредитной сфере Республики Беларусь. Аналитическое обозрение / Нац. банк Респ. Беларусь. Минск, 2017. № 12. 56 с. ; Основные тенденции в экономике и денежно-кредитной сфере Республики Беларусь. Аналитическое обозрение / Нац. банк Респ. Беларусь. Минск, 2019. № 12. 51 с. ; Основные тенденции в экономике и денежно-кредитной сфере Республики Беларусь. Аналитическое обозрение / Нац. банк Респ. Беларусь. Минск, 2021. № 12. 49 с.

Показатели	Главные целостности								
	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9
R_{15}	0,661	0,569	–0,203	0,012	–0,237	–0,108	0,050	0,005	–0,037
R_{16}	0,822	0,367	0,201	0,054	0,043	0,143	0,124	–0,188	–0,069
R_{17}	0,814	0,236	0,377	0,019	–0,057	0,124	0,067	–0,195	–0,140
R_{18}	0,784	0,393	–0,246	0,047	–0,171	0,006	0,152	–0,216	–0,134
R_{19}	0,524	–0,436	0,603	–0,271	0,099	0,019	–0,035	–0,021	0,095
R_{20}	0,585	–0,197	0,642	–0,095	0,068	0,189	–0,022	0,171	0,028
R_{21}	0,562	–0,269	0,711	–0,123	0,165	0,029	–0,017	0,063	0,121

Среднюю тесноту внутренних связей целостности характеризует коэффициент целостности γ_j :

$$\gamma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k_j} a_{ij}^2}{k_j}},$$

где k_j – число исходных показателей, относящихся к j -й целостности; a_{ij} – коэффициент тесноты связей между i -м показателем и j -й целостностью [29].

Целостность финансового рынка и внешней среды представляет собой неоднородную структуру, поскольку коэффициенты целостности основных сегментов рынка и внешней среды различны (рис. 3). Семь целостностей ($I_1, I_2, I_3, I_4, I_6, I_8, I_9$) имеют почти в 2 раза более высокие значения коэффициентов целостности по сравнению с коэффициентами целостности прочих целостностей ($I_{10}, I_{11}, \dots, I_{21}$). Поэтому первые семь целостностей названы главными, а остальные – прочими. К главным целостностям отнесены также целостности I_5 и I_7 , поскольку в состав их исходных показателей входят те же исходные показатели, что и для целостностей I_4 и I_6 . Это значит, что целостности I_4 и I_6 имеют по две степени свободы.

Состав главных целостностей финансового рынка и внешней среды формируется на основе анализа спектра собственных форм, содержащихся в столбцах матрицы целостных образов (см. табл. 1), которые представлены в графической форме (см. рис. 3). К главной целостности относятся исходные показатели, имеющие наибольшие абсолютные значения собственной формы целостности и отличающиеся друг от друга в диапазоне $\pm 10\%$ (на рис. 4 приведены их числовые значения). Название целостности формируется на основе тех показателей (или их большинства), которые относятся к данной целостности.

Целостность I_1 идентифицирует рынок банковских вкладов (депозитов). Первая собственная форма целостности показывает, что основной вклад в формирование целостности I_1 вносят исходные показатели R_{16}, R_{17} и R_{18} , для которых значения собственных форм целостностей соответственно равны 0,822; 0,814 и 0,784 (см. рис. 4). Аналогичным образом формируются остальные целостности (рис. 5): целостность I_2 соответствует макроэкономической среде рынка (показатели $R_4, R_5, R_7, R_8, R_{15}$), целостность I_3 идентифицирует рынок банковских кредитов (показатели R_{19}, R_{20}, R_{21}), целостность I_4 обозначает макроэкономическую среду и сегмент валютного рынка, на котором осуществляются сделки с евро и долларами США (показатели $R_1, R_3, R_6, R_{11}, R_{12}$), целостность I_5 идентифицирует вторую степень свободы сегмента валютного рынка евро и долларов США (показатели R_{11}, R_{12}), целостность I_6 соответствует макроэкономической среде и сегменту валютного рынка, на котором осуществляются сделки с российскими рублями (показатели R_2, R_{10}), целостность I_7 идентифицирует вторую степень свободы рынка российских рублей (показатели R_2, R_{10}), целостность I_8 обозначает макроэкономическую среду и рынок межбанковских кредитов (показатели R_3, R_{13}, R_{14}), целостность I_9 идентифицирует сегмент макроэкономической среды (показатели R_3, R_9).

Таким образом, результаты спектрального анализа целостности финансового рынка и внешней среды позволяют разбить все целостности на три группы: целостности внешней среды, целостности финансового рынка и внешней среды, целостности финансового рынка.

Входными данными для обучения нейронной сети являются ряды данных интегральных показателей целостности финансового рынка, которые рассчитываются по формуле (2) (рис. 6). За длину скользящего окна приняты три периода продолжительностью 1 мес. каждый с шагом 1 мес. Размерность обучающей выборки равна числу месяцев в рассматриваемом пятилетнем периоде минус размер скользящего окна и период прогнозирования длительностью 3 мес. с шагом 1 мес. Для исследуемого периода, равного пяти годам, размерность обучающей выборки составляет $60 - 3 - 3 = 54$.

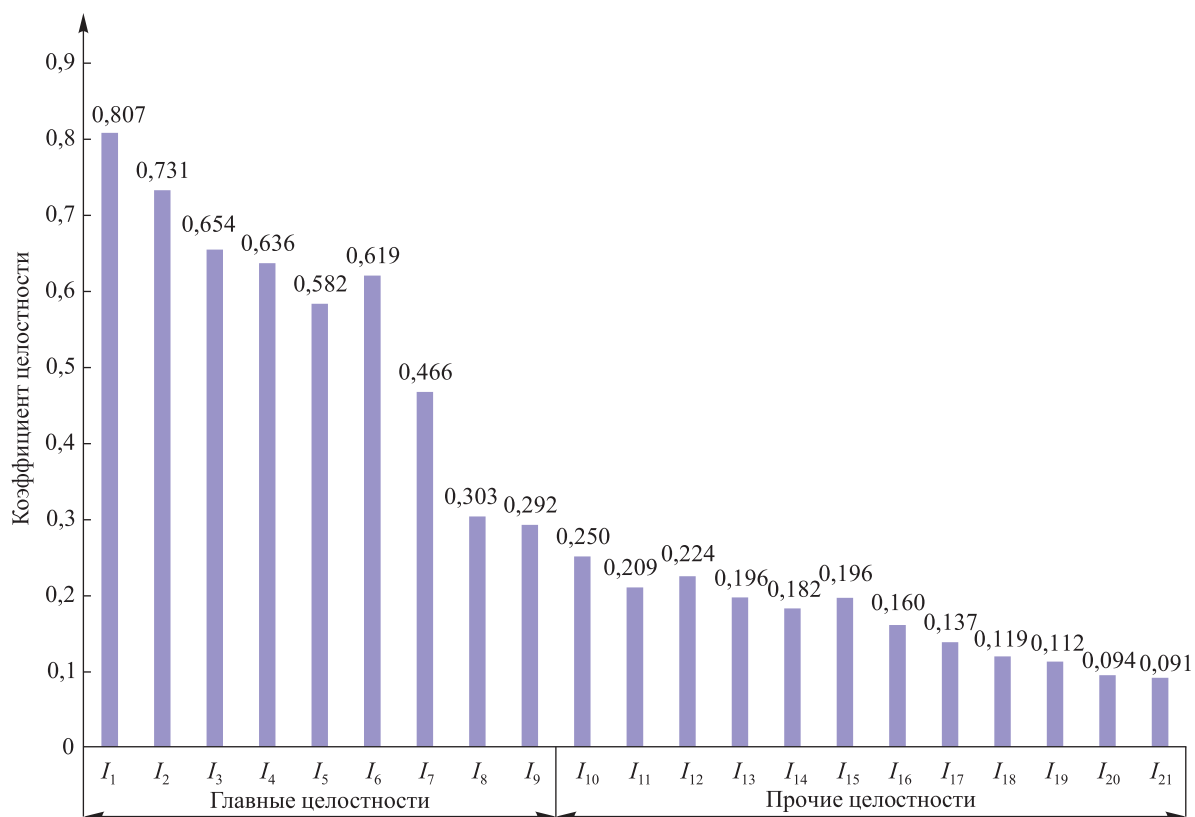


Рис. 3. Коэффициенты целостности финансового рынка и внешней среды
Fig. 3. Coefficients of integrity of the financial market and the external environment

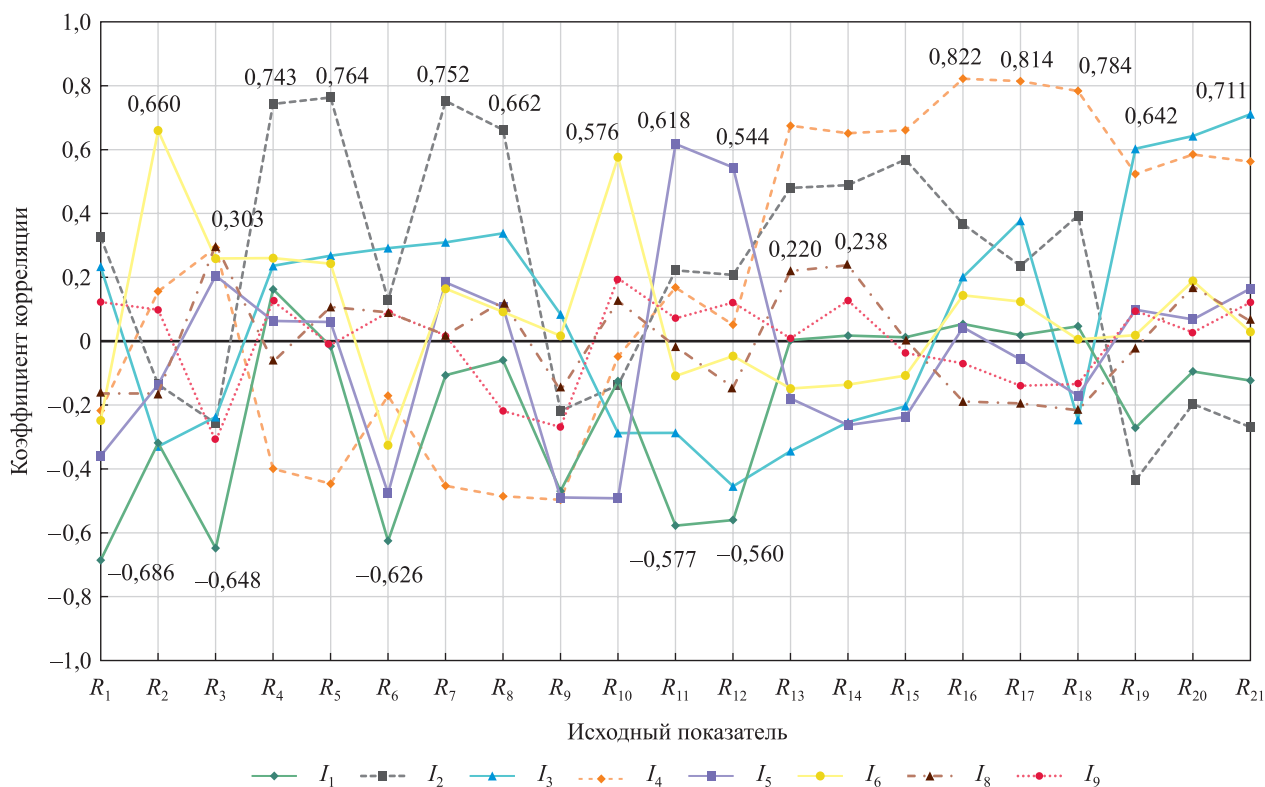


Рис. 4. Собственные формы главных целостностей финансового рынка и внешней среды
Fig. 4. Eigenforms of the main integrity of the financial market and the external environment

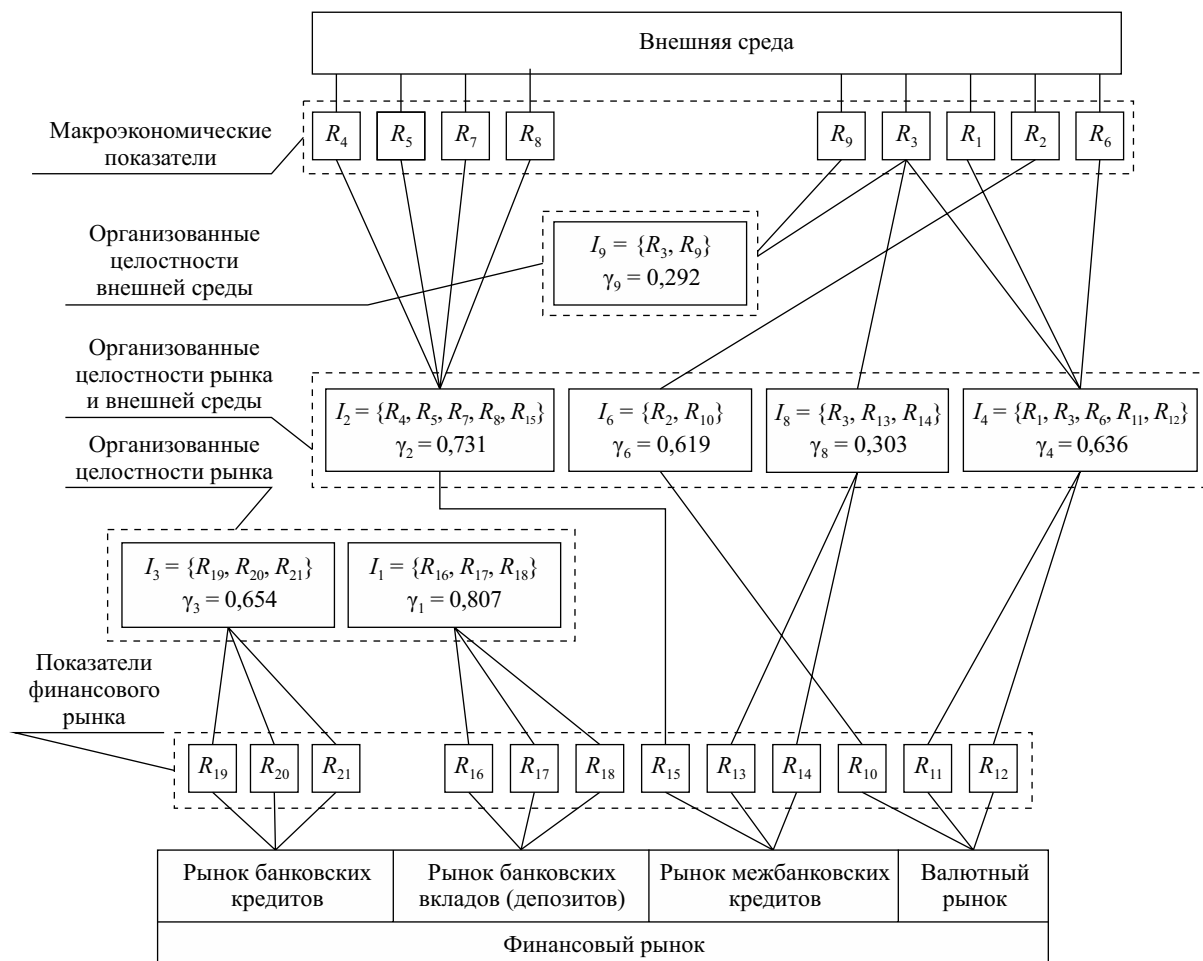


Рис. 5. Состав целостностей финансового рынка и внешней среды

Fig. 5. The composition of the integrity of the financial market and the external environment

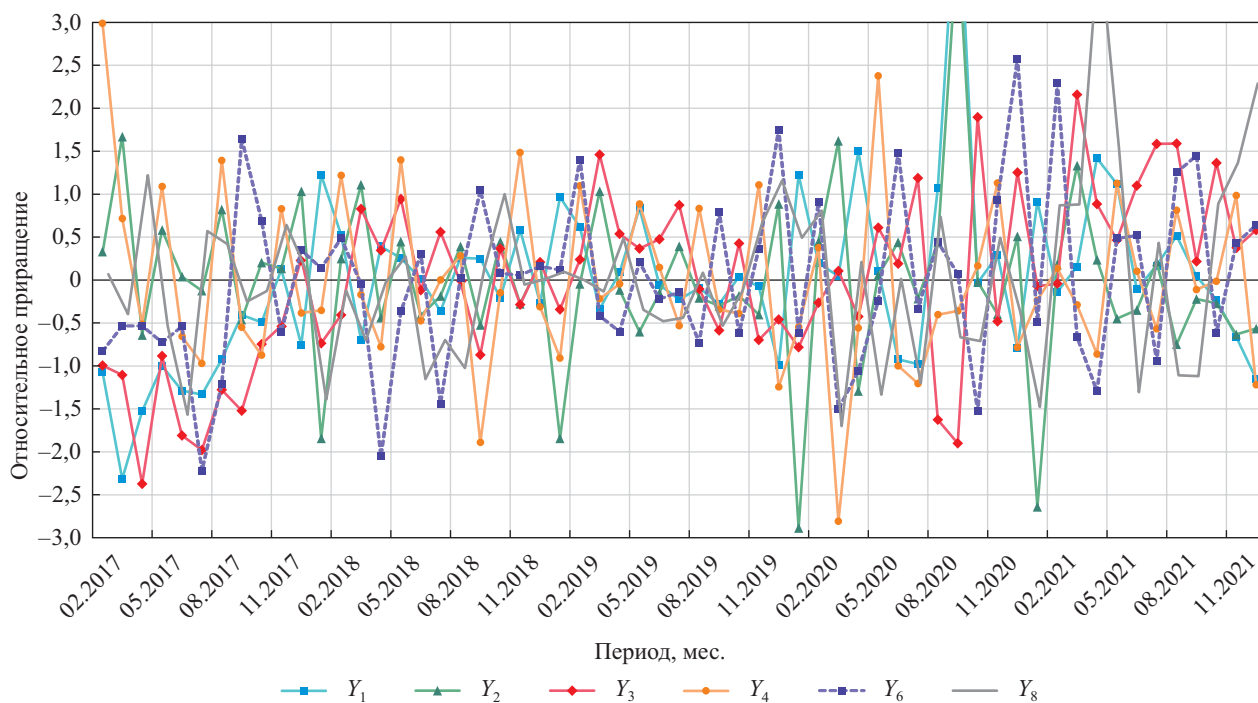


Рис. 6. Динамика интегральных показателей целостности

Fig. 6. Dynamics of integral integrity indicators

Архитектура нейронной сети содержала 27 входных нейронов, два скрытых слоя, которые имели по 27 нейронов в каждом слое, и 3 выходных нейрона. При этом количество выходных нейронов равнялось горизонту прогнозирования. Для нейронов скрытых слоев была задействована функция активации гиперболического тангенса, а для нейронов выходного слоя применялась линейная функция активации [16]. Для обучения нейронной сети использовался алгоритм обратного распространения ошибки [22]. Критерием прекращения обучения нейронной сети являлась максимально допустимая сумма квадратов ошибки обучения. Перед началом обучения весовые коэффициенты нейронной сети инициализировались случайным образом в диапазоне от $-0,1$ до $0,1$. Шаг обучения нейронной сети равнялся 1 мес.

На рис. 7 показаны результаты гибридного нейросетевого ретропрогнозирования, т. е. прогнозирования для прошлых периодов, и исходный ряд процентной ставки рынка банковских вкладов (депозитов) за период с 01.02.2017 по 01.02.2022. Кроме того, реальный прогноз осуществлялся на январь – март 2022 г. Важно подчеркнуть, что, хотя на вход гибридной нейросетевой модели подавались масштабированные и стандартизованные ряды данных исходных показателей, результат прогнозирования получен в исходном масштабе. Во-первых, это значит, что при масштабировании и стандартизации исходных рядов данных, используемых для построения модели организованной целостности рынка, не было допущено принципиальных ошибок и не произошли потеря точности или искажение исходной информации.

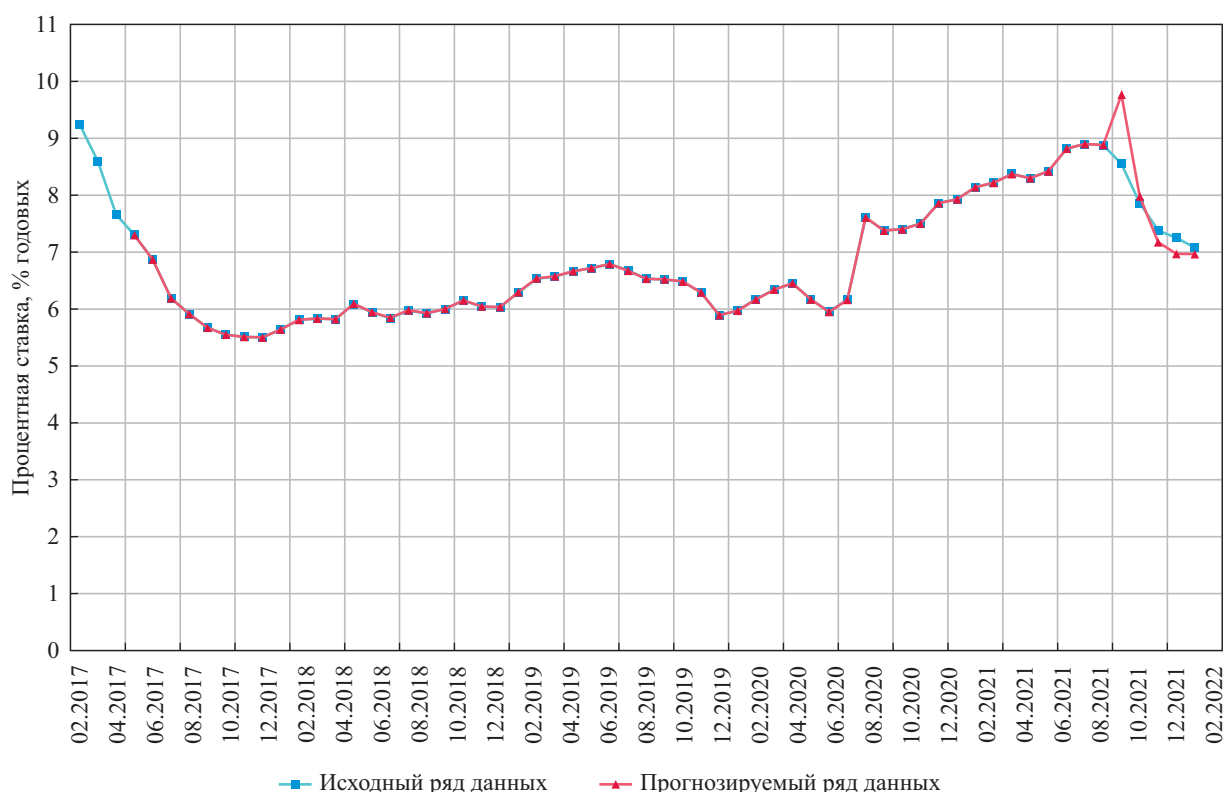


Рис. 7. Динамика процентной ставки рынка банковских вкладов (депозитов)

Fig. 7. Dynamics of the interest rate of the bank deposits market

Во-вторых, нейронная сеть обладает способностью восстанавливать масштабированные и стандартизованные ряды данных в процессе обучения. Это возможно потому, что на выход нейронной сети подаются образы, сформированные на основе рядов данных в исходном масштабе, и именно относительно этих рядов данных рассчитывается ошибка нейронной сети, которая согласно алгоритму обратного распространения ошибки распространяется в обратном направлении (от выхода нейронной сети к ее входу), модифицируя весовые коэффициенты синаптических связей таким образом, что исходные ряды ремасштабируются и дестандартизуются.

Оценка качества прогноза

Результаты прогнозирования показателей финансового рынка свидетельствуют о том, что гибридная нейросетевая модель хорошо аппроксимирует эмпирические данные, сохраняя при этом обобщающую способность, что позволяет использовать ее для прогнозирования поведения финансового рынка. Все

исходные показатели финансового рынка ($R_{10}, R_{11}, \dots, R_{21}$) имеют высокие значения коэффициентов детерминации, находящихся в диапазоне от 0,887 до 1, и низкие среднеквадратичные отклонения ошибок, которые намного ниже абсолютных значений соответствующих исходных показателей (табл. 3).

Таблица 3

Параметры качества прогнозирования показателей финансового рынка в 2017–2021 гг.

Table 3

Quality parameters of forecasting financial market indicators in 2017–2021

Параметр качества прогноза	Прогнозируемые показатели											
	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}	R_{19}	R_{20}	R_{21}
Коэффициент детерминации (R^2)	0,980	0,984	1,000	0,990	0,981	0,985	0,973	0,982	0,887	0,836	0,915	0,857
Среднеквадратичное отклонение ошибки	0,016	0,031	0,006	0,297	0,660	0,402	0,163	0,263	0,827	0,366	0,368	0,382
Суммарный квадрат ошибок	0,007	0,027	0,001	2,477	12,214	4,532	0,745	1,942	19,173	3,752	3,797	4,077
Ошибка прогноза на 2 мес. 2022 г., %	2,1	3,4	0,7	25,6	–	17,7	3,9	3,2	35,4	14,1	17,7	14,3

Для первых двух месяцев 2022 г. ошибки прогноза большинства исходных показателей находятся на приемлемом для практического использования уровне. При этом следует иметь в виду, что для прогнозирования показателей рынка выбран самый неблагоприятный период, связанный с внешним фактором (начало специальной военной операции), который не был учтен при обучении нейронной сети. Наименьшую ошибку прогноза имеют показатели валютного рынка. Ошибки прогноза рынка банковских вкладов (депозитов) и рынка банковских кредитов находятся на удовлетворительном уровне. Наименьшая точность прогноза характерна для рынка межбанковских кредитов. Для показателей R_{13} и R_{15} относительная ошибка прогноза равна соответственно 25,6 и 17,7 %. Для показателя R_{14} ошибка прогноза не определялась, поскольку в этот период сделки не заключались и данные для оценки прогноза отсутствовали.

Сопоставляя между собой результаты прогнозирования всех сегментов финансового рынка, можно отметить, что рынок межбанковских кредитов подвержен наибольшему влиянию внешних факторов, поскольку под их воздействием он обладает наибольшей волатильностью, и, соответственно, является наименее предсказуемым.

Для оценки влияния нелинейного фактора модели на качество прогнозирования поведения рынка результаты гибридного нейросетевого прогнозирования сравнивались с результатами прогнозирования с помощью множественной линейной регрессии (табл. 4). Модель множественной линейной регрессии строилась методом наименьших квадратов между матрицами входных и выходных векторов нейросетевой модели. Качество прогнозирования с помощью множественной линейной регрессии существенно уступает качеству прогнозирования с помощью гибридной нейросетевой модели, поскольку коэффициент детерминации ряда данных, полученный с помощью множественной линейной регрессии, на 18,4 % меньше коэффициента детерминации ряда данных, рассчитанного с помощью гибридной нейросетевой модели, а среднеквадратичное отклонение ошибки почти в 3 раза выше, чем для гибридной нейросетевой модели. Таким образом, учет нелинейных эффектов в модели прогнозирования поведения рынка существенно повышает качество прогнозирования.

Таблица 4

Показатели качества прогнозирования процентной ставки (R_{16}) в 2017–2021 гг.

Table 4

Indicators of the quality of forecasting the interest rate (R_{16}) in 2017–2021

Модель	Коэффициент детерминации	Среднеквадратичное отклонение ошибки	Суммарный квадрат ошибок	Время обучения нейросети, с
Множественная линейная регрессия	0,799	0,442	5,470	0,005
Гибридная нейросетевая модель	0,979	0,145	0,585	0,635

Заключение

Таким образом, гибридизация моделей нейронной сети и организованной целостности рынка представляется вполне оправданной, поскольку эти модели органично дополняют друг друга. С одной стороны, модель организованной целостности рынка учитывает его неоднородную пространственно-временную структуру во взаимосвязи с внешней средой и включает в процесс прогнозирования модель измерения показателей целостности. С другой стороны, нейронная сеть позволяет учесть нелинейные эффекты, а также восстановить предварительно масштабированные и стандартизованные ряды данных и получить результат в исходном масштабе.

Эффект взаимодействия модели рынка как организованной целостности и модели нейронной сети, имеющей свойства и параметры, соответствующие модели организованной целостности рынка, позволяет уточнить параметры и упростить архитектуру нейронной сети, уменьшить время ее обучения и повысить качество прогнозирования. Численные эксперименты позволили установить, что для прогнозирования поведения рынка как организованной целостности с помощью нейронных сетей последние должны соответствовать следующим требованиям:

- модель нейронной сети должна представлять собой нейронную сеть прямого распространения с двумя внутренними слоями и количеством нейронов в каждом внутреннем слое, равным размерности входного вектора;
- для одного прогнозируемого показателя число нейронов выходного слоя нейронной сети должно быть равным горизонту прогнозирования;
- для нейронов внутренних слоев необходимо использовать функцию активации гиперболического тангенса, а для нейронов выходного слоя – линейную функцию активации;
- эффективным алгоритмом обучения нейронной сети должен выступать алгоритм обратного распространения ошибки.

Библиографические ссылки

1. Сафронова В. Прогнозирование и моделирование в социальной работе. Москва: Академия; 2002. 192 с.
2. Kin Keung Lai, Lean Yu, Shouyang Wang, Wei Huang. Hybridising exponential smoothing and neural network for financial time series prediction. In: Alexandrov V, van Albada GD, Sloot PMA, Dongarra J, editors. *Computational science – 2006. Proceedings of the 6th International conference; 2006 May 28–30; London, UK. Part 4*. Berlin: Springer; 2006. p. 493–500.
3. Lean Yu, Shouyang Wang, Kin Keung Lai. *Foreign-exchange-rate forecasting with artificial neural networks*. Berlin: Springer; 2007. 323 p.
4. Ince H, Trafalis T. A hybrid model for exchange rate prediction. *Decision Support Systems*. 2006;42(2):1054–1062. DOI: 10.1016/j.dss.2005.09.001.
5. Zhang GP. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*. 2003;50:159–175. DOI: 10.1016/S0925-2312(01)00702-0.
6. Fang-Mei Tseng, Hsiao-Cheng Yu, Gwo-Hsiung Tzeng. Combining neural network model with seasonal time series ARIMA model. *Technological, Forecasting and Social Change*. 2002;69(1):71–87. DOI: 10.1016/S0040-1625(01)00121-4.
7. Lean Yu, Shouyang Wang, Kin Keung Lai. A novel nonlinear ensemble forecasting model incorporating GLAR and ANN for foreign exchange rates. *Computers & Operations Research*. 2005;32(10):2523–2541. DOI: 10.1016/j.cor.2004.06.024.
8. Lean Yu, Kin Keung Lai, Shouyang Wang. Designing a hybrid AI system as a Forex trading decision support tool. In: IEEE Computer Society. *Proceedings of IEEE International conference on tools with artificial intelligence; 2005 November 14–16; Hong-Cong, China*. Los Alamitos: IEEE Computer Society; 2005. p. 89–93.
9. Youngohc Yoon, Tor Guimaraes, George Swales. Integration artificial neural networks with rulebased expert system. *Decision Support System*. 1994;11(5):497–507. DOI: 10.1016/0167-9236(94)90021-3.
10. Luxhoj JT, Riis JO, Stensballe B. A hybrid econometric-neural network modeling approach for sales forecasting. *International Journal of Production Economics*. 1996;43(2/3):175–192. DOI: 10.1016/0925-5273(96)00039-4.
11. Китова ОВ, Дьяконова ЛП, Китов ВА, Савинова ВМ. Применение нейронных сетей для прогнозирования социально-экономических временных рядов. *Российский экономический вестник*. 2020;3(5):188–201.
12. Denton JW. How good are neural networks for causal forecasting? *Journal of Business Forecasting*. 1995;14(2):17–20.
13. Ежов АА, Шумский СА. *Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе*. Москва: МИФИ; 1998. 222 с.
14. Бельзецкий А. Рынок как организованная целостность. *Вестник Института экономики НАН Беларуси*. 2022;5:83–97.
15. Головкин ВА, Краснопрошин ВВ. *Нейросетевые технологии обработки данных*. Минск: БГУ; 2017. 263 с.
16. Haykin S. *Neural networks. A comprehensive foundation*. London: Pearson; 2005. 864 p.
17. Golub G, Kahan W. Calculating the singular values and pseudoinverse of a matrix. *SIAM Journal on Numerical Analysis. Series B*. 1965;2(2):205–223.
18. Golub GH, Reinsch C. Singular value decomposition and least squares solutions. *Numerische Mathematik*. 1970;14:403–420.
19. Strang G. *Introduction to linear algebra*. Wellesley: Wellesley Cambridge Press; 2016. 586 p.
20. Zak D. *Programming with Microsoft Visual Basic 2015*. Boston: Cengage Learning; 2016. 914 p.
21. Newsome B. *Beginning Visual Basic 2015*. Indianapolis: John Wiley & Sons; 2015. 621 p.
22. Rumelhart DE, Hinton GE, Williams RJ. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*. 1986;323:533–536.
23. Тихомиров НП, Дорохина ЕЮ. *Эконометрика*. Москва: Экзамен; 2003. 512 с.
24. Хацкевич ГА, Русилко ТВ. *Эконометрика*. Минск: РИВШ; 2021. 452 с.

25. Bartlett M. Tests of significance in factor analysis. *British Journal of Psychology*. 1950;3(2):77–85.
26. Wilks S. Certain generalisations in analysis of variance. *Biometrika*. 1932;24:471–494.
27. Cureton EE, D'Agostino RB. *Factor analysis: an applied approach*. New York: Psychology Press; 1993. 480 p.
28. Kaiser HF, Rice J. Little Jiffy, Mark IV. *Educational and Psychological Measurement*. 1974;34(1):111–117.
29. Бельзецкий А. *Маркетология: общая теория рынков*. Минск: Колорград; 2022. 475 с.

References

1. Safronova V. *Prognozirovanie i modelirovanie v sotsial'noi rabote* [Forecasting and modeling in social work]. Moscow: Akademiya; 2002. 192 p. Russian.
2. Kin Keung Lai, Lean Yu, Shouyang Wang, Wei Huang. Hybridising exponential smoothing and neural network for financial time series prediction. In: Alexandrov V, van Albada GD, Sloot PMA, Dongarra J, editors. *Computational science – 2006. Proceedings of the 6th International conference; 2006 May 28–30; London, UK. Part 4*. Berlin: Springer; 2006. p. 493–500.
3. Lean Yu, Shouyang Wang, Kin Keung Lai. *Foreign-exchange-rate forecasting with artificial neural networks*. Berlin: Springer; 2007. 323 p.
4. Ince H, Trafalis T. A hybrid model for exchange rate prediction. *Decision Support Systems*. 2006;42(2):1054–1062. DOI: 10.1016/j.dss.2005.09.001.
5. Zhang GP. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*. 2003;50:159–175. DOI: 10.1016/S0925-2312(01)00702-0.
6. Fang-Mei Tseng, Hsiao-Cheng Yu, Gwo-Hsiung Tzeng. Combining neural network model with seasonal time series ARIMA model. *Technological, Forecasting and Social Change*. 2002;69(1):71–87. DOI: 10.1016/S0040-1625(01)00121-4.
7. Lean Yu, Shouyang Wang, Kin Keung Lai. A novel nonlinear ensemble forecasting model incorporating GLAR and ANN for foreign exchange rates. *Computers & Operations Research*. 2005;32(10):2523–2541. DOI: 10.1016/j.cor.2004.06.024.
8. Lean Yu, Kin Keung Lai, Shouyang Wang. Designing a hybrid AI system as a Forex trading decision support tool. In: IEEE Computer Society. *Proceedings of IEEE International conference on tools with artificial intelligence; 2005 November 14–16; Hong-Cong, China*. Los Alamitos: IEEE Computer Society; 2005. p. 89–93.
9. Youngohc Yoon, Tor Guimaraes, George Swales. Integration artificial neural networks with rulebased expert system. *Decision Support System*. 1994;11(5):497–507. DOI: 10.1016/0167-9236(94)90021-3.
10. Luxhoj JT, Riis JO, Stensballe B. A hybrid econometric-neural network modeling approach for sales forecasting. *International Journal of Production Economics*. 1996;43(2/3):175–192. DOI: 10.1016/0925-5273(96)00039-4.
11. Kitova OV, Dyakonova LP, Kitov VA, Savinova VM. Application of neural networks for predicting socio-economic time series. *Russian Economic Bulletin*. 2020;3(5):188–201. Russian.
12. Denton JW. How good are neural networks for causal forecasting? *Journal of Business Forecasting*. 1995;14(2):17–20.
13. Ezhov AA, Shumskii SA. *Neirokomp'yuting i ego primeneniya v ekonomike i biznese* [Neurocomputing and its applications in economics and business]. Moscow: Moscow Engineering Physics Institute; 1998. 222 p. Russian.
14. Belzetsky A. The market as an organised integrity. *Bulletin of the Institute of Economics of NAS of Belarus*. 2022;5:83–97. Russian.
15. Golovko VA, Krasnoproshin VV. *Neirosetevye tekhnologii obrabotki dannykh* [Neural network data processing technologies]. Minsk: Belarusian State University; 2017. 263 p. Russian.
16. Haykin S. *Neural networks. A comprehensive foundation*. London: Pearson; 2005. 864 p.
17. Golub G, Kahan W. Calculating the singular values and pseudoinverse of a matrix. *SIAM Journal on Numerical Analysis. Series B*. 1965;2(2):205–223.
18. Golub GH, Reinsch C. Singular value decomposition and least squares solutions. *Numerische Mathematik*. 1970;14:403–420.
19. Strang G. *Introduction to linear algebra*. Wellesley: Wellesley Cambridge Press; 2016. 586 p.
20. Zak D. *Programming with Microsoft Visual Basic 2015*. Boston: Cengage Learning; 2016. 914 p.
21. Newsome B. *Beginning Visual Basic 2015*. Indianapolis: John Wiley & Sons; 2015. 621 p.
22. Rumelhart DE, Hinton GE, Williams RJ. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*. 1986;323:533–536.
23. Tihomirov NP, Dorohina EYu. *Ekonometrika* [Econometrics]. Moscow: Ekzamen; 2003. 512 p. Russian.
24. Hatskevich GA, Rusilko TV. *Ekonometrika* [Econometrics]. Minsk: National Institute for Higher Education; 2021. 452 p. Russian.
25. Bartlett M. Tests of significance in factor analysis. *British Journal of Psychology*. 1950;3(2):77–85.
26. Wilks S. Certain generalisations in analysis of variance. *Biometrika*. 1932;24:471–494.
27. Cureton EE, D'Agostino RB. *Factor analysis: an applied approach*. New York: Psychology Press; 1993. 480 p.
28. Kaiser HF, Rice J. Little Jiffy, Mark IV. *Educational and Psychological Measurement*. 1974;34(1):111–117.
29. Belzetsky A. *Marketologiya: obshchaya teoriya rynkov* [Marketology: general theory of markets]. Minsk: Kolorgrad; 2022. 475 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 29.01.2023.
Received by editorial board 29.01.2023.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СЕТИ В СОВРЕМЕННОЙ МИРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ: ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И АКТУАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

Н. С. ШАЛУПАЕВА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

В настоящее время международное производство превращается в один из важнейших факторов, влияющих на развитие всех форм международных экономических отношений. Усиление международного разделения производственного процесса привело к тому, что в современной мировой экономике в рамках глобальных производственных сетей сконцентрировано 80 % международных торговых потоков, участие в которых определяет конкурентоспособность стран, их инвестиционную привлекательность, роль в международном разделении труда и мировом воспроизводственном процессе. Рассмотрены теоретические основы развития глобальных производственных сетей, определены существенные отличия глобальных цепочек добавленной стоимости и глобальных производственных сетей, их виды. Выделены тенденции развития глобальных производственных сетей, а также особенности участия в них экономики Китая, играющей важнейшую роль в современной системе международного производства. Показано, что экономическое развитие Китая изменило топологию глобальных производственных сетей в мире в целом и в Азиатско-Тихоокеанском регионе в частности как на агрегированном уровне, так и на уровне отдельных отраслей экономики.

Ключевые слова: глобальная цепочка добавленной стоимости; глобальная производственная сеть; многонациональная компания; международное производство; прямые иностранные инвестиции; Китай.

GLOBAL PRODUCTION NETWORKS IN THE MODERN WORLD ECONOMY: THEORY AND CURRENT TRENDS

N. S. SHALUPAYEVA^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

At present, the international production is becoming one of the most important factors influencing the development of all forms of international economic relations. The deepening of the international fragmentation of production has led to the fact that in the modern world economy 80 % of international trade flows are concentrated within the framework of global production networks, participation in them determines the competitiveness of countries, their investment attractiveness and role in the international division of labour and the world reproduction process. The article explores the theoretical foundations of global production networks development, reveals the essential differences between global value chains and global production networks, their types and types of countries' involvement. A number of trends in the development of global production networks, as well as the features of participation of China in them are identified. It is shown that the

Образец цитирования:

Шалупаева НС. Глобальные производственные сети в современной мировой экономике: вопросы теории и актуальные тенденции. Журнал Белорусского государственного университета. Экономика. 2023;2:39–50.
EDN: RJLCYD

For citation:

Shalupayeva NS. Global production networks in the modern world economy: theory and current trends. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;2:39–50. Russian.
EDN: RJLCYD

Автор:

Наталья Сергеевна Шалупаева – кандидат экономических наук, доцент; доцент кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета.

Author:

Natallia S. Shalupayeva, PhD (economics), docent; associate professor at the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics.
nshalupaeva@mail.ru

economic development of China has changed the topology of global production networks in the world and in the Asia – Pacific region, both at the aggregate level and at the sectoral level of the economy.

Keywords: global value chain; global production network; multinational enterprise; international production; foreign direct investment; China.

Введение

Развитие глобальных цепочек добавленной стоимости (ГЦДС) и глобальных производственных сетей (ГПС) является важнейшей характеристикой современной мировой экономики. С одной стороны, ГЦДС и ГПС представляют собой результат интернационализации хозяйственной жизни, экономической глобализации и транснационализации капитала. С другой стороны, на современном этапе развития мировой экономики ГПС превращаются в один из важнейших факторов интенсификации всех форм международных экономических отношений.

Существенное влияние ГПС оказывают и на экономическое развитие отдельных стран и регионов, в связи с чем становятся предметом государственной экономической стратегии большинства государств. Высокие темпы роста многих развивающихся стран, как показывает мировой опыт, связаны именно с повышением их вовлеченности в ГПС, что подтверждает опыт Китая, Индии, государств Центральной и Восточной Европы, Юго-Восточной Азии. В современной мировой экономике ГПС многонациональных компаний (МНК) генерируют около 80 % международных торговых потоков, формируют и определяют конкурентоспособность стран, их инвестиционную привлекательность, роль в международном разделении труда и мировом воспроизводственном процессе.

Вышесказанное свидетельствует об актуальности и практической значимости исследования теоретических вопросов и актуальных тенденций развития ГПС, зарубежного опыта интеграции экономики в ГПС, направлений и способов повышения отечественной добавленной стоимости в сети в целях максимизации выгод и минимизации рисков участия в международном производстве.

Данные темы представляются особенно актуальными в современных реалиях, когда в условиях изменения конъюнктуры мировых рынков, усиления протекционистской направленности внешнеторговой политики большинства стран, кризиса COVID-19, разрыва торговых связей и ГПС особое значение приобретают вопросы обеспечения безопасности во внешнеэкономической сфере, что обуславливает переосмысление зависимости национальной экономики от международного производства МНК.

Материалы и методы исследования

Функционирование цепочек добавленной стоимости (ЦДС) исследовали Б. Когут, Э. Пенроуз, О. Уильямсон, Ч. Файн, Р. Н. Ланглуа, П. Робертсон, М. В. Мейер, М. Портер, Дж. Вомак, Д. Джонс.

Вместе с тем международный аспект данного процесса был изучен значительно меньше. Сетевой подход к объяснению транснационализации производства в противопоставление его интернализации использовали А. Пламер, К. Имаи, Дж. Йохансон, Л. Матсон. Теоретиками сетевой экономики и развития ГЦДС и ГПС являются также Г. Джереффи, П. Гиббон, Дж. Хамфри, Х. Шмитц, Х. К. Джарилло, Р. Каплински, В. Пауэлл, Т. Торелли и др. В настоящее время сформировались два теоретических направления исследования ГЦДС и ГПС: интернационализм (Г. Джереффи, Р. Каплински, П. Гиббон) и индустриализм (Дж. Хамфри, Х. Шмитц). Сторонников интернационализма отличает преимущественное использование макроэкономического подхода при исследовании ГЦДС, а сторонников индустриализма – проведение анализа на микро- и мезоуровнях, изучение ГЦДС в разрезе отраслей и кластеров.

Развитие международного производства привело к тому, что в настоящее время в экономической мысли происходит интеграция теорий ГПС в теории международной торговли. Так, Г. Мэнкью, Дж. Гроссман, Р. Болдуин, А. Блиндер, Ф. Роберт-Никуд придерживаются мнения, что торговля готовыми товарами в настоящее время во многом заменена торговлей промежуточными товарами и услугами, что связано с развитием ГПС, но она по-прежнему объясняется теорией сравнительных преимуществ Д. Рикардо, а также основанными на ней теоремами. Дж. Гроссман и Э. Росси-Хансберг для определения нового типа торговли вместо понятия «торговля товарами» предложили термин «торговля заданиями» [1, с. 22].

Среди российских ученых отдельные вопросы функционирования ГЦДС, прежде всего вопросы статистической оценки в проекции на экономику Российской Федерации, исследуют Е. Ф. Авдокушин, В. В. Идрисова, С. М. Кадочников, В. Б. Кондратьев, Ю. М. Кукушкина, С. А. Лукьянов, Т. А. Мешкова, В. В. Соколов, С. А. Побываев и др. Вопросы развития сетевой экономики и ГЦДС изучают А. А. Быков, Е. Л. Давыденко, А. В. Данильченко, Г. А. Шмарловская и др.

Исследованием и оценкой степени вовлеченности стран в ГПС занимаются также международные организации, прежде всего Конференция ООН по торговле и развитию (ЮНКТАД), Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и Всемирная торговая организация (ВТО).

Сложность и многовекторность связей и принципов взаимодействия экономических субъектов в сетевой экономике привели к множественности интерпретаций данного явления и разнообразию понятийного аппарата. Так, в научный оборот были введены понятия «глобальная цепочка стоимости», «глобальная цепочка создания стоимости», «глобальная цепочка добавленной стоимости», «глобальная производственная сеть», «глобальная производственно-сбытовая сеть».

В настоящем исследовании на основе анализа сущностных характеристик ГЦДС и ГПС и их видов выделены основные отличия анализируемых понятий, а также подтверждена гипотеза о том, что в современной мировой экономике производственно-сбытовые сети крупных международных компаний имеют все характерные признаки ГПС, а сами международные компании все чаще приобретают черты МНК, нежели транснациональных компаний (ТНК).

В основу исследования теоретических и практических аспектов развития ГЦДС и ГПС в работе положены общенаучные методы (анализ и синтез, индукция и дедукция и др.), системный и ситуационный подходы, логико-исторический, экономико-статистические методы.

При изучении международных торговых потоков в рамках ГПС и оценке степени фрагментации производственных процессов в мировой экономике использован подход к учету международной торговли в показателях добавленной стоимости, реализованный в системе учета международной торговли TiVA (*Trade in value added*). Последняя версия базы данных TiVA основывается на выпущенных в 2021 г. ОЭСР межстрановых таблицах «Затраты – выпуск» и содержит показатели участия стран в ГПС, которые охватывают период с 1995 по 2018 г. Показатели представлены по 45 отраслям для 66 стран на основе Международной стандартной отраслевой классификации всех видов экономической деятельности.

Результаты и их обсуждение

Впервые понятие «корпоративная цепочка создания стоимости» ввел М. Портер в 1985 г.: «Каждая компания может быть представлена как совокупность различных видов деятельности, направленных на разработку, производство, маркетинг, доставку и обслуживание своих продуктов. Все эти виды деятельности объединяются в цепочку создания стоимости» [2, с. 314]. Таким образом, ЦДС охватывает полный спектр видов хозяйственной деятельности, деловых функций, элементов институциональной среды и управления производственно-сбытовой цепи, посредством которой товар или услуга доводятся до потребителя.

Несмотря на то что в той или иной степени существование цепей поставок и разделение производственного процесса на стадии отмечались с момента появления промышленного производства, активизация исследований в области ЦДС произошла в конце XX в. Американский ученый Р. Болдуин видит причины этого явления в усилении второй волны глобализации, которая характеризуется технологическим прогрессом и снижением затрат на транспортировку [1, с. 22].

Основополагающим исследованием ГЦДС является работа Г. Джереффи, в которой он изучал возрастание роли товарных цепочек, управляемых покупателем, в мировой экономике [3]. Г. Джереффи ввел в научный оборот термин «глобальная цепочка производства товаров», подчеркнув его масштабность, а также участие в производственном процессе нескольких стран.

Российский ученый В. Б. Кондратьев указывает, что глобальная цепочка стоимости – это «последовательность основных бизнес-функций... проектирования, производства, маркетинга, дистрибуции и послепродажного обслуживания потребителя» [4, с. 7]. Сходное определение дают экономисты Т. А. Мешкова и Е. Я. Моисеичев: «Глобальные цепочки стоимости представляют собой устойчивый механизм начисления стоимости в процессе создания конечного продукта, включающий в себя различные технологические стадии производства, а также сферы дизайна и сбыта продукции» [5, с. 85].

В докладе ОЭСР, ВТО и ЮНКТАД «Последствия глобальных цепочек создания стоимости для торговли, инвестиций, развития и занятости» говорится, что глобальные цепочки стоимости – это «весь процесс производства товаров от сырья до конечного продукта»¹. В докладе Экономического и социального совета ООН² указывается, что термин «глобальная цепочка добавленной стоимости» используется для обозначения последовательности этапов производственной деятельности в рамках процесса создания стоимости, который осуществляется более чем в одной стране [6, с. 115].

Таким образом, в глобальных цепочках каждая страна формирует не полную стоимость товара, а лишь участвует в формировании добавленной стоимости на очередном этапе его разработки, производства и сбыта, что позволяет снижать издержки и повышать конкурентоспособность производимой продукции.

¹Последствия глобальных цепочек создания стоимости для торговли, инвестиций, развития и занятости : докл. для саммита лидеров стран G20 в Санкт-Петербурге / ОЭСР, ВТО, ЮНКТАД. СПб., 2013.

²Global value chains, regional integration and sustainable development: linkages and policy implications [Electronic resource]. URL: https://www.unescap.org/sites/default/files/E71_8E_0.pdf (date of access: 05.01.2023).

Во многом именно эта отличительная особенность ГЦДС, позволяющая формировать специализацию страны преимущественно на бизнес-функциях, а не на производстве конечных товаров, предоставляет развивающимся экономикам существенные возможности для использования ГЦДС как инструмента экономического развития и эффективной интеграции в глобальные экономические связи.

Ученые наряду с уточнением понятийного аппарата исследуют виды ГЦДС и предлагают различные их классификации.

Так, Г. Джереффи выделил два вида ГЦДС. Первый вид – это цепочки, управляемые производителями. Он включает в себя цепочки, в которых ключевую роль играют производители, обладающие необходимыми технологиями для производства. Данный вид ГЦДС развивается преимущественно в передовых инновационных и наукоемких отраслях, где велика доля затрат на научные исследования и проектно-конструкторские разработки. Как правило, такие цепочки контролируются промышленными корпорациями и финансово-промышленными группами. Второй вид – это цепочки, управляемые потребителями. Данный вид характерен для трудоемких отраслей промышленности, таких как производство одежды, обуви и игрушек, мебельное производство. Такие ЦДС контролируются, как правило, владельцами торговых сетей и брендов, обычно международных [7, с. 46]. При этом Г. Джереффи отмечает, что осуществление прямых иностранных инвестиций (ПИИ) более характерно для цепочек, управляемых производителями, чем для цепочек, управляемых потребителями [8, с. 141].

Особую значимость с практической точки зрения имеют разработки, в которых обосновываются пути вхождения в ЦДС и продвижения по ним.

Так, Г. Джереффи выделяет два пути вхождения в ГЦДС и продвижения по ним: продвижение сверху вниз и снизу вверх³. Первый подход описывает деятельность МНК в процессе вертикальной интеграции производства, когда происходит освоение его нижних, первоначальных этапов. Второй путь состоит из нескольких стадий: «На первой стадии предприятие выполняет сборку, на второй осуществляет производство “под ключ”, на третьей участвует на стадии исследования и проектирования, на последней стадии выступает производителем собственных брендов» [8, с. 141].

В связи с этим в теории выделяют два типа вовлеченности стран в ГЦДС: участие продукцией, т. е. экспорт отечественных промежуточных товаров для последующего использования в производстве и экспорте других стран («восходящее» участие); участие компонентами, т. е. использование импортных промежуточных товаров для производства экспортных товаров («нисходящее» участие) [9, с. 9].

Р. Каплински [10] выявил закономерность, которая прослеживается внутри современных ГЦДС и характеризует степень доходности различных этапов производственного процесса [8, с. 139]. Так называемая диаграмма-улыбка демонстрирует зависимость объема добавленной стоимости от стадии производственного цикла, который начинается разработкой и заканчивается послепродажным обслуживанием [7, с. 43]. При этом участие в предпроизводственной и постпроизводственной стадиях приносит компаниям большую выгоду, чем участие непосредственно в производственной стадии.

По мере углубления исследований и усложнения отношений контрагентов появилась необходимость в расширении понятия «глобальная цепочка добавленной стоимости». В результате была предложена концепция глобальной производственной сети, научные исследования которой значительно интенсифицировались в начале XX в. Среди ключевых научных трудов этого времени следует выделить работы таких авторов, как П. Дикен, Дж. Хендерсон, М. Хесс, Н. М. Коу, Г. Вай-Чон Ен, Т. Старджон, Г. Джереффи, Дж. Хамфри (см. [11–13]).

Так, Н. М. Коу [13] дал определение термину «глобальные производственные сети», которые, по мнению ученого, по сути представляют собой ГЦДС, однако имеют нелинейное строение. Кроме того, помимо компаний, в них входят и другие участники – государства, международные организации и т. д.

Дальнейшее развитие теория ГПС получила в работах ученых, которые предложили новое теоретическое обоснование того, почему и как организация и координация ГПС значительно отличаются в разных отраслях и секторах экономики [14; 15], а также она исследовалась в других трудах [16]. Теория ГПС вступила в зрелую фазу в 2010-х гг.

Тем не менее следует отметить, что в научной литературе термины «глобальная цепочка добавленной стоимости» и «глобальная производственная сеть» нередко употребляются как синонимы. Однако проведенный анализ не позволяет согласиться с данным подходом.

Как показало исследование, ключевые отличия ГПС от ГЦДС заключаются в следующем.

1. ГПС имеют нелинейную структуру и характеризуются более сложными взаимосвязями между субъектами. Современные ГПС крупных международных компаний состоят из множества отдельных ЦДС поставщиков, производителей компонентов и покупателей, каналов распределения. Усложнению структуры ГЦДС и их превращению в ГПС способствовало в том числе широкое распространение способов

³Interconnected economies: benefiting from global value chains [Electronic resource]. URL: <http://www.oecd.org/publications/interconnected-economies-9789264189560-en.htm> (date of access: 05.01.2023).

организации международного производства, не связанных с участием в капитале, благодаря чему в ГПС международных компаний включается множество предприятий, не являющихся их филиалами.

2. В рамках ГПС преобладает системный подход к управлению. Объектом регулирования в ГПС становятся не отдельные фирмы, а сети компаний – глобальные производственные системы и региональные кластеры, в которых повышение конкурентоспособности достигается за счет контроля всей стоимостной цепочки, ориентированного на достижение синергетических эффектов. Таким образом, отличительной особенностью современного подхода к управлению в ГПС является переход от оптимизации операционной деятельности микроэкономических субъектов к оптимизации связей между субъектами [17, с. 15]. В ГПС в отличие от ГЦДС на первый план выходят взаимосвязи и синергия между различными видами деятельности.

Следует отметить, что в современной мировой экономике производственно-сбытовые сети крупных международных компаний, которые обеспечивают большую часть глобальной добавленной стоимости и международной торговли, имеют все характерные признаки ГПС, а не ГЦДС.

Чтобы подтвердить вышесказанное, правомерно привести следующие аргументы.

Во-первых, для современных международных компаний характерно акцентирование внимания не на конкретных факторах создания ценности, а на связях между ними, что является ключевой характеристикой системного подхода к управлению.

Во-вторых, происходит усложнение структуры современных международных производственных цепочек. В одних ЦДС компания может выступать как заказчик, в других – как субподрядчик (например, компании *IBM, Dell, Samsung*). Компания-субподрядчик, работая по заказам разных международных компаний, может включаться одновременно в несколько ГЦДС. Например, экспорт информационных и компьютерных услуг из Индии местными фирмами осуществляется по контрактам, которые можно охарактеризовать как «интеллектуальные субподряды». Но часть экспорта данных услуг – это экспорт филиалов международных компаний, выполняющих эти работы для других филиалов той же компании и материнской компании (т. е. это не аутсорсинг). Одновременно определенная доля экспорта IT-услуг филиалами международных компаний является работой на других заказчиков, а не на свою структуру (в этом случае это аутсорсинг) [18, с. 83]. Таким образом, современные сети, где во главе переплетающихся ЦДС стоят разные международные компании из многих стран, приобретают весьма сложную нелинейную структуру, что выступает отличительной особенностью именно ГПС.

Кроме того, усложняется структура и самих международных компаний, осуществляющих международное производство. Так, отношения собственности в более чем 40 % филиалов международных компаний устанавливаются с использованием сложных схем с несколькими международными связями при участии в среднем трех юрисдикций⁴. Данная ситуация объясняется тем, что ключевым субъектом сетевой экономики являются именно крупные международные компании, на очень небольшую группу которых приходится значительная доля филиалов иностранных компаний. На менее чем 1 % международных компаний приходится свыше 30 % всех зарубежных филиалов и почти 60 % глобальной добавленной стоимости международных компаний всего мира. При этом чем больше компания, тем выше сложность ее внутренней структуры собственности. Так, 100 крупнейших компаний в индексе транснациональности ЮНКТАД имеют в среднем свыше 500 филиалов в более чем 50 странах, 7 иерархических уровней в их структуре собственности, около 20 холдинговых компаний, владеющих филиалами в нескольких юрисдикциях, и почти 70 структур в оффшорных инвестиционных центрах⁵. Следует отметить, что долгосрочные тенденции, вызывающие все большую концентрацию международного производства в крупнейших международных компаниях, способствуют возрастанию сложности их структуры.

Таким образом, представляется правомерным утверждать, что основным субъектом современной сетевой экономики являются скорее МНК, нежели ТНК, что связано с усложнением структуры международных компаний, чьи подразделения часто контролируются с помощью иерархических сетей собственности с участием множества структур и нескольких юрисдикций.

Для оценки ГПС и ГЦДС, а также международных торговых потоков в них используются различные показатели. Так, ОЭСР создала статистическую базу данных на основе следующих показателей развития ГЦДС и ГПС: длины ГЦДС, определяемой количеством производственных ступеней, дистанции до конечного потребления, индекса участия в ГЦДС, учитывающего импортированную и экспортированную добавленную стоимость, показателя доли иностранной добавленной стоимости, включенной в конечное потребление на отечественном рынке, показателя доли добавленной стоимости национального происхождения, включенной в конечное потребление на зарубежном рынке, отношения доли страны на международном рынке полуфабрикатов к ее доле в мировом ВВП. Статистическим обеспечением оценки развития ГПС и ГЦДС является совместная инициатива ВТО и ОЭСР по созданию единой базы

⁴World investment report – 2016. Investor nationality: policy challenges. New York : UN, 2016. P. 31.

⁵Ibid. P. 33.

данных TiVA на основе модели *затраты – выпуск*, позволяющей оценивать торговлю промежуточными товарами между странами – членами ОЭСР, а также другими экономиками мира.

При этом основными индикаторами участия национальной экономики в ГПС являются следующие показатели:

1) показатель обратной вертикальной специализации, отражающий долю иностранной добавленной стоимости в валовом экспорте страны (характеризует интеграцию национальной экономики в ГПС как потребителя промежуточной продукции и показывает, насколько промышленный сектор страны и ее экспорт зависят от импорта);

2) показатель прямой вертикальной специализации, представляющий собой долю добавленной стоимости национального происхождения, включенной в зарубежный валовый экспорт (характеризует интеграцию национальной экономики в ГПС как производителя или поставщика производственных ресурсов на мировой рынок и позволяет выявить роли регионов и стран мира в системе международного разделения труда, производственную специализацию стран);

3) индекс участия страны в ГПС, учитывающий как прямую, так и обратную вертикальную специализацию страны в рамках международного производства (дает возможность всесторонне оценить участие страны в ГПС и в международной торговле, рассчитанной по показателям добавленной стоимости).

Анализ мировых тенденций и показателей развития ГПС продемонстрировал, что развитые экономики в среднем интегрированы в международное производство больше, чем развивающиеся. По информации ЮНКТАД, по итогам 2017 г. для развитых стран уровень интегрированности национальных экономик в ГПС в среднем составлял 60 %, а для развивающихся и переходных экономик – 56 и 57 % соответственно [19]. Вместе с тем данные по странам значительно различаются. Наиболее интегрированными в международное производство являются экономики Бельгии, Нидерландов, Сингапура, Гонконга и Ирландии, для которых индекс участия в ГПС по итогам 2017 г. составил 78; 78; 76; 73 и 70 % соответственно [19].

При этом наибольший показатель обратной вертикальной специализации характерен для экономик Люксембурга, Мальты и Вьетнама (рис. 1).

В то же время наибольший показатель прямой вертикальной специализации характерен для стран – поставщиков сырьевых ресурсов, лидерами среди которых являются Бруней, Казахстан и Саудовская Аравия (рис. 2).

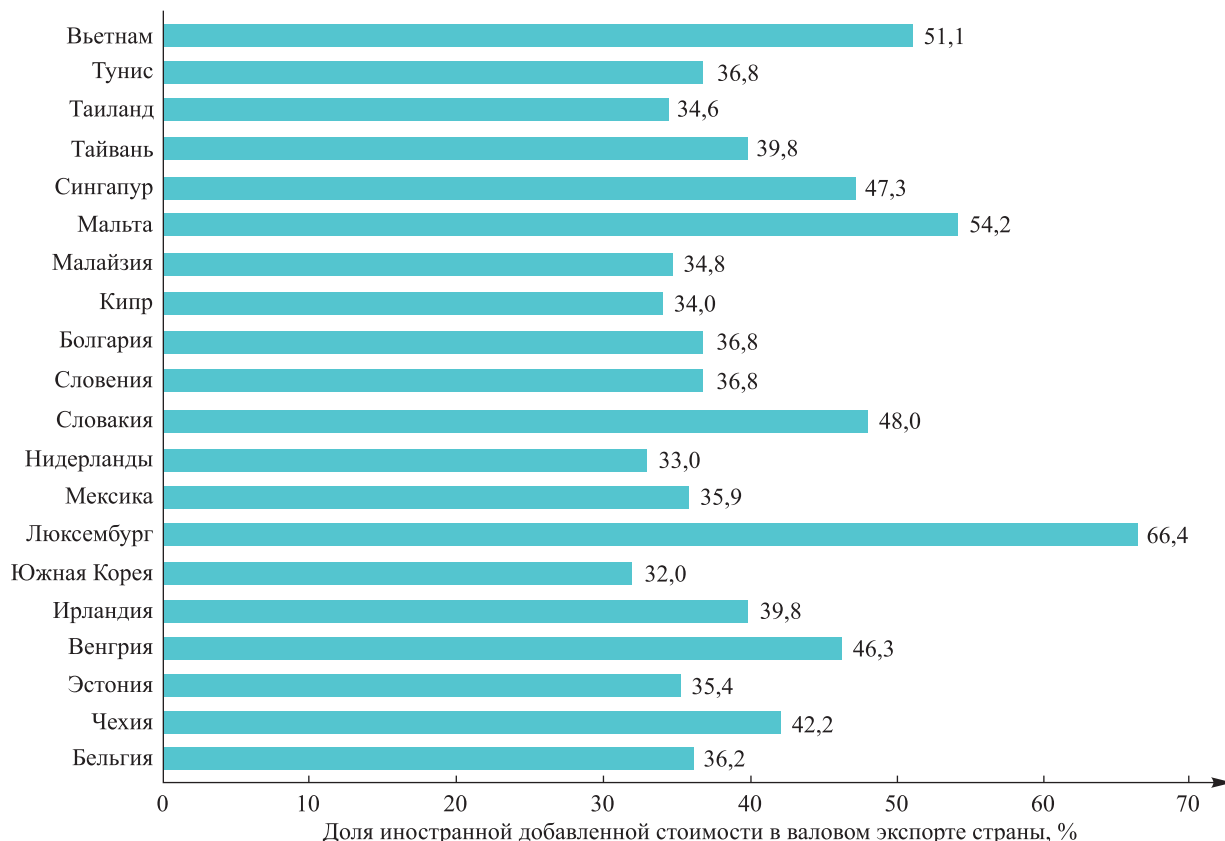


Рис. 1. Страны – лидеры по показателю обратной вертикальной специализации в 2018 г. (разработано на основе данных TiVA)

Fig. 1. Top countries by indicator of backward participation in global value chains in 2018 (developed on the basis of TiVA data)

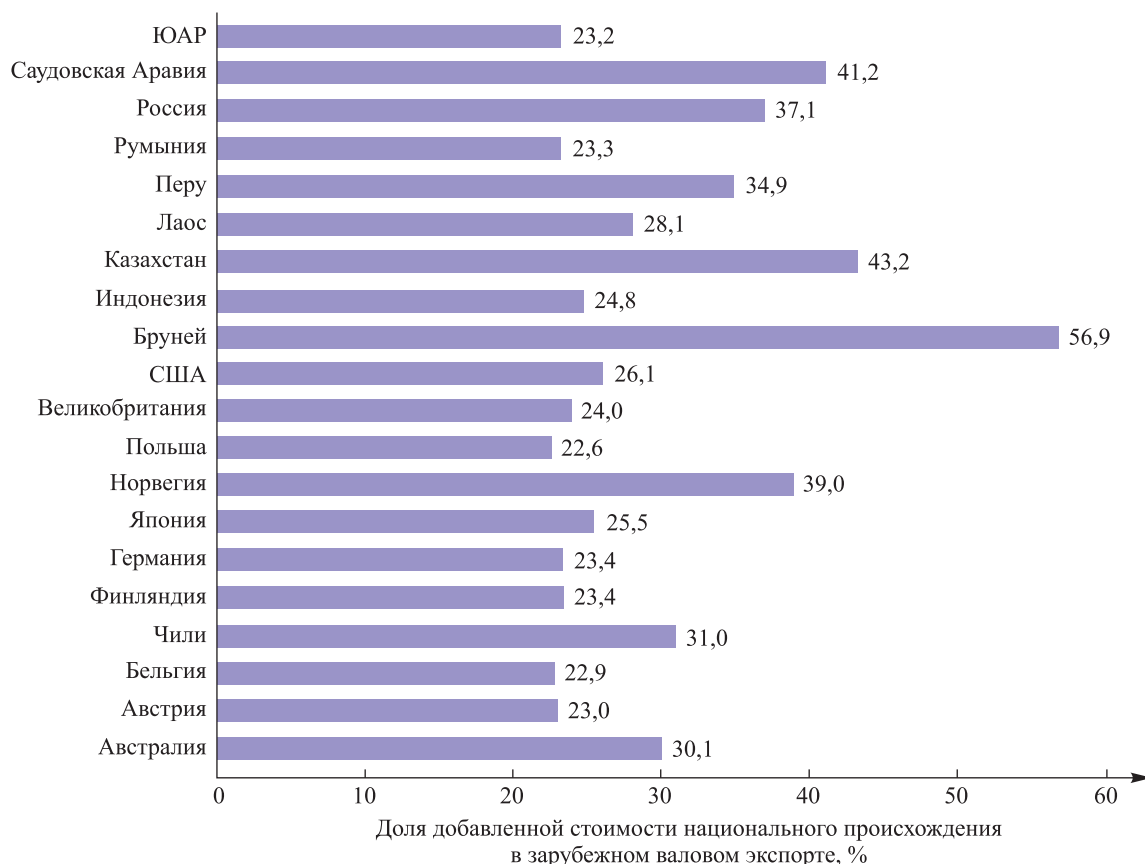


Рис. 2. Страны – лидеры по показателю прямой вертикальной специализации в 2018 г.
(разработано на основе данных TiVA)

Fig. 2. Top countries by indicator of forward participation in global value chains in 2018
(developed on the basis of TiVA data)

В отраслевом разрезе обрабатывающая промышленность характеризуется более высоким уровнем фрагментации производства, нежели другие отрасли, о чем говорит более высокая импортоспособность их производства и экспорта (рис. 3). К отраслям с наивысшей степенью фрагментации относятся производство телекоммуникационного оборудования, автомобильная, легкая и электротехническая промышленность, фармацевтика, производство продуктов питания и напитков, химических продуктов. В этих отраслях доля импортированной добавленной стоимости в экспорте, как правило, значительно выше среднего значения по стране. Добывающие отрасли практически не требуют ввоза промежуточных товаров из-за рубежа, поэтому они характеризуются низкой долей иностранной добавленной стоимости в экспорте (см. рис. 3). Аналогично статистика торговли добавленной стоимостью показывает, что международная фрагментация производства услуг менее выражена по сравнению с международной фрагментацией производства товаров, и их вовлечение в ГПС, как правило, происходит через вклад добавленной стоимости в промышленные товары [19].

Важнейшую роль в современной системе международного производства играет экономика Китая, для которой интеграция в ГПС стала важным двигателем экономического развития. Однако недавние изменения в международной торговой среде, смещение в сторону экономического протекционизма, пандемия COVID-19, экономическое противостояние с США спровоцировали дополнительные риски зависимости от глобальных цепочек поставок, сделали вопрос пересмотра подходов к участию в ГПС и их формированию более актуальным для всех стран мира, включая Китай.

В настоящее время Китай выстраивает новую модель интеграции в мировую экономическую систему и новую политику открытости, основанные на трансформации подходов к интеграции в ГПС, развитию внешней торговли и модели экономического развития в целом. В течение многих лет китайская экспортно ориентированная модель развития, основанная на ПИИ и экспорте трудоемких товаров с низкой добавленной стоимостью, демонстрировала свою эффективность. Однако сегодня модель экономического роста, основанная на дешевой рабочей силе и зарубежных технологиях, теряет свою эффективность и не может гарантировать устойчивый рост экономики в долгосрочной перспективе. Чтобы противостоять новым вызовам, Китай радикально меняет свою экономическую и торговую стратегию. В стране

начали реализовывать план экономической интернационализации, ставящий в приоритет внутренний потребительский рынок и укрепление национальной экономики изнутри. В 2020 г. была предложена новая экономическая модель, предполагающая двунаправленное развитие с ориентацией на взаимное стимулирование внутреннего и внешнего рынков и ставящая целью переход к экономике, основанной на внутреннем спросе и инновациях.



Рис. 3. Интенсивность развития ГПС в разрезе отраслей мировой экономики (составлено на основе данных доклада о мировых инвестициях за 2020 г.)

Fig. 3. Global value chains intensity by industries of the world economy (compiled from the data of world investment report of 2020)

Смена курса с формирования экономики, ориентированной на экспорт и иностранные инвестиции, на построение экономики, основанной на внутреннем спросе и инновациях, существенным образом отражается и на модели интеграции Китая в ГПС. Последние сведения, размещенные в базе TiVA, свидетельствуют о том, что экономика Китая, все более ориентированная на услуги, переходит от модели экономического роста на основе импорта комплектующих к стимулированию экономического развития на основе внутреннего производства. Так, в 2005–2018 гг. доля добавленной стоимости национального происхождения, включенная в зарубежный валовой экспорт, в Китае выросла на 3,7 %, а доля импортной добавленной стоимости в экспорте страны за этот же период снизилась на 6,5 % (табл. 1).

Таблица 1

Показатели участия Китая в ГПС, %

Table 1

Indicators of China's participation in global value chains, %

Показатели	Год							
	2005	2007	2009	2011	2013	2015	2017	2018
Показатель прямой вертикальной специализации	15,6	16,9	16,2	17,9	17,2	18,1	18,9	19,3
Показатель обратной вертикальной специализации	23,7	22,1	17,2	20,5	18,9	15,9	17,0	17,2
Индекс участия в ГПС	39,3	39,0	33,4	38,4	36,1	34,0	35,9	36,5

Примечание. Разработано на основе данных TiVA.

В то же время с 2017 г. наблюдается становление Китая как нового регионального центра спроса в рамках ГПС в Азиатском регионе при существенном снижении влияния США. Для сравнения: в 2000 г. США были уникальным глобальным центром спроса на импорт в рамках ГПС и имели устойчивые

связи с рядом стран Азиатско-Тихоокеанского региона (Япония, Китай, Австралия, Тайвань, Гонконг, Малайзия, Таиланд, Индия, Сингапур) и некоторыми европейскими государствами⁶.

На уровне секторов экономики можно наблюдать еще больше структурных изменений в ГПС. Наиболее заметные из них были обусловлены существенным усилением роли Китая и произошли в секторе услуг. С 2017 г. Китай приобрел статус регионального центра спроса как в традиционной торговле, так и в ГПС. Более того, Китай, занявший позицию Японии в Азии, стал крупным центром поставок в секторе услуг с существенным объемом экспорта добавленной стоимости в США и азиатские страны в рамках традиционных торговых сетей и ГПС⁷. Несмотря на то что Китай не экспортирует большой объем услуг на мировой рынок напрямую, страна является крупнейшим экспортером конечных товаров обрабатывающей промышленности, воплощающих в себе добавленную стоимость услуг.

Кроме того, Китай стал крупнейшей в мире производственной базой высокотехнологичной продукции, страна играет важную роль в ГПС в сфере высокотехнологичного производства. Стоимость экспорта высокотехнологичной продукции Китая выросла с 218 млрд долл. США в 2005 г. до 730 млрд долл. США в 2019 г. (табл. 2). В результате в 2019 г. на долю высокотехнологичной продукции приходилось 29,2 % от общей стоимости экспорта промышленных товаров Китая.

В то же время одной из важных проблем высокотехнологичного экспорта Китая является низкий уровень его товарной диверсификации (табл. 3).

Таблица 2

Экспорт высокотехнологичной продукции Китая в 1995–2020 гг.

Table 2

Export of high-tech products of China in 1995–2020

Показатели	Год					
	1995	2000	2005	2010	2015	2020
<i>Абсолютные объемы, млрд долл. США</i>						
Экспорт товаров	148,8	249,2	762,0	1577,9	2274,9	2590,0
Экспорт промышленных товаров	127,3	223,7	712,9	1496,2	2171,0	2474,3
В том числе высокотехнологичных	–	–	218,2	492,4	655,2	776,3
<i>Доля, %</i>						
Экспорт товаров	100	100	100	100	100	100
Экспорт промышленных товаров	85,6	89,8	93,6	94,8	95,4	95,5
В том числе высокотехнологичных	–	–	28,6	31,2	28,8	30,0

Примечание. Разработано на основе данных Статистического ежегодника Китая за 2021 г.

Таблица 3

Экспорт высокотехнологичной продукции в Китае в 2016–2020 гг., млрд долл. США

Table 3

High-tech products exports of China in 2016–2020, bln US dollars

Товары	Год	
	2016	2020
Высокотехнологичные товары	683,2	876,3
В том числе:		
электронные и электротехнические	619,9	804,6
другие	63,3	71,6

Примечание. Разработано на основе данных ЮНКТАД.

⁶Global value chains development report – 2019. Technological innovation, supply chain trade, and workers in a globalised world. Geneva, 2019.

⁷Ibid.

В 2020 г. объем экспорта электронных и электротехнических товаров из Китая превысил 804 млрд долл. США и составил 91,8 % от общей стоимости экспорта высокотехнологичных товаров страны. В Китае в экспорте высокотехнологичной продукции в 2020 г. наибольшую долю имели телекоммуникационное оборудование и комплектующие, машины для автоматической обработки данных, катодные лампы и трубки (12; 20 и 19 % соответственно). Таким образом, пять важнейших позиций в структуре высокотехнологичного экспорта Китая составляют более 80 % от его общего объема, что иллюстрирует низкий уровень продуктовой диверсификации высокотехнологичного экспорта страны.

Одной из основных проблем высокотехнологичного экспорта Китая остается также незначительная доля национальной добавленной стоимости в общей стоимости экспорта. В стране в основном происходит сборка продукции из высокотехнологичных компонентов, импортируемых из-за рубежа. На собранные в Китае высокотехнологичные продукты, изготовленные из импортных ключевых деталей и компонентов, приходится до 80 % высокотехнологичного экспорта Китая [25].

В то же время следует отметить, что последние годы характеризовались высокими темпами роста расходов на приобретение отечественных технологий в Китае, которые в 2020 г. увеличились более чем в 2 раза по сравнению с 2017 г. (табл. 4).

Таблица 4

**Расходы на приобретение технологий
крупными промышленными предприятиями Китая, 100 млрд юаней**

Table 4

**Spending on technology acquisition
by China's large industrial enterprises, 100 bln yuan**

Показатели	Год				
	2016	2017	2018	2019	2020
Расходы на приобретение зарубежных технологий	47,5	39,9	46,5	47,7	46,0
Расходы на ассимиляцию технологий	10,9	11,9	9,1	9,7	7,6
Расходы на приобретение отечественных технологий	20,8	20,1	44,0	53,7	45,7

Примечание. Разработано на основе данных публикации [21].

При этом в 2019 г. расходы на приобретение отечественных технологий превысили затраты на приобретение зарубежных технологий. Одновременно для расходов на ассимиляцию технологий характерна отрицательная динамика, их сумма за последние пять лет уменьшилась на 31,8 % (см. табл. 4). Среди причин возникновения такого положения можно выделить утрату Китаем традиционных конкурентных преимуществ для ПИИ (низкая стоимость рабочей силы), политику реиндустриализации развитых стран, торговую войну между США и Китаем, последствия пандемии COVID-19 и разрыв ГПС. Однако в целом вышесказанное свидетельствует о высоком потенциале создания отечественных технологий в Китае.

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. Международные компании (ТНК и МНК) координируют ГПС посредством сложных сетей взаимодействия между их филиалами, подрядчиками и независимыми поставщиками и различных режимов управления – от прямой собственности на зарубежные филиалы и договорных отношений в случае способов организации международного производства, не связанных с участием в капитале, до сделок на коммерческой основе. Эти режимы управления и вытекающие из них иерархические структуры в ГПС существенно влияют на распределение экономических выгод, полученных в ходе торговли в ГПС, а также на связанные с ними долгосрочные последствия для развития.

2. Термины «глобальная цепочка добавленной стоимости» и «глобальная производственная сеть» не являются тождественными. Сущностные отличия ГПС от ГЦДС заключаются в следующем. Во-первых, ГПС имеют нелинейную структуру и характеризуются более сложными взаимосвязями между субъектами. Современные ГПС крупных международных компаний состоят из множества отдельных ЦДС поставщиков, производителей компонентов и покупателей, каналов распределения. Во-вторых, в рамках ГПС преобладает системный подход к управлению. Объектом анализа и ориентированного на достижение синергетических эффектов планирования в ГПС становятся не отдельные фирмы, а сети компаний – глобальные производственные системы и региональные кластеры, в которых конкурентоспособность повышается за счет контроля всей стоимостной цепочки.

3. В современной мировой экономике производственно-сбытовые сети крупных международных компаний имеют в большей степени характерные признаки ГПС, а не ГЦДС. Кроме того, усложняется структура и самих международных компаний, осуществляющих международное производство. Таким образом, основным субъектом современной сетевой экономики являются скорее МНК, нежели ТНК, что связано с усложнением структуры компаний, чьи подразделения часто контролируются с помощью иерархических сетей собственности с участием множества структур и нескольких юрисдикций.

4. Анализ мировых тенденций и показателей развития ГПС продемонстрировал, что развитые экономики в среднем интегрированы в международное производство больше, чем развивающиеся. Вместе с тем данные значительно различаются в зависимости от страны и отрасли. Наиболее интегрированными в международное производство являются экономики Бельгии, Нидерландов, Сингапура, Гонконга и Ирландии. При этом наибольший показатель обратной вертикальной специализации характерен для экономик Люксембурга, Мальты и Вьетнама. В то же время наибольший показатель прямой вертикальной специализации характерен для стран – поставщиков сырьевых ресурсов, лидерами среди которых выступают Бруней, Казахстан и Саудовская Аравия.

5. В отраслевом разрезе обрабатывающая промышленность отличается более высоким уровнем фрагментации производства по сравнению с добывающими отраслями. К отраслям с наивысшей степенью фрагментации относятся производство телекоммуникационного оборудования, автомобильная, легкая и электротехническая промышленность, фармацевтика, производство продуктов питания и напитков, химических продуктов. Анализ статистики торговли добавленной стоимостью также показывает, что международная фрагментация производства услуг менее выражена по сравнению с производством товаров, вовлеченность в ГПС которых, как правило, происходит через вклад добавленной стоимости в производство промышленных товаров.

6. Экономическое развитие Китая существенно изменило всю топологию ГПС в мире в целом и в Азиатско-Тихоокеанском регионе в частности как со стороны спроса, так и со стороны предложения на агрегированном уровне и на уровне отдельных отраслей экономики. Промышленность Китая претерпевает существенную модернизацию, что отражается на росте масштабов экспорта и импорта промежуточных товаров и услуг. Все больше стран, особенно в Азиатском регионе, стали в значительной степени прямо или косвенно зависеть от предложения добавленной стоимости Китая.

Библиографические ссылки

1. Давыденко ЕЛ, Гричик МВ. Глобальные цепочки создания стоимости: теоретические и практические аспекты. *Банковский вестник*. 2014;4:22–27.
2. Портер М. *Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость*. Калинина Е, переводчик. Москва: Альпина паблишер; 2017. 1020 с.
3. Gereffi G. The organisation of buyer-driven global commodity chains: how US retailers shape overseas production networks. In: Gereffi G, Korzeniewicz M, editors. *Commodity chains and global capitalism*. Westport: Praeger; 1994. p. 93–95.
4. Кондратьев ВБ. Мировая экономика как система глобальных цепочек стоимости. *Мировая экономика и международные отношения*. 2015;3:5–17. DOI: 10.20542/0131-2227-2015-3-5-17.
5. Мешкова ТА, Моисеичев ЕЯ. Мировые тенденции развития глобальных цепочек создания добавленной стоимости и участие в них России. *Вестник Финансового университета*. 2015;1:83–96.
6. Гурова ИП, Корсакова ИВ. Экономическая интеграция и региональные цепочки добавленной стоимости в ЕАЭС. *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2016;16:113–117.
7. Побываев СА. Глобальные цепочки стоимости и их потенциальная роль в развитии российско-белорусской интеграции. *Мир новой экономики*. 2016;4:41–50.
8. Лубская ЕВ. Глобальные цепочки добавленной стоимости как новый элемент международной торговли. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*. 2017;2:138–142.
9. Кадочников ПА. Перспективные вопросы расширения участия России в глобальных цепочках добавленной стоимости. *Российский внешнеэкономический вестник*. 2015;2:8–13.
10. Kaplinsky R. Global value chains: where they came from, where they are going and why this is important [Internet]. 2013 [cited 2023 January 5]. Available from: <https://www.open.ac.uk/ikd/sites/www.open.ac.uk.ikd/files/files/working-papers/ikd-working-paper-68.pdf>.
11. Henderson J, Dicken P, Hess M, Coe NM, Henry Wai-Chung Yeung. Global production networks and the analysis of economic development. *Review of International Political Economy*. 2002;9(3):436–464. DOI: 10.1080/09692290210150842.
12. Gereffi G, Humphrey J, Sturgeon T. The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*. 2005;12(1):78–104. DOI: 10.1080/09692290500049805.
13. Coe NM, Dicken P, Hess M. Global production networks: realizing the potential. *Journal of Economic Geography*. 2008;3:271–295. DOI: 10.1093/jeg/lbn002.
14. Henry Wai-Chung Yeung, Coe NM. Toward a dynamic theory of global production networks. *Economic Geography*. 2015;91(1):29–58. DOI: 10.1111/ecge.12063.
15. Coe NM, Henry Wai-Chung Yeung. *Global production networks: theorizing economic development in an interconnected world*. Oxford: Oxford University Press; 2015. 256 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198703907.001.0001.

16. Neilson J, Pritchard B, Henry Wai-Chung Yeung. Global value chains and global production networks in the changing international political economy: an introduction. *Review of International Political Economy*. 2014;21(1):1–8. DOI: 10.1080/09692290.2013.873369.
17. Быков АА, Колб ОД, Хвалько ТВ. *Торговля добавленной стоимостью: источники сбалансированного экономического роста*. Быков АА, редактор. Минск: Мисанта; 2017. 356 с.
18. Цветкова НН. ТНК в странах Востока: прямые иностранные инвестиции и глобальные производственные сети. В: Наумкин ВВ, редактор. *Восточная аналитика: тенденции, перспективы, прогнозы развития стран Востока*. Москва: Институт востоковедения РАН; 2012. с. 76–84.
19. Шмарловская ГА, Шалупаева НС. Интеграция в глобальные производственные сети как императив стратегического развития экономики. *Проблемы современной экономики*. 2019;3:169–175.
20. Yuqing Xing. China's high-tech exports: the myth and reality. *Asian Economic Papers*. 2014;13(1):109–123. DOI: 10.1162/ASEP_a_00256.
21. Shmarlouskaya HA, Shalupayeva NS, Babyna IV, Sinyuk TYu. Development of China's high-tech exports under the implementation of the dual circulation strategy. In: Lazareva EI, Murzin AD, Rivza BA, Ostrovskaya VN, editors. *Innovative trends in international business and sustainable management*. Singapore: Springer; 2023. p. 33–42. DOI: 10.1007/978-981-19-4005-7_4.

References

1. Davydenko EL, Grichik MV. Global value chains: theory and practice. *Bank Bulletin Magazine*. 2014;4:22–27. Russian.
2. Porter M. *Konkurentnoe preimushchestvo: kak dostich' vysokogo rezul'tata i obespechit' ego ustoichivost'* [Competitive advantage: how to achieve a high result and ensure its sustainability]. Kalinina E, translator. Moscow: Al'pina publisher; 2017. 1020 p. Russian.
3. Gereffi G. The organisation of buyer-driven global commodity chains: how US retailers shape overseas production networks. In: Gereffi G, Korzeniewicz M, editors. *Commodity chains and global capitalism*. Westport: Praeger; 1994. p. 93–95.
4. Kondrat'ev VB. World economy as global value chain's network. *World Economy and International Relations*. 2015;3:5–17. Russian. DOI: 10.20542/0131-2227-2015-3-5-17.
5. Meshkova TA, Moiseichev EYa. Global value chains: world trends and the Russia's involvement. *Bulletin of the Financial University*. 2015;1:83–96. Russian.
6. Gurova IP, Korsakova IV. Economic integration and regional value added chains in European Association of Economic Cooperation. *Izvestia Volgograd State Technical University*. 2016;16:113–117. Russian.
7. Pobyvayev SA. Global value chains and their potential role in the development of Russian-Belarusian integration. *The World of the New Economy*. 2016;4:41–50. Russian.
8. Lubskaya EV. Global value added chains as a new element of international trade. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2017;2:138–142. Russian.
9. Kadochnikov PA. Russia increasing global value added chains participation: perspective issues. *Russian Foreign Economic Journal*. 2015;2:8–13. Russian.
10. Kaplinsky R. Global value chains: where they came from, where they are going and why this is important [Internet]. 2013 [cited 2023 January 5]. Available from: <https://www.open.ac.uk/ikd/sites/www.open.ac.uk/ikd/files/files/working-papers/ikd-working-paper-68.pdf>.
11. Henderson J, Dicken P, Hess M, Coe NM, Henry Wai-Chung Yeung. Global production networks and the analysis of economic development. *Review of International Political Economy*. 2002;9(3):436–464. DOI: 10.1080/09692290210150842.
12. Gereffi G, Humphrey J, Sturgeon T. The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*. 2005;12(1):78–104. DOI: 10.1080/09692290500049805.
13. Coe NM, Dicken P, Hess M. Global production networks: realizing the potential. *Journal of Economic Geography*. 2008;3:271–295. DOI: 10.1093/jeg/lbn002.
14. Henry Wai-Chung Yeung, Coe NM. Toward a dynamic theory of global production networks. *Economic Geography*. 2015;91(1):29–58. DOI: 10.1111/ecge.12063.
15. Coe NM, Henry Wai-Chung Yeung. *Global production networks: theorizing economic development in an interconnected world*. Oxford: Oxford University Press; 2015. 256 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198703907.001.0001.
16. Neilson J, Pritchard B, Henry Wai-Chung Yeung. Global value chains and global production networks in the changing international political economy: an introduction. *Review of International Political Economy*. 2014;21(1):1–8. DOI: 10.1080/09692290.2013.873369.
17. Bykov AA, Kolb OD, Khval'ko TV. *Torgovlya dobavlennoi stoimost'yu: istochniki sbalansirovannogo ekonomicheskogo rosta* [Trade in value added: sources of balanced economic growth]. Bykov AA, editor. Minsk: Misanta; 2017. 356 p. Russian.
18. Tsvetkova NN. [TNCs in the East: foreign direct investment and global production networks]. In: Naumkin VV, editor. *Vostochnaya analitika: tendentsii, perspektivy, prognozy razvitiya stran Vostoka* [Eastern analytics: trends, prospects, forecasts for the development of the countries of the East]. Moscow: Institute of Oriental Studies of Russian Academy of Sciences; 2012. p. 76–84. Russian.
19. Shmarlouskaya GA, Shalupayeva NS. Integration into global production networks as an imperative of the strategic economic development. *Problems of Modern Economics*. 2019;3:169–175. Russian.
20. Yuqing Xing. China's high-tech exports: the myth and reality. *Asian Economic Papers*. 2014;13(1):109–123. DOI: 10.1162/ASEP_a_00256.
21. Shmarlouskaya HA, Shalupayeva NS, Babyna IV, Sinyuk TYu. Development of China's high-tech exports under the implementation of the dual circulation strategy. In: Lazareva EI, Murzin AD, Rivza BA, Ostrovskaya VN, editors. *Innovative trends in international business and sustainable management*. Singapore: Springer; 2023. p. 33–42. DOI: 10.1007/978-981-19-4005-7_4.

Статья поступила в редколлегию 17.01.2023.
Received by editorial board 17.01.2023.

РЕСУРСНО-ПОЛЕЗНОСТНЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ИХ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ

В. Ф. БАЙНЕВ¹⁾, Т. Ю. ГОРАЕВА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, ул. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

В связи с беспрецедентным обострением геополитической ситуации и возникновением глобальных противоречий в развитии цивилизации на передний план выходят задачи по обеспечению и укреплению безопасности. Выявлены принципиальные недостатки преобладающей в мире стоимостной, затратной по своей сути экономической парадигмы, которые препятствуют устранению указанных противоречий. В качестве дополнения к стоимостным критериям оценки социально-экономических систем и управления ими предложены полезностные критерии оценки, акцентирующие внимание не на затратах, а на полезном результате функционирования социально-экономических систем. Показано, что использование ресурсно-полезностного подхода при оценке научно-технической сферы и управлении ею способно решить актуальную для Беларуси проблему укрепления технологической безопасности. Сделан вывод о том, что ресурсно-полезностный подход может стать теоретической основой для выхода цивилизации на траекторию безопасного, устойчивого развития.

Ключевые слова: научно-технический прогресс; научно-техническая сфера; технико-технологический прогресс; устойчивое развитие; безопасность; технологическая безопасность.

RESOURCE-USEFULNESS APPROACH TO THE STUDY OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS AS A THEORETICAL BASIS FOR THEIR SAFE DEVELOPMENT

V. F. BAINEV^a, T. Yu. GORAYEVA^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: T. Yu. Gorayeva (tatsiwork@mail.ru)

In connection with the unprecedented aggravation of the geopolitical situation and the aggravation of global contradictions in the development of civilisation, the tasks of ensuring and strengthening security are coming to the fore. The fundamental shortcomings of the prevailing cost, inherently costly economic paradigm, which prevent humanity from

Образец цитирования:

Байнев ВФ, Гораева ТЮ. Ресурсно-полезностный подход к исследованию социально-экономических систем как теоретическая основа их безопасного развития. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023; 2:51–60.
EDN: RQZNMS

For citation:

Bainev VF, Gorayeva TYu. Resource-usefulness approach to the study of socio-economic systems as a theoretical basis for their safe development. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;2:51–60. Russian.
EDN: RQZNMS

Авторы:

Валерий Федорович Байнев – доктор экономических наук, профессор; заведующий научно-исследовательской лабораторией «Комплексные исследования проблем социально-экономического развития» экономического факультета.
Татьяна Юрьевна Гораева – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой экономической безопасности экономического факультета.

Authors:

Valerii F. Bainev, doctor of science (economics), full professor; head of the research laboratory «Integrated studies of the problems of socio-economic development», faculty of economics.
baynev@bsu.by
Tatyana Yu. Gorayeva, PhD (economics), docent; head of the department of economic security, faculty of economics.
tatsiwork@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8255-6891>

entering the trajectory of safe sustainable development, are revealed. As an addition to the cost criteria for assessing and managing socio-economic systems, useful ones that focus not on costs, but on the useful result of the functioning of socio-economic systems are proposed. It is shown that the use of a resource-usefulness approach to the assessment and management of the scientific and technical sphere can solve the urgent problem for Belarus of strengthening technological security. It is concluded that the resource-utility approach can become the theoretical basis for civilisation to enter the trajectory of safe, sustainable development.

Keywords: scientific and technical progress; scientific and technical sphere; technical and technological progress; sustainable development; safety; technological safety.

Введение

В нынешних условиях беспрецедентного обострения геополитической ситуации на планете в целом и вокруг Беларуси в частности особую важность приобретает задача обеспечения безопасности. Именно этой злободневной проблеме было во многом посвящено очередное послание белорусскому народу и Национальному собранию А. Г. Лукашенко 31 марта 2023 г., в котором прямо сказано, что «за все годы независимости Беларусь не находилась в столь тревожной и угрожающей ее безопасности ситуации, как сегодня. <...> Никогда еще в истории мы не подходили к такой опасной черте, когда надо уделить, мягко говоря, особое внимание сохранению суверенитета и независимости нашей страны»¹.

Вместе с тем с учетом всеобщего, поистине глобального характера ряда современных угроз в наши дни следует вести речь о необходимости выхода на траекторию безопасного развития не только Беларуси, но и более крупных социально-экономических систем, вплоть до земной цивилизации в целом. При этом в самом общем смысле под безопасностью социально-экономической системы следует понимать состояние, когда она находится в неблагоприятных условиях и при различных деструктивных воздействиях может сохранять свои атрибутивные свойства на протяжении предписанного срока. Поскольку для противодействия деструктивным (разрушающим) факторам и выполнения предписанных системе функций она должна расходовать материальные, энергетические и иные ресурсы, то достижение и укрепление безопасности тесным образом связаны с решением задачи ресурсной обеспеченности. Ведь если бы не существовало ресурсных ограничений, то не возникли бы множество тех масштабных противоречий, которые сегодня принято именовать глобальными проблемами цивилизации (сырьевая, энергетическая, продовольственная, миграционная, экологическая проблемы и т. п.).

Вместе с тем в настоящее время наличие ставящих под угрозу безопасность всего человечества противоречий и тем более их быстрое усугубление заставляют признать, что в рамках существующей системы экономических знаний, которая ориентирует субъекты хозяйствования главным образом на максимизацию стоимостных результатов своей деятельности (доходы, прибыль и ее производные), преодоление указанных проблем маловероятно. В связи с этим представляется, что выход на траекторию безопасного, по-настоящему устойчивого развития будет возможен, если традиционные стоимостные методы оценки экономической эффективности социально-экономических процессов дополнить их ресурсно-полезностным анализом, предполагающим максимально полезное использование ограниченных ресурсов.

О недостатках стоимостного подхода к анализу социально-экономических систем

По нашему мнению, необходимость решения накопившихся проблем развития земной цивилизации ставит на повестку дня вопрос глубокого переосмысления концептуальных и теоретических основ функционирования социально-экономических систем всех уровней – от домашних хозяйств и предприятий до национальной и мировой экономики. Согласно нашим исследованиям указанные проблемы во многом обусловлены стоимостным, затратным по своей сути характером сформированной глобальной системы хозяйствования.

Хорошо известно, что, с одной стороны, всякое благо имеет стоимость, а с другой стороны, оно обладает полезностью (потребительной стоимостью). Стоимость и полезность – это парные, комплементарные экономические категории, характеризующие один и тот же объект с разных сторон. Будучи взаимосвязанными, они, однако, далеко не всегда коррелируют друг с другом. Так, не имеющий стоимости воздух, бесспорно, полезен для каждого из нас. А несущее людям смерть оружие, наоборот, стоит весьма дорого.

¹Послание белорусскому народу и Национальному собранию [Электронный ресурс]. URL: <https://president.gov.by/ru/events/postanie-aleksandra-lukashenko-belorusskomu-narodu-i-nacionalnomu-sobraniyu-sostoitsya-31-marta> (дата обращения: 05.04.2023).

Что касается политико-экономической категории «стоимость», то она достаточно детально изучена в экономической теории. В предельно общем виде под стоимостью подразумевается пропорция, при использовании которой на рынке один товар добровольно обменивается на другой. В классической политэкономии данная пропорция определяется участниками обмена в основном исходя из размера затрат (например, труда), связанных с продуцированием обмениваемых благ. Несмотря на всю сложность осмысления данной экономической категории, представители политэкономии пришли к более или менее устойчивому консенсусу относительно того, что «стоимость объекта – это совокупность затрат ресурсов, которые приходится осуществлять во имя приобретения, получения этого объекта в соответствии с его значимостью и потребностью в нем» [1, с. 13]. Поскольку затраты несложно измерить, считается, что стоимость – объективная количественно измеримая характеристика экономического блага, охотно используемая экономистами в теории и на практике.

При рассмотрении полезности (потребительной стоимости) наблюдается диаметрально противоположная ситуация. Сегодня общепринятым считается следующее определение: «Полезность (*utility*) – способность товара или услуги удовлетворять потребности; удовлетворение или удовольствие, получаемое потребителем от потребления товара или услуги (или от потребления набора товаров и услуг)» [2, с. 966]. Данная дефиниция вызывает нарекания и возражения, поскольку из нее однозначно следует, что большей полезностью обладают те объекты и процессы, которые доставляют их потребителям наивысшее удовольствие и наслаждение. В связи с этим на ум сразу же приходят примеры «чрезвычайно полезных» товаров и услуг, связанных с игорным бизнесом, торговлей табаком, алкоголем, наркотиками и т. п.

Более глубокое исследование рассматриваемой категории приводит к пониманию того, что «потребительная стоимость объекта, товара, услуги, материальной или духовной субстанции выражается и определяется степенью, мерой, величиной их полезности, то есть способности удовлетворять потребности человека, семьи, социальной группы, общества, государства в соответствии с присущим объекту предназначением и качеством. В экономических и социальных науках полезность (*utility*) ассоциируется, отождествляется с такими понятиями, как удовлетворение, удовлетворенность, благосостояние (*welfare*), получаемая выгода, польза и даже ощущение счастья, радости, душевного подъема. Полезность как внутренняя мера значимости, ценности объекта, товара, услуги для данного конкретного потребителя или группы потребителей представляет в этом смысле субъективную категорию и отражает общее суждение только в той степени, в которой имеет место совпадение мнений потребителей, пользователей» [1, с. 13–14]. В силу того, что такое совпадение мнений маловероятно, подавляющее большинство современных экономистов традиционно считают полезность (потребительную стоимость) сугубо субъективной, количественно неизмеримой категорией. В пользу субъективности потребительной стоимости также говорит и то, что она зависит от редкости экономического блага, условий его использования, предпочтений потребителя и т. п. И действительно, полезность сигарет для курящих и некурящих людей различна. Легковой автомобиль бесполезен в условиях бездорожья. А первый стакан воды для испытывающего жажду полезнее второго, третьего и тем более сотого.

Из-за вышеописанных трудностей трактовки и тем более количественного определения полезности экономисты предпочитают не использовать данную категорию, обращая внимание главным образом на стоимостные характеристики экономических благ, обусловленные, как это было показано выше, «величиной затрат, расходов денежных средств, труда, других видов ресурсов» [1, с. 13]. Следовательно, основанный на изучении преимущественно изменения стоимости современный экономический анализ является стоимостным, а значит, затратным по своей фундаментальной сущности.

Заметим, что используемое нами в контексте рассматриваемых в настоящем исследовании проблем понятие «затратный анализ (подход, метод)» подразумевает тот неочевидный на первый взгляд факт, что в рамках этого понятия результатом хозяйственной деятельности выступают (объявляются) возникающие в процессе ее осуществления затраты. И даже прибыль, которую большинство современных экономистов воспринимают в качестве главного результата хозяйственной деятельности, с точки зрения классической политэкономии является затратами. Например, в марксистской политэкономии (которая все еще актуальна для Китая), рассматривающей три основных фактора производства – труд, капитал и землю, прибыль, это всего лишь неоплаченная часть затрат прибавочного труда. И даже если вслед за А. Маршалом, который «к “триединой формуле” факторов производства добавил четвертый фактор – предпринимательскую способность» [3, с. 122], расширить их перечень, то прибыль, возникающую вследствие расходования такого ценного ресурса, как предпринимательские способности, также придется отождествить с затратами.

Вместе с тем вполне очевидно, что издержки предпринимателя мало интересуют потребителя, ибо последний приобретает экономическое благо исключительно ради потребительских свойств, составляющих основу его полезности (потребительной стоимости). Разумеется, в условиях эффективно функционирующих рынков цена товара однозначно коррелирует с его полезностью, так как рынки обладают

уникальной способностью на практике определять полезность реализуемых на них экономических благ. По этой причине полноценная рыночная экономика не нуждается в теоретическом полезностном анализе. Однако в условиях санкций, торговых войн, всеобщего протекционизма, монополизации рынков национальными и транснациональными мегакорпорациями о полноценной рыночной конкуренции говорить уже не приходится. Все вышеперечисленные факторы затрудняют эмпирическое определение полезности рынками, ведут к рассогласованию динамики стоимости и полезности производимых и потребляемых благ, смещают точку рыночного равновесия с ситуации максимально полезного и эффективного расходования ограниченных ресурсов. Результатом такого рассогласования, собственно, и выступают те самые противоречия, которые в последние десятилетия приобрели статус глобальных проблем цивилизации (сырьевая, энергетическая, экологическая проблемы и т. д.), представляющих собой реальную угрозу ее безопасности.

Наконец нельзя игнорировать еще один негативный аспект использования прибыли в качестве главного критерия экономической эффективности. Не секрет, что даже в условиях идеально функционирующих рынков максимальную прибыль могут приносить малополезные и даже откровенно вредные для общества товары, услуги, процессы, связанные с перенесением частных издержек на общество и природу в целом. Например, использование загрязняющих окружающую среду производств без применения дорогостоящих мер по обеспечению их экологической безопасности обеспечивает их владельцам получение намного большей прибыли по сравнению со случаями принятия указанных мер. Точно так же максимальную прибыль можно получать, производя и реализуя доставляющие наибольшее удовольствие блага, действительная полезность которых, однако, достаточно сомнительна.

Таким образом, повсеместное использование критерия максимизации прибыли, являющейся типично стоимостным, затратным показателем, вывело земную цивилизацию на путь максимизации затрат, обеспечив методичное наращивание нагрузки на общество и окружающую среду. В конечном счете господство стоимостного, затратного подхода к анализу социально-экономических систем всех уровней (домашние хозяйства, предприятия, отрасли, регионы, национальные экономики и их союзы) и управлению ими породило и сильно усугубило противоречивость развития цивилизации, создав реальную угрозу безопасности всего человечества.

Теоретические основы ресурсно-полезностного подхода к анализу социально-экономических систем и управлению ими

Проведенные нами исследования позволяют полагать, что выход цивилизации на траекторию безопасного, по-настоящему устойчивого развития возможен, если использовать предложенный и активно развиваемый нами ресурсно-полезностный подход к анализу социально-экономических процессов и систем и управлению ими. Его суть сводится к ряду следующих базовых положений.

1. Объем доступных индивидуумам и социально-экономическим системам природных и иных ресурсов объективно ограничен, более того, по мере роста численности населения Земли и его потребностей дефицит ресурсов на фоне нарастающего истощения их запасов будет только увеличиваться. Это значит, что индивидуумы и социально-экономические системы всех уровней (домашние хозяйства, предприятия, регионы, национальные экономики и их союзы, виды экономической деятельности) ради обеспечения собственной безопасности обречены на обостряющуюся бескомпромиссную борьбу друг с другом. В этой ситуации неотъемлемым условием их элементарного выживания выступает конкурентоспособность, в самом общем виде трактуемая как способность индивидуума либо социально-экономической системы в неблагоприятных условиях обеспечивать себе безопасность в рамках предписанного срока ее бытия путем доступа к жизненно важным ресурсам.

С учетом этого нами сформулировано следующее определение: полезность экономического (социального, духовного) блага – это свойство, способность данного блага повышать конкурентоспособность и безопасность его потребителя в неблагоприятных условиях. Иными словами, большей полезностью для потребителя обладают вовсе не те блага, потребление которых доставляет ему наибольшее удовольствие, а те, которые повышают его конкурентоспособность и, соответственно, уровень безопасности. Заметим, что под неблагоприятными условиями подразумевается не только необходимость противодействия конкурентам в борьбе за дефицитные ресурсы, но и преодоление ограничений, связанных с их истощением, природными катаклизмами, техногенными катастрофами и т. п. С позиций ресурсно-полезностного подхода субъект хозяйствования, даже став планетарным монополистом, перед лицом объективно нарастающего ресурсного дефицита вынужден заботиться о своей конкурентоспособности и безопасности.

2. Данное нами определение полезности позволяет сделать вывод о том, что повышение конкурентоспособности и, соответственно, уровня безопасности потребителя экономического (социального, духовного) блага представляет собой полезностный эффект от его использования. Вместе с тем

большинство экономистов сходятся во мнении, что экономический эффект – это абсолютный результат хозяйственной деятельности, критериями достижения которого чаще всего выступают увеличение доходов, снижение расходов и в конечном счете приращение прибыли [4]. При этом с учетом того, что прибыль и полезность далеко не всегда коррелируют друг с другом, приходится признать, что категории «экономический эффект» и «полезностный эффект» также далеко не равнозначны. Для иллюстрации правильности данного вывода можно привести, например, сегмент магических услуг (гадание на картах, ясновидение, снятие или наведение порчи, приворот и т. п.), которые хотя и могут обеспечивать существенный экономический эффект, но дают при этом намного менее значимый (вероятнее всего, вообще отрицательный) полезный результат.

3. Предложенная нами экономическая категория «полезностный эффект» впервые представляет возможность исчерпывающе объяснить экономический рост и экономическое развитие, которые подразумевают, что прибыль от результата превышает обусловившие его возникновение затраты. В настоящее время стоимостная экономическая парадигма, которая, как это было показано выше, отождествляет (приравнивает) результаты и затраты хозяйственной деятельности, не может адекватно объяснить даже элементарное производство, не говоря уже о таких динамичных процессах, как социально-экономическое развитие и научно-технический прогресс. В этом смысле современные экономисты во многом уподобляются представителям естественных наук, уповающим на фундаментальный закон сохранения материи, энергии, заряда и т. п.

Итак, стоимостная парадигма в ее двух основных воплощениях (классика и неоклассика) принципиально статична по своей сути. По словам выдающегося российского экономиста В. Я. Ельмеева, «классическая политэкономия с ее стоимостной парадигмой была и остается теорией, объясняющей лишь статичное, стационарное протекание экономических процессов... Непригодность теории стоимости для объяснения экономического развития и инновационной деятельности проистекает из того, что произведенная стоимость, согласно ее закону, не может превосходить затраты на ее получение и, следовательно, не может удовлетворять основному условию экономического развития – возникновению нового, превосходящего старое» [5, с. 105].

Аналогичным образом и ныне доминирующая неоклассическая экономическая парадигма, по словам всемирно известного австрийского ученого Й. Шумпетера, оказалась «применима исключительно к стационарному процессу. В граничной точке производства величина издержек приближается к величине предельной полезности продукта... Отсюда следует, что последняя часть общего количества любого продукта производится в условиях, когда уже более нет превышения получаемого полезного эффекта над издержками. И в этом смысле производство не создает никаких стоимостей, иными словами, в процессе производства не происходит никакого повышения стоимости» [6, с. 92].

И действительно, рыночная система в ее идеальном (равновесном, сбалансированном) состоянии должна функционировать вообще без прибыли, в условиях строгого равенства доходов и издержек, тождественности результата и затрат. По данному вопросу Й. Шумпетер писал, что отсутствие чистой прибыли в рыночном хозяйстве означает, что стоимость продуктов вообще не превышает стоимость средств производства и что она в конечном счете вменяется изначальным средствам производства [6, с. 54, 94]. Получается, что неоклассика, характеризующая взаимодействие рыночных субъектов как своеобразную «игру с нулевой суммой», когда выигрыш одних математически строго равен проигрышу других (эффективность по Парето), так же как и классическая политэкономия, не может объяснить «чудо», при котором прибыль превышает затраты.

Полагаем, что роковая неспособность экономической науки адекватно объяснить производство, рост и развитие является важной теоретической причиной возникновения и нынешнего обострения глобальных противоречий социально-экономического и научно-технического прогресса человечества. Таким образом, мы убеждены, что настало время наряду с традиционными стоимостными параметрами социально-экономических процессов учитывать и их полезностные характеристики, оценивающие уровень преобразования дефицитных ресурсов в итоговый полезный результат, характеризуемый величиной полезностного эффекта. Разумеется, объективное количественное определение данного эффекта является сложной научной проблемой, которая, на наш взгляд, была успешно решена нами применительно к анализу научно-технической сферы Беларуси и управлению ею.

Использование ресурсно-полезностного подхода при анализе научно-технической сферы и управлении ею

В условиях формирования технотронной экономики конкурентоспособность и безопасность социально-экономических систем во многом определяются уровнем применяемых ею техники и технологий. В связи с этим наиболее значимой угрозой безопасности Беларуси является ее технологическое отставание от ведущих стран мира – стратегических конкурентов. О том, насколько сегодня важен технологический

паритет, свидетельствуют исследования целого ряда крупных белорусских и российских ученых [7–11]. Например, профессор Л. Н. Нехорошева справедливо утверждает, что «низкий технологический уровень национальной экономики приводит к неэквивалентному обмену... Неэквивалентный внешнеэкономический обмен в большинстве случаев толкает национальную экономику и ее ведущие отрасли в ловушку нарастающего технологического отставания (концепция “технологической пропасти”), что подрывает национальную безопасность страны»².

Проведенные нами исследования свидетельствуют об актуальности стратегии технологического намерстывания для достижения технологической безопасности Беларуси [12; 13]. При этом под технологической безопасностью социально-экономической системы понимается такой уровень развития используемых ею техники и технологий (уровень технологичности ее экономики), который с учетом существующих неблагоприятных условий, его нынешнего состояния и динамики изменения обеспечивает системе конкурентоспособность в борьбе за ограниченные ресурсы на протяжении предписанного срока ее бытия.

Сегодня при анализе научно-технической сферы Беларуси и управлении ею превалирует подход, отождествляющий результат с затратами, что выражается в следующем: в качестве основного критерия управления данной сферой выступает наращивание наукоемкости ВВП, исчисляемой в виде отношения внутренних затрат на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) и валового выпуска. Так, в Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы в качестве основной цели развития научно-технической сферы обозначено «повышение наукоемкости ВВП до уровня не менее 1 процента»³.

Вместе с тем очевидно, что результат функционирования научно-технической сферы нельзя отождествлять с возникающими в ней затратами, которые могут быть бесполезными. Сформулированные выше дефиниции позволяют сделать вывод о том, что полезностный эффект от осуществления научно-технической деятельности выражается в повышении уровня ее технологичности – улучшении технологической структуры валового выпуска в пользу более высокотехнологичных видов экономической деятельности (рис. 1).

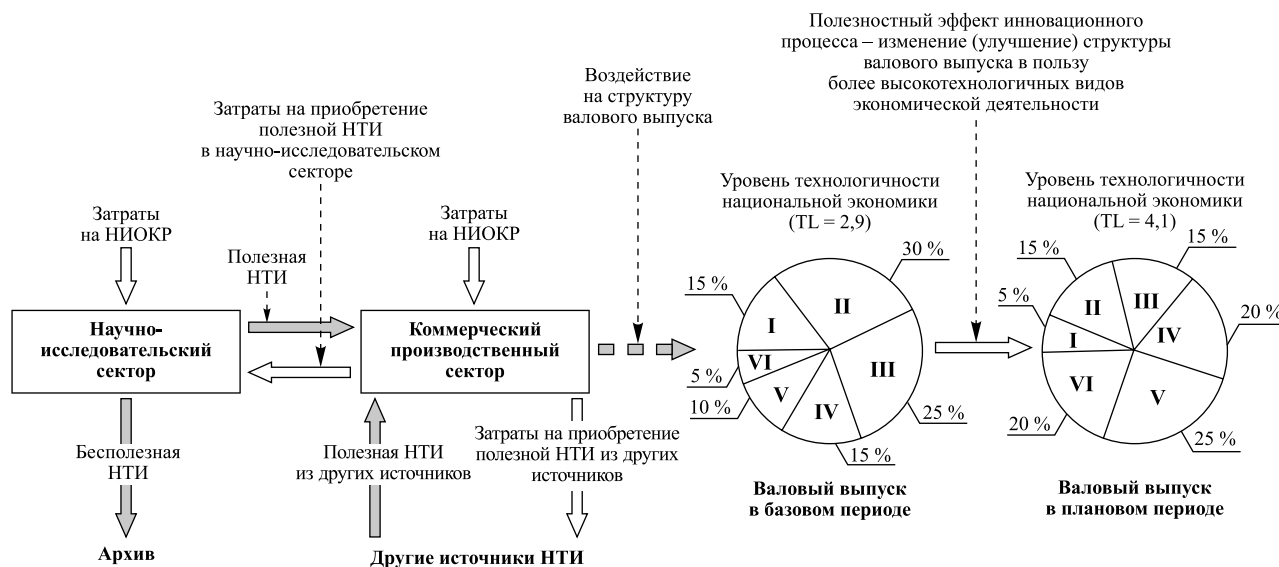


Рис. 1. Улучшение технологической структуры валового выпуска как конечный полезностный эффект функционирования научно-технической сферы:

НТИ – научно-техническая информация;

I–VI – удельный вес в валовом выпуске производств (видов экономической деятельности), относящихся к первому – шестому технологическим укладам

Fig. 1. Improvement of the technological structure of gross output as the final usefulness effect of the functioning of the scientific and technical sphere: STI – scientific and technical information; I–VI – share in the gross output of industries (types of economic activity) related to the first – sixth technological modes

²Экономика организации (предприятия) : учеб. пособие / Л. Н. Нехорошева [и др.] ; под ред. Л. Н. Нехорошевой. Минск : БГЭУ, 2020. С. 33.

³Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292> (дата обращения: 09.12.2022).

При этом для количественного измерения предлагаем использовать показатель уровня технологичности национальной экономики TL (*technological level*), представляющий собой действительное число из интервала от 1 до 6 (по числу выделяемых технологических укладов). Данный показатель исчисляется в виде средневзвешенного значения вкладов в ВВП различных видов экономической деятельности, относящихся к высоким (числовой идентификатор 6), средневысоким (числовой идентификатор 5), средненизким (числовой идентификатор 4), низким (числовой идентификатор 3), отсталым (числовой идентификатор 2) и архаичным (числовой идентификатор 1) технологиям согласно Европейскому классификатору видов экономической деятельности. Методология, методика и отраженные на рис. 2 результаты расчета показателя уровня технологичности некоторых стран мира, включая Беларусь, приведены в [12].

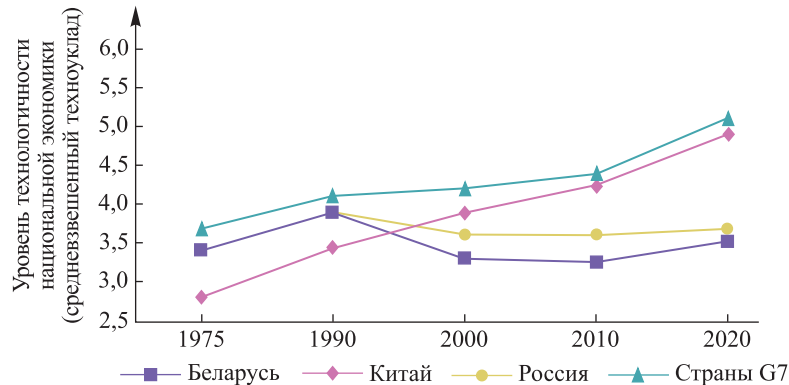


Рис. 2. Динамика научно-технического и технологического развития некоторых стран мира в 1975–2020 гг.

Fig. 2. Dynamics of scientific, technical and technological development of some countries of the world in 1975–2020

Результаты данной части исследований подтвердили сделанный ранее вывод о существенном и при этом нарастающем технологическом отставании Беларуси и России от стратегических конкурентов, что усугубляет угрозы их технологической безопасности. Сравнительная динамика технологического развития догоняемой и догоняющей социально-экономических систем (назовем их эталонной и анализируемой соответственно) предоставляет возможность количественного и качественного определения (диагностирования) уровня технологической безопасности догоняющей (отстающей по уровню технологического развития) национальной экономики. При этом первым критерием такой оценки должна быть величина разрыва в уровне технологического развития между догоняемой и догоняющей социально-экономическими системами (рис. 3). На наш взгляд, для диагностирования высокого уровня технологической безопасности данный разрыв не должен превышать, положим, половины технологического уклада при сокращении или хотя бы сохранении допущенного отставания, что формально записывается как $\Delta TL_0 \leq 0,5$ при условии $TL_a(t_0)' \geq TL_e(t_0)'$.

В случае $\Delta TL_0 > 0,5$ уровень технологической безопасности анализируемой социально-экономической системы определяется на основе второго критерия – периода времени Δt , когда она в рамках реализуемой ею стратегии технологического намерстывания догонит опережающего ее конкурента. При этом должен быть определен (установлен) приемлемый срок Δt_n , в течение которого это событие должно произойти, и в случае $\Delta t \leq \Delta t_n$ уровень технологической безопасности анализируемой социально-экономической системы также следует считать высоким. Применяя данную методологию и предложенные критерии к другим возможным ситуациям, предложим шкалу качественной оценки технологической безопасности анализируемой социально-экономической системы (табл. 1).

Используя метод нелинейного регрессионного анализа и расчетные значения показателя уровня технологичности России, Беларуси, Китая и стран G7 в конкретные годы, мы получили уравнения, которые аппроксимируют функции, описывающие динамику показателя уровня технологичности указанных стран в зависимости от фактора времени (табл. 2).

С использованием приведенных уравнений (см. табл. 2) в качестве функций $TL_a(t)$ и $TL_e(t)$ нам удалось определить уровни технологической безопасности России и Беларуси при $\Delta t_n = 10$ (табл. 3), которые не позволяют говорить о технологическом суверенитете и существенно снижают уровень экономической и национальной безопасности данных стран.

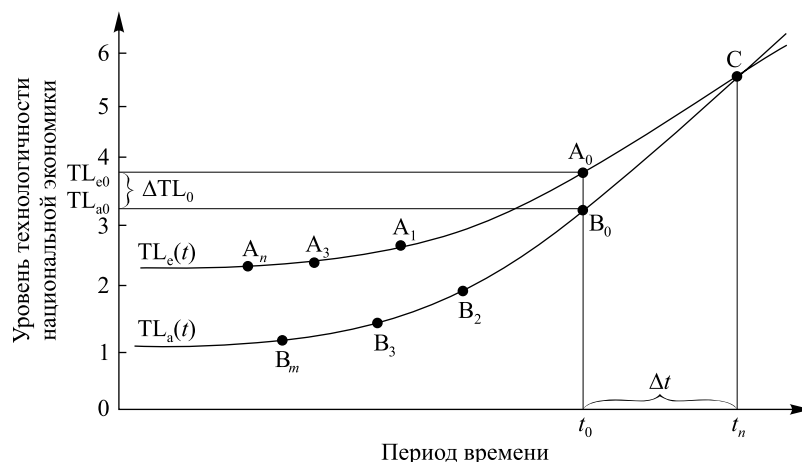


Рис. 3. Уровень технологической безопасности социально-экономической системы (национальной экономики):
 $TL_a(t)$ и $TL_e(t)$ – функции и соответствующие им кривые, характеризующие динамику показателя уровня технологичности анализируемой и эталонной социально-экономических систем соответственно;
 C – точка пересечения указанных выше кривых; t_0 – текущий момент времени;
 TL_{a0} и TL_{e0} – показатели уровня технологичности анализируемой и эталонной социально-экономических систем соответственно в текущий момент времени;
 $\Delta TL_0 = (TL_{e0} - TL_{a0})$ – абсолютное отставание анализируемой социально-экономической системы от конкурента-лидера по уровню технологического развития в текущий момент времени; t_n – момент времени, когда анализируемая социально-экономическая система по уровню технологического развития догонит эталонную;
 $\Delta t = t_n - t_0$ – период времени, в течение которого анализируемая социально-экономическая система достигнет уровня технологичности эталонной системы

Fig. 3. Level of technological safety of the socio-economic system (national economy):

$TL_a(t)$ and $TL_e(t)$ are the functions and their corresponding curves characterising the dynamics of the indicator of the level of manufacturability, respectively, of the analysed (catching up) and reference (catching up) socio-economic systems; C is the point of intersection of the above curves; t_0 is the current moment of time; TL_{a0} and TL_{e0} are indicators of the level of manufacturability of the analysed and reference socio-economic systems, respectively, at the current moment of time; $\Delta TL_0 = (TL_{e0} - TL_{a0})$ is the absolute lag of the analysed socio-economic system from the leading competitor in terms of technological development at the current time; t_n is the moment of time when the analysed socio-economic system catches up with the reference one in terms of the level of technological development; $\Delta t = t_n - t_0$ is the period of time during which the analysed socio-economic system will reach the level of manufacturability of the reference

Таблица 1

Шкала качественной оценки технологической безопасности анализируемой социально-экономической системы (относительно догоняемой системы, принятой за эталон сравнения)

Table 1

The scale of the qualitative assessment of the technological safety of the analysed socio-economic system (relative to the catch-up, taken as the standard of comparison)

Уровень технологической безопасности экономической системы	Условия
Высокий	$\Delta TL_0 \leq 0$
	$0 < \Delta TL_0 \leq 0,5$ при условии $TL_a(t_0)' \geq TL_e(t_0)'$
	$\Delta TL_0 \geq 0,5$ при условии $\Delta t \leq \Delta t_n$
Средний	$\Delta TL_0 \geq 0,5$ при условии $\Delta t_n < \Delta t \leq 2\Delta t_n$
Удовлетворительный	$\Delta TL_0 \geq 0,5$ при условии $2\Delta t_n < \Delta t \leq 3\Delta t_n$
Низкий	$\Delta TL_0 \geq 0,5$ при условии $3\Delta t_n < \Delta t \leq 4\Delta t_n$
Кризисный	$\Delta TL_0 \geq 0,5$ при условии $\Delta t > 4\Delta t_n$

Таблица 2

Регрессионные уравнения, аппроксимирующие функции зависимости уровня технологичности национальной экономики от фактора времени в некоторых странах мира

Table 2

Regression equations approximating the functions of the dependence of the level of technological effectiveness of the national economy on the time factor in some countries of the world

Страна или группа стран	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Средняя ошибка аппроксимации, %
Россия	$TL_{RU}(t) = 29,617 - \frac{52\,099,513}{t}$	0,94	0,89	3,02
Беларусь	$TL_{BY}(t) = 61,947 - \frac{117\,952,094}{t}$	0,99	0,99	0,20
Китай	$TL_{CH}(t) = \exp(-26,522 + 0,014t)$	0,99	0,99	0,32
Страны G7	$TL_{G7}(t) = 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 + 1,029t + 991,399$	0,99	0,99	0,71

Таблица 3

Результаты определения уровня технологической безопасности некоторых стран мира в 2023 г.

Table 3

Results of determining of the technological safety level in some countries of the world in 2023

Анализируемая страна	Эталонная страна или группа стран	Период времени (Δt)	Уровень технологической безопасности
Россия	Страны G7	$\Delta t = \infty$	Критический
Беларусь	Страны G7	$\Delta t = \infty$	Критический
	Россия	$\Delta t = 13$	Средний
Китай	Страны G7	$\Delta t = 23$	Удовлетворительный

Заключение

В условиях резкого беспрецедентного обострения глобальных проблем цивилизации, обусловленных научно-техническим прогрессом, актуализируется проблема поиска новой экономической парадигмы – системы экономических знаний и соответствующей им практики. Преобладающая в мире стоимостная, затратная по своей сути доктрина развития де-факто не обеспечивает безопасного, по-настоящему устойчивого развития человечества. Фундаментальный недостаток этой доктрины заключается в том, что в силу сложности теоретического осмысления полезности и особенно ее количественного измерения экономисты, как правило, игнорируют полезностные характеристики исследуемых объектов и явлений, сосредоточивая внимание на их стоимостных параметрах.

Развиваемый нами ресурсно-полезностный подход, наоборот, предлагает уделить внимание именно полезностным критериям оценки социально-экономических процессов и управления ими. Применение данного подхода к научно-технической сфере позволило разработать методологические и методические основы количественного определения уровня технологического развития социально-экономических систем, а также уровня их технологической безопасности. Это дало возможность подтвердить недопустимое отставание Беларуси и России по уровню технико-технологического развития от мировых лидеров и диагностировать критический уровень технологической безопасности этих стран. Показано, что управление научно-технической сферой с учетом необходимости целенаправленного наращивания уровня технологического развития Беларуси и России должно стать основой их стратегии технологического намерствования.

Полагаем, что переориентация мировой экономики со стоимостных, затратных критериев развития на полезностные, нацеливающие на более результативное использование ограниченных ресурсов, может стать одним из ключевых направлений уверенного выхода цивилизации на траекторию безопасного, устойчивого развития.

Библиографические ссылки

1. Райзберг БА. Определение и обоснование стоимости, ценности социально-экономических объектов, благ, товаров, услуг. *Проблемы экономики и юридической практики*. 2018;3:12–15.
2. Макконелл КР, Брю СЛ. *Экономикс: принципы, проблемы и политика*. Москва: Инфра-М; 1999. 974 с.
3. Дондокова ЕБ, Пильчинова ЕВ. Эволюция определения понятия «производительные силы» в различных экономических школах. *Вестник ВСУТУ*. 2014;6:120–126.
4. Ильминская СА. Эффективность экономики: критерии и показатели. *Вестник ОрелГИЭТ*. 2010;4:103–107.
5. Ельмеев ВЯ. Экономическое развитие и потребительная сила общества. *Гуманитарные науки*. 1997;3:105–111.
6. Шумпетер Й. *Теория экономического развития*. Москва: Прогресс; 1982. 455 с.
7. Водомеров НК. Преодоление технологического отставания России и цифровая экономика. *Теоретическая экономика*. 2019;3:70–73.
8. Глазьев С. *Рывок в будущее. Россия в новом технологическом и мирохозяйственном укладах*. Москва: Книжный мир; 2019. 768 с.
9. Господарик ЕГ, Ковалёв ММ. Коллективная экономическая безопасность ЕАЭС: постановка проблемы, индикаторы, сводный индекс. *Белорусский экономический журнал*. 2022;2:23–33. DOI: 10.46782/1818-4510-2022-2-23-33.
10. Губанов СС. Неоиндустриальная модель развития и ее системный алгоритм. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2014;3:23–44.
11. Муха ДВ. Актуальные вопросы обеспечения научно-технологической безопасности Республики Беларусь в условиях инновационного развития национальной экономики. *Вестник Института экономики НАН Беларуси*. 2022;4:21–42. DOI: 10.47612/2789-5122-4-21-42.
12. Байнев ВФ. Технологическая компонента национальной безопасности Союзного государства Беларуси и России. *Экономист*. 2022;8:65–72.
13. Гораяева ТЮ. Теоретические вопросы обеспечения экономической безопасности государства в контексте технологического развития. В: Гончаров ВВ, редактор. *Система «наука – технологии – инновации»: методология, опыт, перспективы. Материалы Международной научно-практической конференции; 23–24 сентября 2021 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси; 2021. с. 157–162.

References

1. Raizberg BA. [Determination and justification of the cost, value of socio-economic objects, benefits, goods, services]. *Problemy ekonomiki i yuridicheskoi praktiki*. 2018;3:12–15. Russian.
2. McConnell KR, Brue SL. *Economiks: printsipy, problemy i politika* [Economics: principles, problems and politics]. Moscow: Infra-M; 1999. 974 p. Russian.
3. Dondokova EB, Pilchinova EV. Evolution of the «productive forces» definition in different economic schools. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya*. 2014;6:120–126. Russian.
4. Il'minskaya SA. [Effectiveness of economics: criteria and indicators]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i torgovli*. 2010;4:103–107. Russian.
5. El'meev VYa. [Economic development and consumer power of society]. *Gumanitarnye nauki*. 1997;3:105–111. Russian.
6. Schumpeter J. *Teoriya ekonomicheskogo razvitiya* [The theory of economic development]. Moscow: Progress; 1982. 455 p. Russian.
7. Vodomerov NK. Overcoming the technological backwardness of Russia and digital economy. *Teoreticheskaya ekonomika*. 2019;3:70–73. Russian.
8. Glaz'ev S. *Ryvok v budushchee. Rossiya v novom tekhnologicheskome i mirokhozyaistvennom ukladakh* [Leap into the future. Russia in the new technological and world economic order]. Moscow: Knizhnyi mir; 2019. 768 p. Russian.
9. Gospodarik EG, Kovalev MM. Collective economic security of the EAEU: statement of the problem, indicators, consolidated index. *Belarusian Economic Journal*. 2022;2:23–33. Russian. DOI: 10.46782/1818-4510-2022-2-23-33.
10. Gubanov SS. Neoindustrial development model and its system algorithm. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*. 2014;3:23–44. Russian.
11. Mukha DV. Topical issues of ensuring scientific and technological security of the Republic of Belarus in the conditions of national economy innovative development. *Bulletin of the Institute of Economics of NAS of Belarus*. 2022;4:21–42. Russian. DOI: 10.47612/2789-5122-4-21-42.
12. Baineв VF. [Technological component of the national security of the Union state of Belarus and Russia]. *Ekonomist*. 2022;8:65–72. Russian.
13. Goraeva TYu. [Theoretical issues of ensuring the economic security of the state in the context of technological development]. In: Goncharov VV, editor. *Sistema «nauka – tekhnologii – innovatsii»: metodologiya, opyt, perspektivy. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 23–24 sentyabrya 2021 g.; Minsk, Belarus'* [The system «science – technology – innovation»: methodology, experience, prospects. Materials of the International scientific and practical conference; 2021 September 23–24; Minsk, Belarus]. Minsk: Tsentr sistemnogo analiza i strategicheskikh issledovaniy NAN Belarusi; 2021. p. 157–162. Russian.

Статья поступила в редколлегию 27.06.2023.
Received by editorial board 27.06.2023.

БЕЛАРУСЬ И КАЗАХСТАН: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯЕ. Г. ГОСПОДАРИК^{1), 2)}, А. В. КИСЕЛЕВ³⁾¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь²⁾Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации,
пр. Ленинградский, 49, 125167, г. Москва, Россия³⁾БТА Банк, ул. В. Хоружей, 20-2, 220123, г. Минск, Беларусь

Анализируется опыт экономического развития входящих в ЕАЭС Беларуси и Казахстана за 30 лет (1992–2022). Приводится динамика экономического роста и увеличения доли этих стран в мировой экономике. Значительное внимание уделяется их финансовому развитию и формированию инвестиционного процесса и рынков капитала в Беларуси и Казахстане. Проанализированы усилия государств по повышению эффективности инновационных систем. Даны рекомендации по взаимному обмену трансформационным опытом.

Ключевые слова: двухкоординатная модель; инвестиционный процесс; финансовое развитие; ЕАЭС; экспортная квота; взаимная торговля; экономический рост; внешняя торговля; торговые потоки.

BELARUS AND KAZAKHSTAN: COMPARATIVE ANALYSIS
OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENTC. G. GOSPODARIK^{a, b}, A. V. KISSELEV^c^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus^bFinancial University under the Government of the Russian Federation,
49 Leningradskii Avenue, Moscow 125167, Russia^cBTA Bank, 20-2 V. Haruzhai Street, Minsk 220123, Belarus

Corresponding author: C. G. Gospodarik (gospodarik@bsu.by)

The authors of the article analyse the experience of economic development of the EAEU partners Belarus and Kazakhstan over 30 years (1992–2022). The dynamics of economic growth and an increase in the share in the world economy are given. Considerable attention is paid to financial development and the formation of the investment process and capital markets of these countries. The state's efforts to improve the efficiency of innovation systems are analysed. Recommendations on mutual borrowing of transformational experience are given.

Keywords: two-coordinate model; investment process; financial development; EAEU; export quota; mutual trade; economic growth; foreign trade; trade flows.

Образец цитирования:

Господарик ЕГ, Киселев АВ. Беларусь и Казахстан: сравнительный анализ социально-экономического развития. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023;2:61–71.
EDN: XGQGWF

For citation:

Gospodarik CG, Kisselev AV. Belarus and Kazakhstan: comparative analysis of socio-economic development. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;2:61–71. Russian.
EDN: XGQGWF

Авторы:

Екатерина Геннадьевна Господарик – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой аналитической экономики и эконометрики экономического факультета¹⁾, профессор департамента бизнес-аналитики²⁾.
Андрей Владимирович Киселев – заместитель председателя правления.

Authors:

Catherine G. Gospodarik, PhD (economics), docent; head of the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics^a, and professor at the department of business analysis^b.
gospodarik@bsu.by
Andrei V. Kisselev, deputy head of the governing body.
kisselevav@btbank.by

Введение

Сравнительный анализ развития постсоветских республик позволяет глубже понять экономические трансформационные процессы и выявить возможности для совершенствования экономической политики за счет заимствования друг у друга опыта. Научные работы по данной теме, кроме публикаций международных организаций¹, практически отсутствуют.

Экономический рост и благосостояние населения

В первые годы после получения независимости Беларусь и Казахстан испытали жесткие экономические потрясения от разрыва советских цепочек добавленной стоимости и от открытия их малоконкурентных экономик для товаров развитых стран, что вызвало существенное падение ВВП в 1990–1995 гг. (в Беларуси на 40 %, в Казахстане на 36 %). Однако Беларусь с 1996 г., а Казахстан с 2000 г. перешли к экономическому росту, который у обеих стран до 2013 г. был выше среднемирового роста, и поэтому доли их экономик в мировой экономике росли, а это значимость стран в мире (рис. 1, ось ординат). Два важнейших показателя – доля страны в мировом населении и ВВП – представлены в двухкоординатной модели (см. рис. 1), проанализировав которую можно сделать вывод, что с 2000 г. экономики и Беларуси, и Казахстана росли быстрее мировой экономики, поэтому они увеличивали свою значимость в мире посредством роста доли ВВП по ППС. Однако с 2012 г. темп роста ВВП и Беларуси, и Казахстана стал ниже среднемирового и поэтому страны стали уменьшать доли данного показателя в мире. При этом в отдельные годы (2013, 2018, 2019, 2021) Казахстан восстанавливал высокий темп роста и несколько раз вновь увеличивал свою долю, однако этот процесс нестабилен и скорее связан с ростом цен на нефть. Поэтому и Беларуси, и Казахстану следует разобраться с причинами замедления роста ВВП после 2013 г., устранить их и продолжить догоняющее развитие. А значимость стран в мире по доле населения пока не восстановлена у обоих государств (см. рис. 1, ось абсцисс).

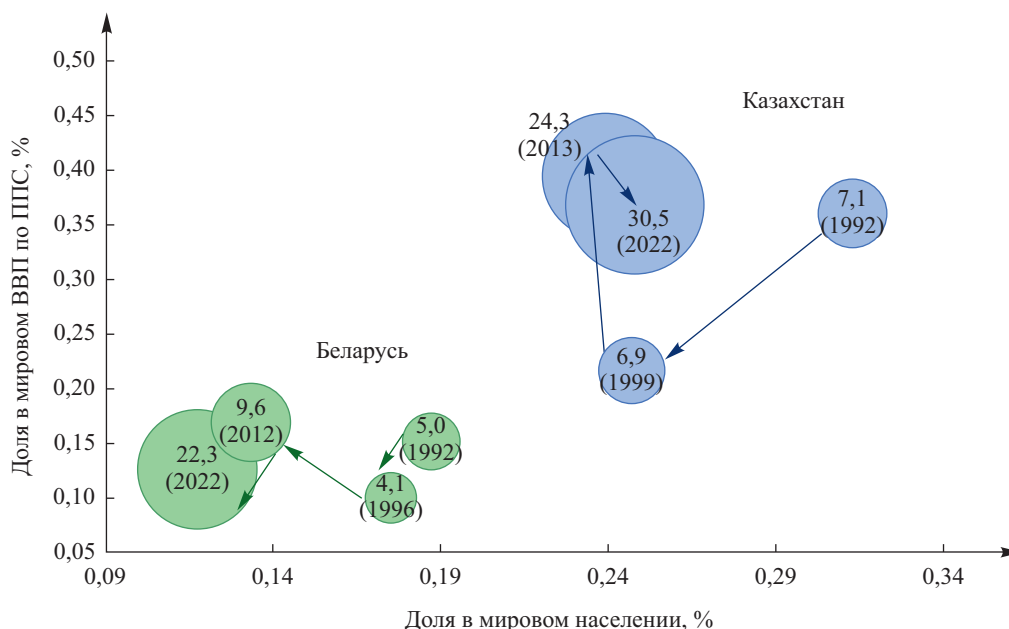


Рис. 1. Двухкоординатная модель траекторий развития Беларуси и Казахстана. В шарах отмечены ВВП по ППС на душу населения, тыс. долл. США (рассчитано авторами по базе данных МВФ)

Fig. 1. Two-coordinate model of the development trajectories of Belarus and Kazakhstan. In balls GDP by PPP per capita in thsd US dollars are marked (authors' calculation on the data base of International Monetary Fund)

¹Путь к более стойкой, инклюзивной и экологичной экономике на Кавказе и в Центральной Азии [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/087/2023/004/087.2023.issue-004-ru.xml> (дата обращения: 10.05.2023); Трансформация экономики Казахстана [Электронный ресурс]. URL: https://www.kas.de/documents/266501/266550/Book_RUS_final.pdf/2310040c-298d-1c7d-a8b6-cc375ea011c7?version=1.0&t=1570186733047 (дата обращения: 10.05.2023); Комплексный страновой обзор Казахстана. Ч. 1. Предварительная оценка [Электронный ресурс]. URL: https://www.oecd.org/dev/MDCR_Phase-I_Brochure_RUS_web.pdf (дата обращения: 10.05.2023); Комплексный страновой обзор Казахстана. Ч. 2. Углубленный анализ и рекомендации [Электронный ресурс]. URL: https://www.oecd.org/dev/MDCR_Kazakhstan_Vol_2_web.pdf (дата обращения: 10.05.2023); A regional policy measure to support diversification and productivity growth in Kazakhstan and Belarus. Paris : OECD Publ., 2018. 70 p.

Важнейший результат экономического роста – это увеличение благосостояния, а оно определяется ВВП по ППС на душу населения. К 2022 г. уровень благосостояния в Казахстане достиг 61 %, а в Беларуси – 41 % от уровня благосостояния среднего гражданина ЕС при начальном уровне 31 и 20 % в 1995 г. соответственно (рис. 2). Таблица 1 показывает, что сегодня благосостояние граждан Казахстана на 27 % выше благосостояния граждан Беларуси. При этом по данному показателю Казахстан отстает от Турции, где в 2022 г. благосостояние граждан составило 33 764 долл. США (при показателе 7840 долл. США в 1992 г.). Однако уровень Турции ниже среднего уровня по ЕС (54 300 долл. США).

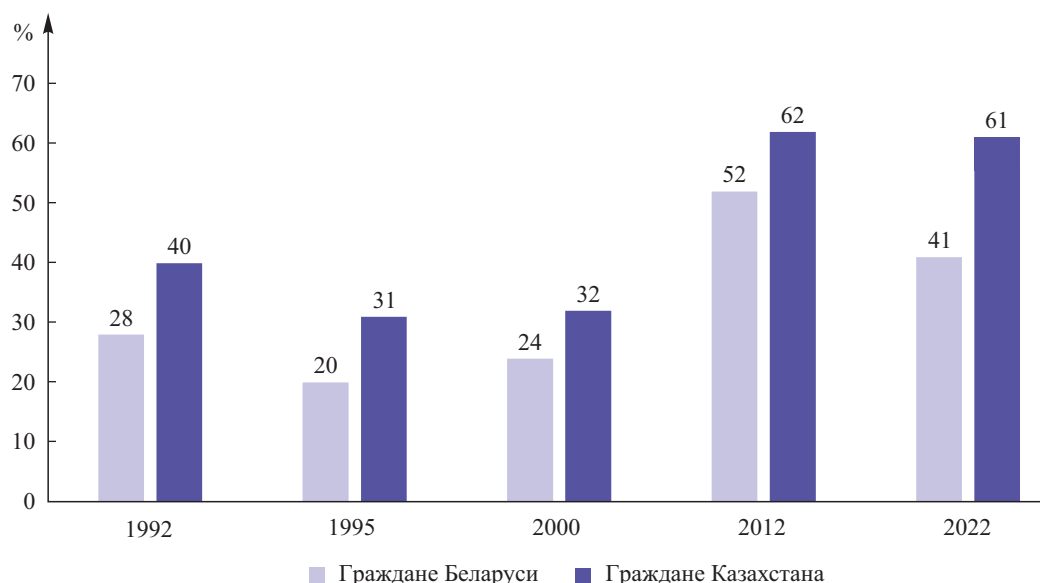


Рис. 2. Динамика роста уровня благосостояния (ВВП по ППС белорусов и казахов от среднего уровня по ЕС; рассчитано авторами по базе данных МВФ)

Fig. 2. The dynamics of growth in the level of welfare (GDP by PPP of Belarusians and Kazakhs from the EU average; authors' calculation on data base of International Monetary Fund)

Основой экономического роста Казахстана с 2000 г. выступает экспорт сырьевых ресурсов (нефти, газа, меди, урана, пшеницы, угля, серы), а Беларуси с 1996 г. – восстановление советских сборочных заводов и экспорт их продукции в Россию.

Кроме того, обе страны значительное внимание уделяли продовольственной безопасности и повышению эффективности сельского хозяйства. К этому обязывали значительные площади пахотных земель на душу населения (в Беларуси они составляют 0,6 га, в Казахстане – 1,1 га (при среднемировой норме 0,2 га)), однако разное качество земли и неодинаковые климатические условия ведут к разной продуктивности Беларуси и Казахстана: урожайность зерновых составляет 35 и 12 ц/га, надой от коровы – около 6 и 2,5 тыс. кг соответственно. В рамках единой агропромышленной политики ЕАЭС стоит задача совместными усилиями перейти к импортозамещению в семеноводстве и животноводстве и укрепить свои конкурентные позиции (для Казахстана на мировом рынке зерна, для Беларуси на мировом рынке молочной продукции).

Таблица 1

Динамика важнейших экономических показателей Беларуси и Казахстана

Table 1

Dynamics of the most important economic indicators of Belarus and Kazakhstan

Страна	Год	Показатели				
		Численность населения, млн чел.	ВВП по обменному курсу, млрд долл. США	ВВП по ППС, млрд долл. США	ВВП по ППС на душу населения, долл. США	Доля в мировой экономике (ВВП по ППС)
Беларусь	1992	10,20	12,8	50,7	4963	0,152
	2000	9,99	10,8	57,9	5797	0,115
	2022	9,30	73,1	207,6	22 312	0,127

Окончание табл. 1
Ending of the table 1

Страна	Год	Показатели				
		Численность населения, млн чел.	ВВП по обменному курсу, млрд долл. США	ВВП по ППС, млрд долл. США	ВВП по ППС на душу населения, долл. США	Доля в мировой экономике (ВВП по ППС)
Казахстан	1992	17,10	2,9	120,2	7052	0,361
	2000	14,87	18,3	114,9	7727	0,227
	2022	19,70	225,8	609,9	30 544	0,369

Примечание. Подготовлено на основе расчетов авторов по базе данных МВФ.

Важнейший показатель для экономического роста страны – рост трудовых ресурсов, который в Беларуси снижается ускоряющимися темпами, несмотря на принимаемые меры и их эффективное использование. В Казахстане численность населения снижалась из-за миграции только до 2001 г., в последующие годы начался устойчивый прирост численности населения с темпом 1,3 % в год. Среднегодовой рост ВВП по обменному курсу в 2000–2022 гг. составлял для Беларуси 9,08 % и для Казахстана 12,1 %. По паритетному курсу среднегодовой рост меньше: для Беларуси он равнялся 5,98 %, для Казахстана – 7,83 %. Темпы роста даны в текущих долларах, и для оценки реального роста в постоянных долларах эти темпы следует скорректировать на долларовую инфляцию, которая за 22 года составила 169 % со среднегодовым ростом 2,42 %.

Инвестиционный процесс и финансовое развитие

Главным фактором экономического роста является накопление основного капитала (оборудование заводов, инфраструктура и т. д.), которое зависит от нормы сбережений и эффективности рынков капитала, осуществляющих трансфер сбережений в реальные инвестиции [1]. В табл. 2 представлены главные индикаторы инвестиционного процесса в Беларуси и Казахстане.

Таблица 2

Основные индикаторы инвестиционного процесса
в Беларуси и Казахстане за 2022 г., % от ВВП страны

Table 2

Key indicators of the investment process
in Belarus and Kazakhstan for 2022, % of the country's GDP

Индикатор с указанием источника данных (базы данных)	Беларусь	Казахстан	Среднемировое значение
Среднегодовое значение валовых сбережений за XXI в. (Всемирный банк)	27,5	29,5	26,3
Валовые финансовые активы населения (банк «UBS») приведены в числителе, банковские депозиты (национальные данные) приведены в знаменателе	$\frac{117,0}{12,5}$	$\frac{62,0}{15,4}$	$\frac{260}{80}$
Госдолг (МВФ)	39,7	22,4 (2021)	–
Рыночная капитализация домашних компаний (Всемирный банк)	2,6 (2016)	26,4 (2020)	101
Объем торговли акциями (Всемирный банк)	0,01 (2020)	0,23 (2020)	83,8 (2019)
Кредиты частному сектору, включая коммерческие госпредприятия, приведены в числителе, банковские кредиты (Всемирный банк) приведены в знаменателе	$\frac{29,2 (2021)}{24,1 (2021)}$	$\frac{25,6}{23,2}$	$\frac{114,8}{98,6}$
Накопленные ввезенные ПИИ (ЮНКТАД)	21,9	68,3	44
Валовые резервы, включая золото (Всемирный банк)	12,4 (2021)	15,5	–

Окончание табл. 2
Ending of the table 2

Индикатор с указанием источника данных (базы данных)	Беларусь	Казахстан	Среднемировое значение
Валовые накопления основного капитала (среднее значение за XXI в.) (МВФ)	30,3	24,3	25,0
Основной капитал (частный и государственный) (МВФ)	$150 + 25 = 175^*$	$115 + 26 = 141^*$	—

Примечания: 1. Символом * обозначены расчеты, произведенные авторами по модели $K(t+1) = (1 - \delta)K(t) + INV(t)$, где δ – амортизация; INV – инвестиции. С учетом информации из базы данных ICSD МВФ для Беларуси $K(2014) = 131 + 22 = 153$ и для Казахстана $K(2014) = 111 + 26 = 137$. 2. Подготовлено авторами по указанным базам данных.

Анализ вышеприведенной информации позволяет сделать следующие выводы.

1. У обеих стран маломощные банковские системы, соответственно, производство ВВП менее чем на четверть кредитуется банками при мировой норме 99 %. Основная причина возникновения такой ситуации – крайне низкая монетизация, вызванная инфляцией и девальвациями. Так, на конец 2021 г. коэффициент монетизации экономики в национальной валюте М2 к ВВП составлял 16,3 % в Беларуси и 24,1 % в Казахстане (для сравнения: в России этот коэффициент составляет 54,4 % (данные Евразийской экономической комиссии (ЕЭК) ЕАЭС)). Долларизация и высокая ставка рефинансирования выступают еще одной причиной низкой монетизации и невысокого вклада в инвестиционный процесс банковских кредитов. Небольшие и дорогие кредиты тормозят рост экономик Беларуси и Казахстана, ввиду чего инвестиционный процесс в странах поддерживается собственными средствами предприятий (в Беларуси они составляют 43 %, в Казахстане – 65 %) и средствами бюджета (в Беларуси они составляют 20,6 %, в Казахстане – 15,5 %), при этом население инвестирует мало (в Беларуси этот показатель составляет 14,4 %, в Казахстане – 9 %). Более подробный анализ по всем странам ЕАЭС представлен в [2].

Таким образом, обеим странам следует уделить пристальное внимание финансовой стабильности: удержанию инфляции в диапазоне 3–5 %, переходу к стабильному обменному курсу национальных валют с отвязкой его от курса российского рубля. Беларуси и Казахстану необходимо вести ценообразование в торговле с Россией и между собой в своих национальных валютах с мгновенной конвертацией их по текущему обменному курсу. Расчеты в российских рублях для обеих стран неэффективны и эквивалентны расчетам в долларах США. Нужно сначала за счет экспорта заработать российские рубли, а потом заморозить их в обслуживании расчетов.

2. Рыночная капитализация домашних компаний (*listed domestic companies*) у обеих стран крайне низкая и не может служить источником инвестиций из-за почти нулевого объема биржевых торгов акциями. Поэтому государствам необходимо установить для открытых акционерных обществ лимит объема выпущенных в обращение акций, например хотя бы в 10 % (так сделано во многих странах), для постепенной организации фондового рынка и установления рыночной котировки акций, в том числе госпредприятий.

Для белорусских госпредприятий это удачный момент выпуска в обращение 10–15 % акций, которые в нынешних условиях купят собственное население и население партнеров по ЕАЭС (его следует также допустить к торгам в рамках создаваемого единого биржевого пространства).

3. Ввезенные прямые иностранные инвестиции у Казахстана ежегодно составляют около 3,3 % ВВП (среднее значение в мире составляет 2 %), и поэтому их накопление к 2022 г. достигло 154,2 млрд долл. США, или 68,3 % ВВП, что превышает среднемировую норму, составляющую 44 % ВВП. Однако они вложены в основном в добычу полезных ископаемых, поэтому Казахстану следует использовать опыт Китая по разбиению секторов инвестирования на поощряемые (высокие технологии) и сдерживаемые (добыча полезных ископаемых). Из значительных золотовалютных резервов Казахстана, составляющих 35,1 млрд долл. США, возможно изъять часть и направить в Национальный фонд Республики Казахстан при особом контроле эффективности использования. У Беларуси накопленные ПИИ ровно в 2 раза меньше среднемировой нормы, поэтому в сложившихся условиях следует стимулировать привлечение ПИИ от Китая и почти 150 стран инициативы «Один пояс, один путь» с ориентацией на экспорт.

4. Неразвитость рынков капитала ведет к низкой норме финансовых активов населения (депозиты, акции, облигации и пр.). В накопленном богатстве взрослого населения их доля в Казахстане составляет 19,4 %, в Беларуси – 32,8 % при среднемировом показателе 51,1 %, т. е. пока главное богатство наших народов – недвижимость. Отметим, что, по данным банка UBS², суммарное богатство домашних

²Отчеты о богатстве населения ежегодно с 2000 г. готовят швейцарский банк «Credit Suisse» и известная немецкая страховая компания «Allianz», основываясь на базах данных Всемирного банка, МВФ (по сбережениям и др.), на их же сайтах имеются пояснения по методикам расчета богатства населения. Результаты немного разнятся, но признаются экономическими кругами.

хозяйств в Казахстане в 2022 г. выросло на рекордные 29 %, в то время как у США оно уменьшилось на 4,1 % из-за падения фондового рынка примерно на 20 %. Из этого следует, что богатство населения и его финансовые активы являются волатильными, на них воздействуют девальвации, падения и взлеты фондовых рынков и цен на недвижимость. Кроме того, Казахстану уже можно обратить внимание на сдерживание процесса расслоения населения, о чем свидетельствуют коэффициенты Джини: 27,8 % по всему населению в Казахстане, 24,4 % по всему населению в Беларуси. Эти данные дают Беларуси 2-е или 3-е место в мире по социальной справедливости (по данным ООН), показатель богатства взрослого населения в Казахстане составляет 77,6 %, в Беларуси – 67,2 % (по данным банка UBS). В 2021 г. число миллионеров в Казахстане составило 38 640 человек, в Беларуси – 6949 человек, при этом доля богатства миллионеров в 2022 г. в Казахстане превышает 0,5 %, а в Беларуси – 0,1 % от всего богатства. Общее богатство (финансовое и нефинансовое) оценено в 2022 г. в Беларуси в 255 млрд долл. США, или 348 % ВВП, в Казахстане в 720 млрд долл. США, или 319 % ВВП (богатство на одного взрослого представлено на рис. 3). Взрослый гражданин Казахстана располагает богатством в 1,67 раза большим, чем гражданин Беларуси, однако финансовые активы незначительно (на 3,7 %) выше у гражданина Беларуси (см. рис. 3). Среднемировые значения получаются высокими из-за накопленного веками богатства американцев и европейцев, которое достигло 551 347 долл. США и 202 163 долл. США на взрослого соответственно.

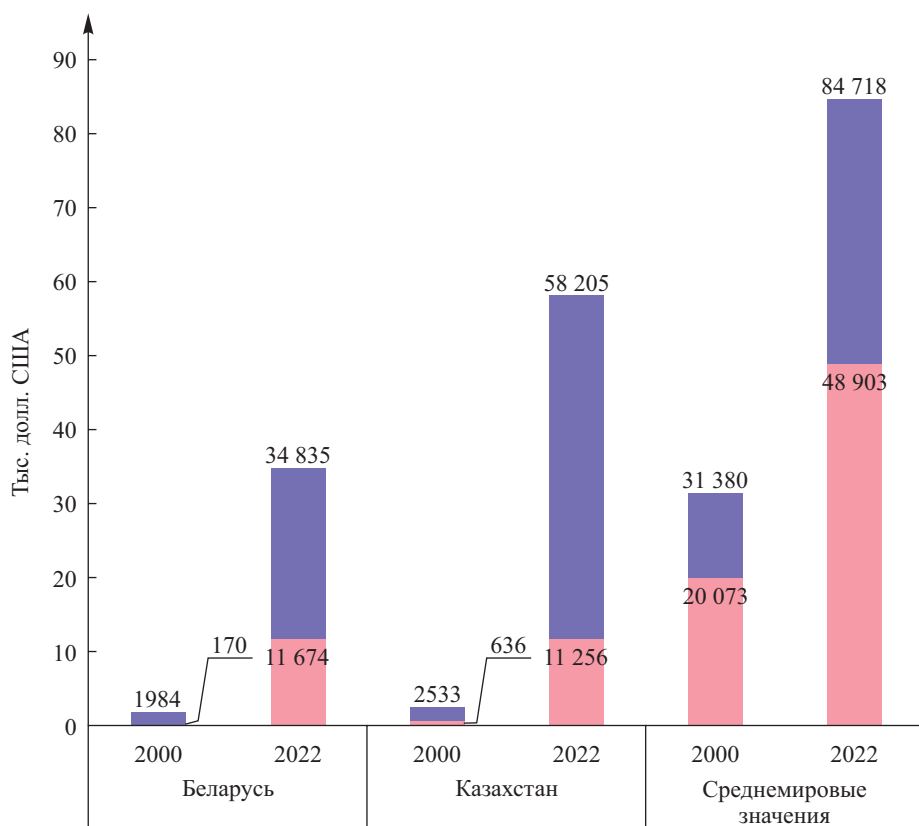


Рис. 3. Динамика накопления богатства
(в том числе финансовые активы) населением (на каждого взрослого, долл. США)
(рассчитано авторами по базе данных Global Wealth Databook – 2023 (банк «UBS»))

Fig. 3. Dynamics of wealth (including financial assets) accumulation
by the population (per adult, US dollars)
(authors' calculation on the data base Global Wealth Databook – 2023 (USB bank))

Из-за более выраженного расслоения населения, в том числе и из-за существенно большего количества миллионеров, медианное богатство (25,2 тыс. долл. США) у казахов составляет только 43 % от среднего значения, а у белорусов – 53,5 %.

5. Накопленный основной капитал Беларуси и Казахстана по международной статистике МВФ пока невелик и составляет 175 и 141 % ВВП соответственно (для сравнения: у Китая этот показатель равен 403 %, у США – 240 %). Национальная статистика, по данным ЕЭК ЕАЭС, в 2021 г. оценивала его по первоначальной стоимости без амортизации в 176 и 349,5 млрд долл. США, т. е. в 260 и 160 % от ВВП соответственно. Однако из этой цифры нужно вычесть износ основных фондов (амортизацию): для Беларуси эта величина равна 40,7 %, для Казахстана – 44,1 %. По статистике ЕЭК ЕАЭС инвестиции в основной капитал за последние 5 лет с 2019 г. и в Беларуси, и в Казахстане снизились, их доля от ВВП составила

соответственно для Беларуси 20,4; 21,4; 19,8; 17,6; 14,4 %, для Казахстана 18,1; 18,1; 17,4; 15,8; 14,8 %. Очевидно, что такой уровень инвестиций восполняет только износ (амортизацию) основных фондов.

6. Активы инвестиционных фондов в Казахстане возросли в 2011 г. и достигли 8 % ВВП, но позднее снизились до 3 % ВВП (по данным Всемирного банка). В Беларуси их вообще нет, практически как и биржевой торговли акциями, поэтому стране следует заимствовать опыт Казахстана по созданию частных инвестиционных фондов прямого (венчурного) инвестирования успешно функционирующих в Казахстане ипотечных фондов, а также быстро создать единое биржевое пространство ЕАЭС и общий рынок коллективных инвестиций (подробнее см. [3]).

В целом уровень финансового развития стран МВФ оценивает с помощью индекса финансового развития (*financial development*, FD), который представляет собой среднеарифметическое двух субиндексов: качества финансовых институтов (*financial institutions*, FI) и развития рынков (*financial markets*, FM), эти субиндексы есть средневзвешенное трех индексов (доступ, глубина, эффективность), вычисляемых как среднее значение своих 2–4 показателей³. Из рис. 4 видно, как сильно, по мнению МВФ, Беларусь уступает в финансовом развитии Казахстану (исключение – индекс эффективности финансовых институтов (*financial institutions efficiency*, FIE)). В целом по индексу FD Казахстан, в свою очередь, существенно уступает развитым странам и находится на уровне таких стран Центральной и Восточной Европы, как Болгария, Чехия, Словения.

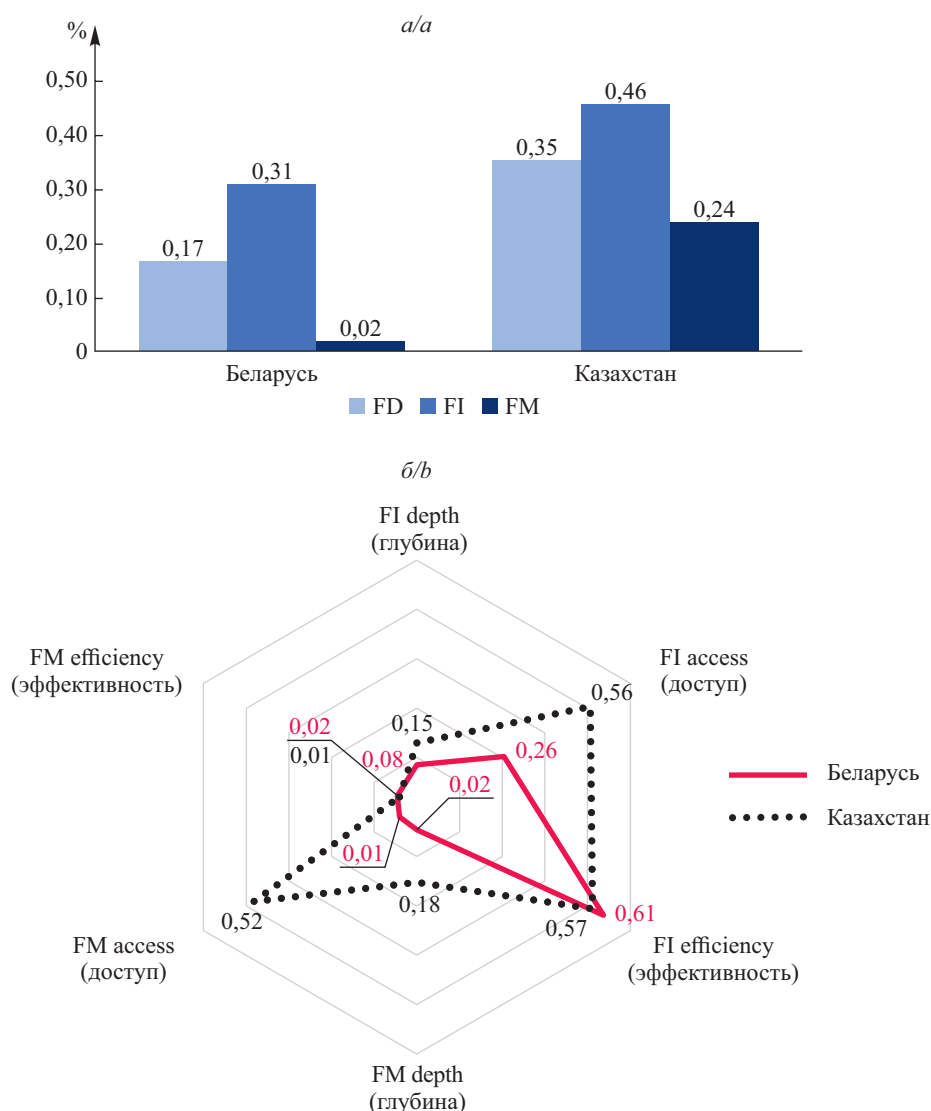


Рис. 4. Сравнительный анализ индекса финансового развития МВФ за 2021 г. для Беларуси и Казахстана (разработано авторами на основе данных портала МВФ)

Fig. 4. Comparative analysis of the IMF financial development index for 2021 for Belarus and Kazakhstan (developed by the authors on the data of IMF)

³Подробнее см.: Introducing a new broad-based index of financial development [Electronic resource]. URL: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2016/wp1605.pdf> (date of access: 15.05.2023).

Внешняя торговля

Анализ приведенных в табл. 3 показателей внешней торговли обеих стран показывает, что темп роста экспорта и импорта как товаров, так и услуг у них был чрезвычайно высоким. Более детально эта ситуация анализируется на рис. 5, который показывает, как Казахстан и Беларусь отвоевывают свои доли на мировом рынке товаров и услуг.

Таблица 3

Показатели внешней торговли, млрд долл. США

Table 3

Indicators of foreign trade, bln US dollars

Страна	Год	Показатели					
		Экспорт товаров	Импорт товаров	Чистый экспорт товаров	Экспорт услуг	Импорт услуг	Чистый экспорт услуг
Казахстан	1992	3,3	4,0	–0,7	0,5*	0,8*	–0,3*
	2000	8,8	5,0	3,8	1,1	1,9	–0,8
	2022	84,7	49,6	35,1	7,9	9,0	–2,1
Беларусь	1992	3,6	3,5	0,1	0,5*	0,3*	0,2*
	2000	7,3	8,6	–1,3	1,0	0,5	0,5
	2022	38,4	38,5	–0,1	9,2	5,0	4,2

Примечания: 1. Разработано авторами на основе информации базы данных ВТО. 2. Символом * обозначены данные за 1995 г.

Как видно из приведенных в табл. 3 данных, чистый экспорт товаров и услуг увеличивал ВВП в 2022 г. Казахстана на 14,6 %, Беларуси на 5,6 %.

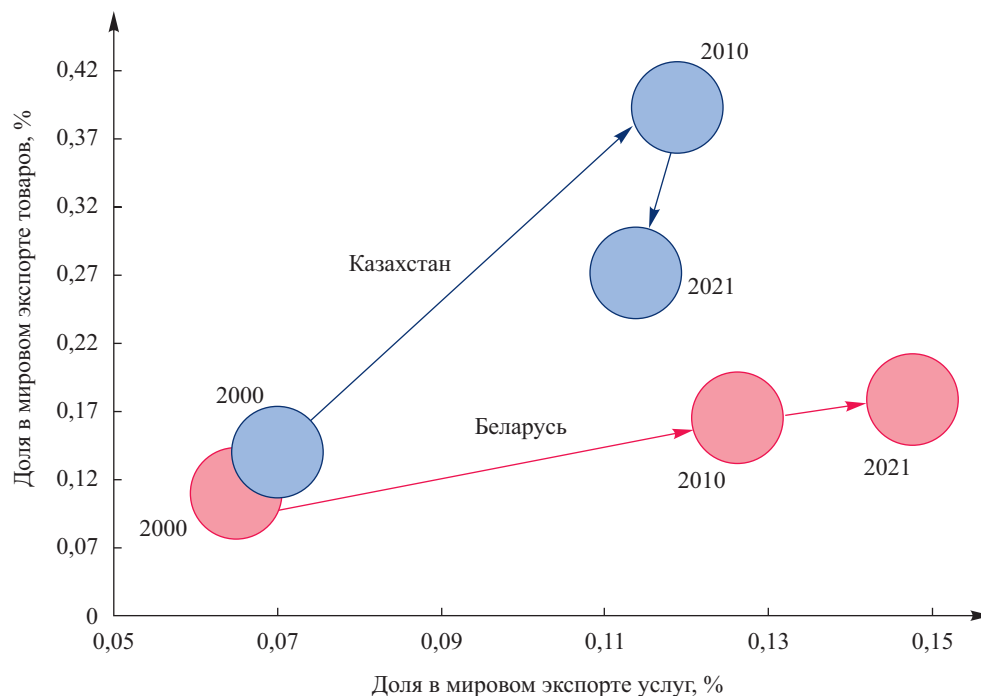


Рис. 5. Двухкоординатная модель динамики укрупненной траектории экспорта товаров и услуг (рассчитано авторами по базе данных ВТО)

Fig. 5. Two-coordinate model of the dynamics of the enlarged trajectory of exports of goods and services (authors' calculation on the data base of WTO)

Данные вышеприведенного рисунка свидетельствуют о том, что в XXI в. доли Беларуси и Казахстана в мировом экспорте товаров и услуг значительно увеличились (см. рис. 5). В товарном импорте доля Беларуси составляет примерно 0,17 %, Казахстана – 0,21 % от мирового импорта. Напомним, что в мире доля по ВВП Беларуси составляет 0,127 %, Казахстана – 0,37 %.

Экспортная квота (отношение экспорта к ВВП) Казахстана по товарам и услугам зависит от мировых цен на нефть и колеблется от 30 до 39 % ВВП. У Беларуси она выше и составляет 125 % ВВП, что даже для малых экспортно ориентированных государств является большим значением.

Участие Беларуси и Казахстана во взаимной торговле ЕАЭС отражено на рис. 6. Заметим, что взаимная торговля Беларуси и Казахстана невелика. В 2021 г. она достигла 1 млрд долл. США, увеличившись за период 2017–2022 гг. на 47 %.

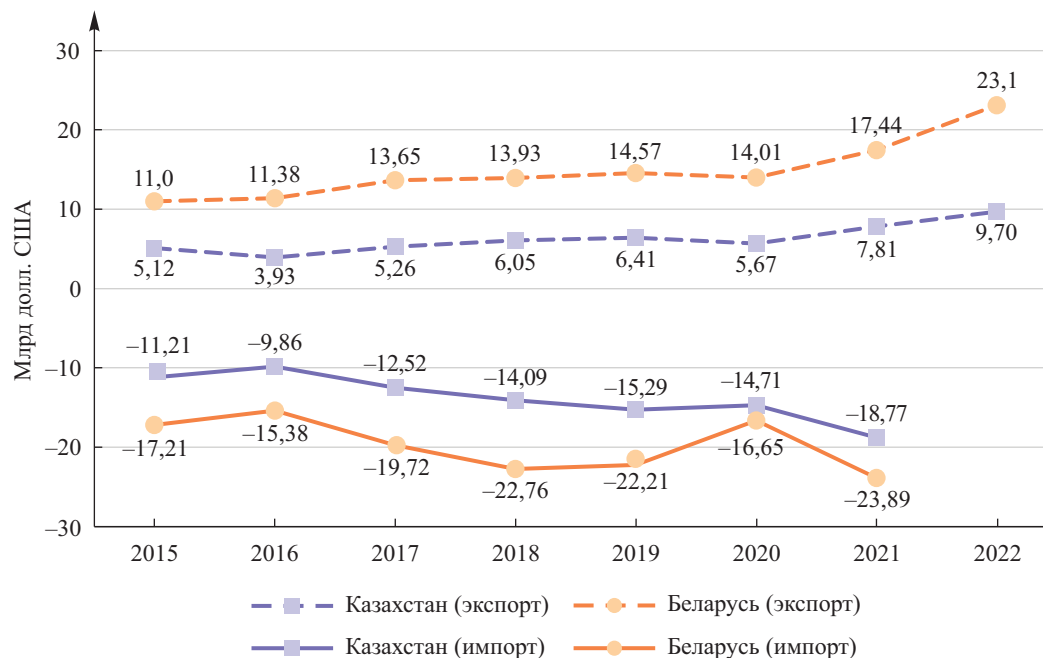


Рис. 6. Взаимный экспорт и импорт Казахстана и Беларуси внутри ЕАЭС, млрд долл. США

Fig. 6. Mutual exports and imports of Kazakhstan and Belarus within the EAEU, bln US dollars

Удельный вес взаимной торговли Беларуси в общем объеме ее внешней торговли колеблется в диапазоне 49,5–52,5 %, т. е. половина белорусских товаров идет в страны ЕАЭС, аналогичный показатель у Казахстана вырос с 20,8 % в 2015 г. до 26,1 % в 2021 г., но он по-прежнему значительно ниже удельного веса взаимной торговли Беларуси, поскольку свои сырьевые товары Казахстан продает странам Запада и Китаю.

Человеческое и инновационное развитие

В XXI в. мировой успех страны и ее будущее существенно зависят от качества человеческого капитала и инновационной системы страны [4], которые позволяют быстро осуществить цифровую трансформацию промышленности и сельского хозяйства и выстроить сектор услуг, конкурентный в условиях цифровой глобализации (табл. 4) [5].

Таблица 4

Беларусь и Казахстан в рейтинге ООН по человеческому развитию (HDI) и значения важнейших показателей

Table 4

Belarus and Kazakhstan in the UN rating on human development (HDI) and the values of the most important indications

Страна	HDI-2021	Ожидаемая продолжительность жизни, лет	Ожидаемая продолжительность обучения, лет	Средняя продолжительность обучения, лет	Коэффициент Джини, %	Гендерное неравенство	Достижение 17 целей устойчивого развития
Беларусь	60	72,4	15,2	12,1	24,4	29	34
Казахстан	56	69,4	15,8	12,3	27,8	41	66

Примечание. Разработано авторами по данным ООН.

В последнем индексе человеческого развития ООН Казахстан опережает Беларусь за счет лучших показателей по продолжительности обучения и значительно большего валового национального дохода на душу населения.

Однако в последнем Глобальном инновационном рейтинге 2022 г. Беларусь опережает Казахстан, хотя тоже занимает 77-е место (табл. 5). Причиной такого положения являются низкие показатели у обеих стран по результативности инновационных систем: малое количество РСТ-патентов, публикаций в престижных журналах, входящих в базу «Scimago», и низкая цитируемость работ национальных ученых. У Беларуси отличные показатели по экспорту ИКТ-услуг (10-е место в мире) в отличие от Казахстана (115-е место в мире). Однако в связи с переездом большого количества программистов из России в Казахстан и из-за внимания правительства к этому сектору очевидно, что Казахстан в ближайшие годы улучшит данный показатель.

Таблица 5

**Беларусь и Казахстан в рейтинге ВОИС по инновационному развитию (ГИ)
и значения важнейших показателей**

Table 5

**Belarus and Kazakhstan in the WIPO rating on innovation development
and the values of the most important indicators**

Страна	ГИ	Input (потенциал)	Output (результаты)	Количество мобильных телефонов	Количество РСТ-патентов	Количество публикаций в базе «Scopus»	Цитируе- мость (h-индекс)	Высоко- техноло- гичный экспорт	ИКТ-эк- спорт услуг	Экспорт креа- тивных товаров
Беларусь	77	86	63	20 (52,8 на 1 млрд ВВП по ППС)	63 (0,1 на 1 млрд ВВП по ППС)	104 (6,8 на 1 млрд ВВП по ППС)	75 (9,8)	56 (2,2 % от экспорта)	10 (7,5 % от экспорта)	53 (0,7 % от экспорта)
Казахстан	83	65	97	65 (3,0 на 1 млрд ВВП по ППС)	73 (0,1 на 1 млрд ВВП по ППС)	117 (3,9 на 1 млрд ВВП по ППС)	93 (5,3)	36 (5,2 % от экспорта)	115 (0,3 % от экспорта)	79 (0,1 % от экспорта)

Примечание. Разработано авторами по данным ВОИС.

Заключение

Беларусь и Казахстан существенно различались по экономическому потенциалу к моменту обретения независимости: Беларусь была сборочным цехом СССР с огромной обрабатывающей и нефтехимической промышленностью, а Казахстан – ресурсной экономикой и поставщиком огромного количества полезных ископаемых (нефть, газ, золото, уран и т. д.) для заводов СССР (ВВП по ППС в 1992 г. в Беларуси составлял только 70 % от уровня Казахстана).

Падение экономик обеих стран в результате распада советских хозяйственных связей продолжалось в Беларуси до 1995 г., что сократило ВВП на 40 %, в Казахстане до 1999 г., что сократило ВВП на 30 %. Далее до 2012 г. экономики обоих государств росли с темпом выше среднемирового, соответственно, существенно увеличились доли ВВП Беларуси и Казахстана в мире, что позволило отдельным экономистам обсуждать причины казахского и белорусского «экономического чуда» и причины медленного экономического роста этих стран после 2013 г. Причиной этого роста у Казахстана, быстро восстановившего и расширившего добычу полезных ископаемых за счет иностранных инвестиций (либерализация допуска иностранцев к природным ресурсам), стала сырьевая рента. Экономическому росту Беларуси способствовали восстановление и модернизация советских сборочных заводов и налаживание экспорта их продукции в Россию за счет установления Президентом Республики Беларусь связей с российскими регионами.

В Казахстане, провозгласившем с первых лет независимости курс на построение современной индустриальной экономики, до падения цен на мировых сырьевых рынках в 2014 г. на самом деле происходил процесс деиндустриализации из-за медленно реализовываемых запланированных в многочисленных программах Н. Назарбаева (Казахстан-2030, Казахстан-2050, Стратегический план – 2020 и др.) реформ. Деиндустриализации способствовал и выезд значительной части русских и немцев (около 800 тыс. человек) на историческую родину, что существенно повлияло на динамику трудовых ресурсов. Драйверами роста были сырьевая рента и либерализация для притока ПИИ, которые обеспечивали в 2000–2014 гг. высокие темпы роста ВВП и благосостояния населения. Стремительное увеличение населения с 2000 г.

и эффект молодого населения (более 26 % населения моложе 16 лет) дают потенциал для будущего запланированного в Казахстане строительства *индустрии 4.0* на основе цифровизации.

Общей чертой экономического развития Беларуси и Казахстана является составляющий почти половину ВВП государственный сектор. Здесь также важен обмен опытом по повышению качества корпоративного управления государственным сектором. В Казахстане государственным сектором управляет инвестиционный фонд «Самрук-Казына», которому переданы акции государственных предприятий, в Беларуси – отраслевые министерства и Госкомимущество. У обеих систем очень много проблем и недостатков, и представляется, что Беларуси и Казахстану следует заимствовать опыт Китая по созданию единого органа контроля государственных активов и управления или для приумножения этих активов.

Причинами замедления экономического роста Беларуси и Казахстана после 2013 г. называются стагнация экономики главного партнера – России после санкций 2014 г., ловушка «среднего дохода», недостаточная эффективность госпредприятий, необходимость существенной модернизации инновационных систем.

Быстрый рост ВВП Беларуси и Казахстана на первой стадии строительства национальных экономик способствовал увеличению богатства населения. Вместе с тем неразвитость рынка коллективных инвестиций и инвестиционных фондов ведет к слабому вовлечению сбережений населения в инвестиционный процесс. В итоге маломощный банковский сектор и слабо развитый фондовый рынок у обоих государств сдерживают инвестиционный процесс и цифровую модернизацию промышленности в *индустрии 4.0*. Поэтому первоочередной задачей для изменения сложившейся ситуации являются подавление инфляции и переход к стабильным курсам национальных валют, что позволит нарастить депозитные ресурсы банков и увеличить их роль в финансировании инвестиций и инноваций (банковские венчурные фонды).

Библиографические ссылки

1. Ковалёв М, Шкут А. Инвестиционный процесс и мировой рынок капитала – тренды XXI века. *Банкаўскі веснік*. 2023;3:28–40.
2. Господарик Е, Ковалёв М. Анализ финансовых систем стран ЕАЭС и их влияние на экономический рост. *Банкаўскі веснік*. 2020;8:18–25.
3. Господарик Е, Шкут А. Раскрыть инновационный потенциал ЕАЭС. *Фінансы, учет, аудит*. 2023;2:43–45.
4. Господарик ЕГ, Лосякина ПВ. Анализ влияния цифрового и финансового развития на экономический рост: моделирование на примере Республики Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2022;1:65–78.
5. Головенчик ГГ. *Цифровая трансформация белорусской экономики в условиях цифровой глобализации*. Минск: ИВЦ Минфина; 2022. 376 с.

References

1. Kovalev M, Shkut A. Investment process and global capital market – trends of the XXI century. *Bankawski vesnik*. 2023;3:28–40. Russian.
2. Gospodarik C, Kovalev M. Analysis of the EAEU countries financial systems and their impact on economic growth. *Bankawski vesnik*. 2020;8:18–25. Russian.
3. Gospodarik C, Shkut A. [On the innovative potencial of the EAEU]. *Financy, uchet, audit*. 2023;2:43–45. Russian.
4. Gospodarik CG, Losyakina PV. Analysis of the impact of digital and financial development of the country on its economic growth on the example of Belarus. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2022;1:65–78. Russian.
5. Goloventchik GG. *Tsifrovaya transformatsiya belorusskoi ekonomiki v usloviyakh tsifrovoi globalizatsii* [Digital transformation of the Belarusian economy in the context of digital globalisation]. Minsk: IVTs Minfina; 2022. 376 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 12.10.2023.
Received by editorial board 12.10.2023.

ОПТИМИЗАЦИЯ БЕЛОРУССКИХ ТУРИСТИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ, НАПРАВЛЕННАЯ НА ПРИВЛЕЧЕНИЕ КИТАЙСКИХ ТУРИСТОВ

ЧЖАЙ ЯНЬЯНЬ¹⁾, И. А. КАРАЧУН¹⁾, ЧАН ХУЭЙ¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Развитие экономики туризма в Беларуси выступает важной частью национальной стратегии устойчивого развития. В Китае, который был мировым лидером по выезду туристов, как ожидается, увеличится количество туристов из Беларуси и активизируется въездной туризм. В настоящее время Беларусь предприняла многочисленные меры для получения преимущества в привлечении туристов из Китая, для чего предусмотрены возможные решения по оптимизации белорусских туристических платформ. В исследовании с помощью сравнительного анализа выявляются сильные и слабые стороны белорусских туристических платформ, рассматриваются новые тенденции в анализируемой сфере и изучаются трудности, возникающие у туристов из Китая. Стратегии оптимизации белорусских туристических платформ включают содействие интеграции и совершенствованию экосистемы, продвижение инновационных методов производства и инновационных бизнес-моделей. Сделан вывод об эффективности оптимизации туристических платформ Беларуси с точки зрения экономики.

Ключевые слова: туристическая платформа; Беларусь; туристы из Китая; оптимизация.

OPTIMISATION OF BELARUSIAN TOURISM PLATFORMS AIMED AT ACQUIRING CHINESE TOURISTS

ZHAI YANYAN^a, I. A. KARACHUN^a, CHANG HUI^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: I. A. Karachun (karachun@bsu.by)

The development of the tourism economics in Belarus is an important part of the national sustainable development strategy. As once the largest tourist outbound country, China is expected to increase the number of Belarusian inbound tourists and to improve the level of inbound tourism consumption. At present, Belarus has taken numerous measures to give it an advantage in acquiring Chinese tourists. In order to further attract Chinese tourists, the optimisation of the Belarusian tourism platforms provides possible solutions. The authors of the article use the comparative analysis method to study the relative strengths and weaknesses of Belarusian tourism platforms. Then they analyse the new travel trends and dilemmas of Chinese tourists. Strategies for Belarusian tourism platform optimisation include promoting the integration and improvement of the ecosystem, promoting the innovation of production methods for the co-creation of tourist value, and promoting the innovation of business models. Finally, the effectiveness of Belarus tourism platform optimisation on the economics is concluded.

Keywords: tourism platform; Belarus; Chinese tourists; optimisation.

Образец цитирования:

Чжай Яньян, Карачун ИА, Чан Хуэй. Оптимизация белорусских туристических платформ, направленная на привлечение китайских туристов. Журнал Белорусского государственного университета. Экономика. 2023;2:72–80 (на англ.). EDN: UDECUY

For citation:

Zhai Yanyan, Karachun IA, Chang Hui. Optimisation of Belarusian tourism platforms aimed at acquiring Chinese tourists. Journal of the Belarusian State University. Economics. 2023; 2:72–80. EDN: UDECUY

Авторы:

Чжай Яньян – аспирант кафедры цифровой экономики экономического факультета. Научный руководитель – И. А. Карачун.

Ирина Андреевна Карачун – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой цифровой экономики экономического факультета.

Чан Хуэй – аспирант кафедры цифровой экономики экономического факультета. Научный руководитель – И. А. Карачун.

Authors:

Zhai Yanyan, postgraduate student at the department of digital economy, faculty of economics.

yannzo-ie12@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5107-8762>

Irina A. Karachun, PhD (economics), docent; head of the department of digital economy, faculty of economics.

karachun@bsu.by

<https://orcid.org/0000-0002-0132-5064>

Chang Hui, postgraduate student at the department of digital economy, faculty of economics.

changlaoshi@yandex.by

Introduction

The tourism economics occupies a very significant place in the national economics and sustainable development economics. International tourism is an essential part of the tourism economy. International tourism plays an important role in increasing international cultural exchange and cooperation, boosting foreign exchange reserves, bridging the trade deficit. Belarus has excellent natural conditions for tourism, such as culture, history and a unique natural landscape. The development of online tourism platforms is breaking down space barriers in the development of international tourism and is a new growth point for the tourism economics. In order to promote the development of the tourism industry, in the National strategy for sustainable socio-economic development of the Republic of Belarus for the period up to 2030, Belarus clearly stated the development goal of making country's tourism revenue account for 0.1 % of the world's development target for the development of tourism [1]. Therefore, increasing the number of Belarusian international tourists to develop international tourism potential is the key direction for the development of tourism economics in Belarus. In recent years, relations between China and Belarus have grown rapidly and attracting more Chinese tourists could provide new insights into the growth of the Belarusian tourism economics.

There are some contemporary researches on this topic. L. M. Gaidukevich studied the history of tourism cooperation between Belarus and China during 2013–2020 [2], Li Yuanyuan used data analysis to find that the development of China – Belarus tourism plays a key role in the national economy, but cultural insufficient understanding and other issues hinder the development of tourism between the two countries [3], S. Holubeu, V. Suhak, A. Avsyuk, Jianbo Chen analysed Belarus' tourism service exports to China from a macro level [4], M. V. Sauchuk and E. A. Hrechyshkina proposed that Belarusian tourism and hotel-related enterprises use Internet marketing to be more competitive [5]. Based on the relevant literature, it is found that China – Belarus tourism has gradually become a hot issue. Internet marketing and publicity are important ways to develop Belarus' tourism exports. In order to access more Chinese tourists, this paper will analyse the relative advantages and disadvantages of choosing the Belarusian platforms as a tool based on the study of Belarus' strengths. And after considering the new trends in Chinese outbound tourism and the plight of tourists, it proposes an optimisation strategy for the Belarusian platforms. It is expected to provide a reference for the development of the Belarusian tourism economics.

Reasons for targeting Chinese tourists

Unique advantages of Belarus in attracting Chinese tourists. Compared to other countries, Belarus has a great advantage in attracting Chinese tourists. First of all, Belarus has good natural conditions for the tourism economy, such as beautiful natural scenery. Also, both China and Belarus have historical origins [6]. Belarusian history and culture are key factors in attracting Chinese tourists. The two countries implemented mutual visa-free access in 2018. The implementation of the policy has cleared numerous obstacles for Chinese tourists to travel to Belarus. Furthermore, Belarusian commerce has strengthened its cooperation with UnionPay. The popularity of China UnionPay cards in supermarkets and automated teller machines has provided Chinese tourists with consumption convenience [7]. Belarus has also enhanced its signage in Chinese at airports and hotels, providing travel convenience. Besides, the promotion of Belarusian culture in China has been enhanced. For example, 2018 has been designated as the year of tourism in Belarus and China. There is already a certain foundation for Chinese tourists to travel to Belarus. Further, in 2023 China – Belarus relations took a new step forward and developed into an all-weather, comprehensive strategic partnership. And in the statement, it was emphasised that they will further expand cooperation in the field of tourism and increase the number of direct flights between the two countries. The implementation of these new measures provides convenience for the travel of Chinese tourists, which is conducive to further releasing the potential of Chinese tourists travelling to Belarus.

Potential of Chinese tourists travelling to Belarus. Chinese tourists have a vast demand for outbound travel. According to World Tourism Organisation (hereinafter – UNWTO) data¹, the number of outbound tourists showed an increasing trend from 2016 to 2019, reaching 154.63 mln people in 2019. Compared to China's huge outbound travel population, the number of Chinese tourists travelling to Belarus is relatively small. However, there has been an upward trend since before the epidemic², and it rose to a record high of 47 thsd in 2019. China became the fifth-most frequent visitor to Belarus this year. But since the outbreak, Chinese outbound tourism has almost come to a halt, and the number of Chinese tourists travelling to Belarus has fallen sharply. In 2023, the optimisation of China's management policy has restarted outbound tourism and brought about a revival in demand for Chinese outbound travel. Belarus already has a unique advantage in the face of China's huge outbound tourism market. If the problems encountered by Chinese tourists on their way to Belarus can be solved, it will help Belarus further to develop the Chinese market and to increase the number of Belarusian tourists (table 1).

¹Global and regional tourism performance – 2023 [Electronic resource]. URL: <https://www.unwto.org/tourism-data/global-and-regional-tourism-performance> (date of access: 24.05.2022).

²Number of organised visitors – 2023 [Electronic resource]. URL: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=223404> (date of access: 22.05.2022).

Table 1

Related tourism numbers statistics, mln people

Indexes	Year						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Number of Chinese outbound tourists	135.13	143.04	149.72	154.63	20.33	–	–
Number of Chinese tourists entering Belarus	0.0185	0.0182	0.0307	0.0470	0.0189	0.0104	0.0043
Number of inbound tourists to Belarus	1.09	1.11	1.15	1.18	3.56	3.36	4.92

Note. Developed by authors, based on the data of the UNWTO and National Statistical Committee of the Republic of Belarus.

Spending potential of Chinese tourists to Belarus. Chinese outbound tourism can generate significant inbound tourism spending potential for Belarus. The table 2 provides statistics on the level of Chinese outbound tourism spending per capita, Belarusian inbound tourism spending per capita, and world international tourism spending per capita for 2016–2022. Taking the data before the epidemic as an example, the per capita consumption of China's outbound tourism in 2019 was 1647 US dollars, far higher than the world's per capita consumption level of international travel of 1 thsd US dollars. However, the per capita consumption level of Belarus inbound tourism is only 76 US dollars, and its inbound tourism consumption is still relatively low. Chinese outbound tourists have strong consumption power. If the consumption of Chinese tourists in Belarus can be increased, it can bring considerable economic momentum to Belarus. In order to further strengthen the consumption potential of Chinese tourists, it is necessary to provide Chinese tourists with high-quality products and services, establish a complete online tourism consumption system, and promote the consumption of Chinese tourists in Belarus more systematically and comprehensively.

Table 2

Related tourism consumption statistics, US dollars

Indexes	Year						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Chinese expenditure per departure	1852	1803	1852	1647	6445	–	–
Travel receipts per arrival in Belarus	65	72	77	76	100	127	–
Global inbound travel receipts	985.48	988.52	1017.03	1000.72	1351.13	1375.26	1050.59

Note. Developed by authors, based on the data of the UNWTO and National Statistical Committee of the Republic of Belarus.

Research on tourism platforms in China and Belarus

As an essential driving force in the development of the tourism economics, online tourism platforms provide tourists with convenient, comprehensive and rich tourism services that can offer solutions to the problems they encounter in their travels. Belarusian tourism platforms and Chinese tourism platforms are important options for Chinese tourists travelling to Belarus. Faced with the choice of dozens of online travel platforms in China and Belarus, it is difficult for Chinese tourists to determine which travel platform is the best to choose. And neither in China nor in Belarus any tourism platform can meet all the needs of tourists. Therefore, tourists need to switch between multiple platforms to avoid situations where the journey is blocked due to insufficient information collection. The information on different platforms is not updated in time, resulting in information deviation. Tourists need to distinguish and filter out useful and accurate information. This is a very difficult challenge, which will greatly increase the cost of judgment and psychological pressure on tourists, especially for first-time tourists to Belarus. This runs counter to the direction of tourism cooperation between China and Belarus. Therefore, in order to meet the travel needs of Chinese tourists, obtain higher tourism benefits, improve to the level of tourism services, and better meet the development needs of the Belarusian tourism economy, it is particularly important to create a one-stop, comprehensive tourism platform. The author of article compare three travel platforms recommended by the Embassy of the Republic of Belarus in China with two Chinese headline travel platforms and analyse them to conclude that Belarusian tourism platforms have relative advantages and are more suitable for optimisation and improvement (table 3).

Table 3

Survey of tourism platforms in Belarus and China

Platform	Mission	Service								Payments		Social networking	Language
		Air tickets	Visas	Homestays, hotels	Pick-up services	Group (individual tour)	Tour guide	Attractions	User comments	Visa or Mastercard	UnionPay		
Vetliva (https://vetliva.by/)	Provides on-line booking service and travel catalog	Failed to enter	+	+	+	+	+	+	–	+	–	Facebook Instagram ВКонтакте Одноклассники Telegram YouTube	Russian Belarusian English
Top Belarus (http://topbelarus.com/en/)	Provides customers with a full range of services	–	+	+	+	+	+	+	–	+	–	Facebook Instagram ВКонтакте Одноклассники YouTube Google Twitter	Russian English
Viapol (https://viapol.by/index.htm)	Provides cultural tourism	–	+	+	–	+	+	–	+	+	–	Facebook Instagram ВКонтакте YouTube	English French Russian
Trip.com Group Limited (https://www.ctrip.com/)	Provides differentiated travel	+	Incomplete information	+	–	–	–	Less content	Less content	+	+	Weibo Official account Doyin Kuaishou Xiaohongshu	Chinese
Qunar (https://www.qunar.com/)	Provides travel products and services anytime, anywhere	+	Incomplete information	+	–	–	–	Less content	Less content	+	+	Weibo Official account Doyin Kuaishou Xiaohongshu	Chinese

Note. Signs + and – denote availability or absence of the service on the platform.

Relative advantages of Belarusian tourism platforms. Firstly, the platforms have an industry-chain advantage. On the one hand, it expands on the upstream resource side and gathers travel resources from all over Belarus. The platforms integrate relevant resources through agents and links to provide tourists with a wide range of travel products and services, capturing the Belarusian market. This includes hotel and homestay reservations, group and independent tours, tour guides, and introductions to attractions, food, shopping venues, etc. Compared with the Belarusian tourism platforms, the Chinese tourism platforms have less content related to Belarus-related tourism, for example, a lack of development of tourist routes, inaccurate tourism policies, absence of car rent, tour guides, and other services. Belarusian platform at the downstream end has carried out channel penetration. Belarusian travel agencies mostly cooperate with online platforms and offline stores, which can solve problems encountered in the journey for customers in a timely manner and easily gain a stronger sense of trust. Therefore, compared with the Belarusian tourism platforms, the Chinese tourism platforms have a higher cost to open up the industrial chain.

Secondly, Belarusian tourism platforms have a price advantage. Belarusian tourism platforms are deeply rooted in the local tourism market and serve millions of tourists a year. Their travel resources and customer resources allow them to offer better prices to tourists.

Thirdly, the platform has an information advantage. Important information on most websites can be linked directly to the official website. Especially for visas, it has more comprehensive information for Chinese tourists and can give more accurate and timely assistance. Therefore, in the face of Chinese huge market and consumption power, the construction of Belarusian tourism platforms with Chinese tourists as the main target group has strong relative advantages. However, there is still a gap between the Belarusian tourism platform and the Chinese market, so further optimisation is needed.

Weaknesses of the Belarusian tourism platforms. The gap between the Belarusian platforms and Chinese tourists can be divided into five main points. Firstly, international service content on the platform is lacking. For example, issues such as purchasing air tickets for international travel, insurance, and visas have not been completely resolved, causing tourists to be full of worry and anxiety about the trip. The increased uncertainty during the trip can add to the purchasing burden of tourists. Secondly, the promotion of Belarusian tourism platforms is mainly focused on social media, such as *Instagram*, with zero promotion on popular Chinese social media. This results in Belarusian tourism platforms having less visibility in the Chinese market and being usually only known to a very small audience of people who have previously lived in Belarus or traveled there. It is therefore very important to find a suitable promotion for Chinese tourists to open up the Chinese market. Thirdly, the payment system is still limited. Because most payment systems do not support common Chinese methods such as UnionPay, Alipay and WeChat Pay, Chinese tourists are somewhat restricted in their spending. Fourthly, there are some language issues. At present, there are still gaps in services such as page settings, customer service, and tour guides. Fifthly, the single form of platform interaction does not conform to the habits of Chinese tourists and is less likely to attract their interest. On the whole, the Belarusian tourism platforms are more oriented towards tourists who have already arrived in Belarus and is less in line with the habits of Chinese tourists. As a result, the Belarusian tourism platform still have numerous shortcomings for Chinese tourists throughout their journey. Only by further upholding the unique strengths of Belarusian tourism platforms while addressing their weaknesses they can become the first choice for Chinese tourists visiting Belarus.

New trends and dilemmas in Chinese outbound tourism

New trends in Chinese outbound tourism. As the external environment and China's policies change, the trends of Chinese outbound travelling are also changed. According to the latest research following the Chinese desegregation policy, the latest trends in Chinese tourist travel are characterised by the following³. In terms of population characteristics, the number of the first batch of outbound tourists has returned to the trend of more women than men, accounting for about 6 to 4. This group is dominated by a younger group of 23–33 years olds, who account for 57.1 % of trips. In terms of consumption characteristics, China's outbound travel consumption is relatively high⁴, and those who spend more than 10 thsd yuan account for 48.5 %. Young people are more willing to pay for high-quality travel products and more in-depth, personalised experiences. For example, airplanes and mid-range hotels are the main consumption choices. In terms of travel characteristics, the group has three main features. Firstly, group travel is the most popular, with 77.7 % of visitors choosing to travel with friends, couples, or families. Secondly, the number of days of travel is longer, with more than 57.4 % travelling for more than a week⁵. Therefore, Chinese holidays provide convenience for the integration of

³Where did the first group of young people who went abroad go? [Electronic resource]. URL: <https://hub.traveldaily.cn/report/364> (date of access: 23.05.2022).

⁴Ibid.

⁵Ibid.

travel time. Thirdly, as outbound travel has become a fashionable way to travel for younger groups, making tips as well as sharing travel has also become one of the main factors in Chinese tourists' travel decisions nowadays. According to data from *Mafengwo*, it has updated 150 guides for more than 100 overseas destinations, helping more than 10 mln travel users⁶. Now that Chinese outbound travel has entered a new phase, Belarusian tourism platforms can only achieve growth in Chinese tourists by proposing new ideas for developing and attracting clientele based on changes in the characteristics of the Chinese tourist population, consumption characteristics, and travel characteristics.

The dilemmas of Chinese tourists travelling to Belarus. Tourism is an industry based on the provision of tourism services, which dictates that the most fundamental and important task of tourism is to understand the tourists' dilemmas and, to enhance the experience they receive during their trip. In order to better describe the needs of Chinese tourists travelling to Belarus, it is necessary to explore their behaviour, feelings, and thoughts during the stages of the trip and capture their customer experience throughout the journey. The paper maps the omnichannel process of Chinese tourists travelling to Belarus by creating a customer journey map. The omnichannel process of travel is divided into three parts according to the timeline: prepare-travel, in-travel, and post-travel, as shown in the table 4.

Table 4

Customer journey map of Chinese tourists travelling to Belarus

Phases	Prepare-travel		In-travel (fly and stay)	Post-travel (depart and sharing)
	Research	Booking		
Touchpoints	• <i>Baidu, Google, Douyin, Kuaishou</i> • Belarusian tourism platforms • Airline platform • Government official website	• Belarusian tourism platforms • Airline platform • <i>Viber, Telegram, WhatsApp</i>	• Belarusian tourism platforms • Airline platform • Map platform (<i>Yandex Go</i>)	• Map platform (<i>Yandex Go</i>) • Belarusian tourism platforms • Airline platform
Doing	• Search travel website • Attraction information inquiry • Smart travel itinerary planning recommendation (reviews) • Flight, accommodation, food, shopping, other transportation • Policy requirements (visa policy, insurance)	• Flight hotel (homestays), car rental • Picking up a travel itinerary (tour group, tour guide) • Insurance, visa	• Flight status inquiry • Booking in travel activities (tour group, tour guide) • Views itinerary • Find a restaurant • Shopping	• Booking transportation • Tax refund • Travel information sharing
Problems	• Non-acquaintance with the Belarusian website or tourist attractions • Inaccessibility of Chinese version • Non-acquaintance of policy details • Lack of opportunity to make travel plans	• Lack of opportunity to pay for UnionPay, Alipay and WeChat Pay • Non-acquaintance with insurance purchase and visa details • Inconvenience of communication software	• Need to switch between different platforms increases workload	• Lack of platform for experience sharing
Ideas for improvement	• Promotion in Chinese social media • Creation of the website in Chinese • Addition of detailed attractions description and reviews • Increase of the part of travel planning	• Addition of payment methods in China • Increase of the way of communication in China • Detailisation of insurance, visa and other positions	• Integration of resources during travel to reduce the difficulty of travel	• Increase of the sharing part of the strategy

⁶Where did the first group of young people who went abroad go?..

The dilemmas need to be addressed for Chinese tourists to Belarus focus on three main points. Firstly, in terms of increasing the country's attractiveness to Chinese tourists before travelling, it is necessary to strengthen publicity and increase Chinese tourists' understanding of Belarus. Belarus has a unique history, culture, ethnic characteristics, beautiful nature and sanatoriums, but these advantages are not fully showcased. Secondly, from the perspective of travel operations, it is necessary to reduce the difficulties in the whole journey process. For example, tourists are not familiar with Belarus-related visas, websites, etc. and need to switch between several local software programmes to complete tasks such as ticket purchases. In addition, customer service communication software is also different, causing communication barriers. The above problems place higher demands on the personal quality of tourists and increase their workload. Therefore, it is urgent for Chinese tourists to solve the various problems they encounter during their travels. Thirdly, from a psychological level, after the trip, it is necessary to satisfy the sharing desire of Chinese tourists and realise a complete travel experience.

Optimisation strategies for Belarusian tourism platforms

Integration and optimisation of the ecosystem. Although the current Belarusian platforms are attempts to integrate services for Chinese tourists into the construction of the platform, there is still a fragmented state and no way to achieve complete interconnection between Chinese tourists and the Belarusian tourism platforms. In order to create a one-step tourism service platform, there is a need to integrate resources in terms of content and optimise the allocation of resources. Resource integration is not only about connecting online and offline resources, linking different terminals and mediums, but also completing services for the whole journey before, during, and after the trip, forming a complete ecosystem for tourists.

The platforms should have the following functions and characteristics before and after the trip. Firstly, they should promote and release of scenic spot information that presents localised characteristics and increase of the publicity on the Chinese platform. Secondly, there should be travel procedure inquiry and processing. These include visas, insurance, landing policies, round-trip vaccination policies, and other inquiries and related processing services. As well as increasing multilingual customer service and expanding customer service methods. For example, web chat and other forms break down the barriers of services. Thirdly, transport and accommodation services for travel are needed. The platform needs to provide the purchase of tickets for air tickets, trains, and buses, as well as car rental, hotel booking, and homestay. In addition, new payment methods commonly used by Chinese tourists, such as UnionPay, Alipay and WeChat Pay. Fourthly, social networking and sharing services should be functions accessed before and after the trip. Based on this service, relevant travel strategies are recommended for tourists who are about to travel, and itinerary sharing services are provided for users who have already traveled. Fifthly, the needed points are services provided for groups and individual tours. For example, the group tour service is provided for groups, personal route planning and other services are provided for individual tours. According to the time characteristics of China's outbound travel, consider China's holiday arrangements in terms of travel time, and launch high-quality travel itineraries that meet their holiday arrangements. Furthermore, the functions that can be realised during travel that are following provision tourists with related supporting services such as ticket sales information, reservations, and consultations during tourism activities and making food and shopping recommendations.

A production approach that promotes the co-creation of value for tourists. Although the production method of the Belarusian tourism platforms is based on tourists, the product and service designs are based on the common needs of most tourists. Its production logic remains a continuation of mass production and standardised production. For example, the group tour service has a tour route designed for the needs of most tourists. However, the younger, higher consumption, and longer travel time of Chinese tourists have driven their travel needs towards personalisation and diversification. In response to the travel needs of Chinese tourists, the application of tourist value co-creation is more conducive to the sustainable development of the Belarusian platforms. The co-creation of tourist value is a production mode with two-way influence. In the production process, tourists are not limited to buyers of products and services they can also play an active role in the production of products and services, making the model more diversive. For example, the social and interactive functions of the platform can be strengthened through various methods, such as community building and strategy sharing, so as to realise the interaction between Chinese tourists and the platform, as well as the real-time sharing between Chinese tourists. On the one hand, it can not only satisfy the sharing desire of existing travellers so that they can obtain a sense of satisfaction and recognition, but also provide more references for new users' travel and increase their understanding of the journey. On the other hand, increasing the feedback data of Chinese tourists after purchasing on the platform helps them indirectly participate in the service construction of the platform. In the process of optimising the Belarusian tourism platforms, the production method that promotes the co-creation of tourist value can increase the number of users and user stickiness.

Promoting of business model innovation. The process of integrating and improving the Belarusian tourism platforms ecosystem increases the demand for human and technical resources. Therefore, in order to reduce the

costs incurred in the process of optimising the platform, it needs to promote innovation in its business model. For example, the traditional model of services will be transformed into a traditional model plus an outsourcing model. The outsourcing model can attract talented people from different fields of expertise. People from the field of technical expertise and amateurs have become new service providers, providing more possible services for Chinese tourists. The platform acts as a service provider as well as a supervisor. Tourists can make precise choices on the Belarusian tourism platform according to their individual needs. New service providers can take over services through the platform. The outsourcing model increases the platform's access to external human resources. The involvement of a large group of service providers will not only solve the problems of talent shortages, development costs, and staff hiring costs on the platform but also make it more mobile and flexible. The employment model and the contracting model can form a new kind of healthy competition.

In addition, the innovation of the business model can also absorb many marketing and publicity methods to form a new model with a unique style. Nowadays, Belarusian platforms have a relatively weak presence in China. To further strengthen the promotional efforts, it is necessary to build up one's digital identity on Chinese social media platforms. In order to reduce publicity costs and get a greater publicity impact, a new model of travel plus grouping can be developed, taking into account the new travel trends of Chinese tourists [8]. This is in line with the tendency of Chinese outbound travellers to travel in groups with friends and family. The travel plus grouping model is a one-person-driven multiplayer mode. Tourists can share their chosen travel products on their own social media accounts and reduce the price of group purchases with everyone's help in bargaining. And by introducing the act of grouping together, the more people involved in the grouping, the greater the discount can be. Through this model, it is possible to increase the platform's promotion on Chinese social media, reduce the amount of publicity spent in China, and at the same time increase the sales of products and services.

Effects of Belarusian tourism platforms optimisation on the economy

The economic utility of Belarusian platforms optimisation is mainly reflected in optimising the supply side, improving the efficiency of the tourism platform, reshaping the value of the subject and object, and changing the consumption habits of tourists.

Optimisation of the supply side and improvement of efficiency. The optimisation of the Belarusian tourism platforms, with its integration and well-developed content, has increased the supply of products and services, solving problems such as lack of information, poor communication, and restricted payment. It helps provide tourists with more accurate and timely news and richer content. In addition, the process of optimising the production chain of the platform reshapes the operational process and solves the barriers to transactions, allowing for smoother transactions between multiple stakeholders such as tourism companies, platforms, and suppliers and a substantial increase in efficiency.

Reshaping of the value of subject and object. In tourism economic activities, travelers and tourism companies are the main subjects as buyers and sellers. After the platform optimises the production model and business model, more stakeholders will be introduced to generate more diversified economic benefits. In addition, the object has also changed from a tourism product to an emotionally interactive tourist experience. The value connection between subject and object has changed.

Changing of tourist consumption habits. A well-developed tourism eco-chain allows Chinese tourists to move from point to point in their tourism consumption. It no longer stops at the consumption of a single tourism product but forms a complete consumption system. The formation of systemic consumption makes it possible to upgrade the consumption of tourists. In addition, the implementation of the travel plus grouping business model will also change the way travellers spend their money and attract more tourists to join.

Conclusions

With the return of travel demand from Chinese tourists, the Belarusian tourism economy should seize this opportunity to establish a more attractive tourism system. The optimisation of the Belarusian tourism platforms are to be achieved through the integration of the ecosystem, innovation in production methods, and business models, so as to create new value and realise the development of the platform and the upgrading of the industry.

Бібліографічні посилання

1. Олюнина ИВ. Формирование Национальной стратегии развития туризма в Республике Беларусь до 2035 года. *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя гуманітарных навук*. 2021;66(1):117–121. DOI: 10.29235/2524-2369-2021-66-1-117-121.
2. Гайдукевич ЛМ. Развитие белорусско-китайского сотрудничества в сфере туризма в 2013–2020 гг. *Журнал Белорусского государственного университета. История*. 2021;4:64–70. DOI: 10.33581/2520-6338-2021-4-64-70.

3. Ли Юаньюань, Усовская ЭА. Сотрудничество и развитие туризма между Китаем и Беларусью. *Человек в социокультурном измерении*. 2023;1:60–66. DOI: 10.33581/2709-5738-2023-1-60-66.
4. Holubeu S, Suhak V, Avsyuk A, Jianbo Chen. Export of tourist services of Belarus to China. *Economy and Sociology*. 2023;2:96–106. DOI: 10.36004/nier.es.2022.2-08.
5. Савчук МВ, Гречишкіна ЕА. Імплементация инструментов интернет-маркетинга в сфере туристического и гостиничного бизнеса Республики Беларусь. *Туризм і гасцёпрыімсцтва*. 2022;2:18–24.
6. Xu Keshuai. Red tourism and social memory. *Tourism Tribune*. 2016;31(3):35–42. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5006.2016.03.009.
7. Власенко АА, Головенчик ГГ. Электронная торговля Китая: причины успеха и текущие перспективы развития. *Цифровая трансформация*. 2022;28(4):43–52 (на англ.). DOI: 10.35596/1729-7648-2022-28-4-43-52.
8. Hongua Chen, Shuwei Zang, Jin Chen, Wentian He, Hang Chang Chieh. Looking for meaningful disruptive innovation: counter-attack from Pinduoduo. *Asian Journal of Technology Innovation*. 2022;30(1):23–44. DOI: 10.1080/19761597.2020.1820352.

References

1. Olunina IV. The formation of the National tourism development strategy in the Republic of Belarus until 2035. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Humanitarian Series*. 2021;66(1):117–121. Russian. DOI: 10.29235/2524-2369-2021-66-1-117-121.
2. Gaidukevich LM. The history of the Belarusian-Chinese cooperation in the field of tourism in 2013–2020. *Journal of the Belarusian State University. History*. 2021;4:64–70. Russian. DOI: 10.33581/2520-6338-2021-4-64-70.
3. Li Yuanyuan, Usovskaya EA. Cooperation and development of tourism between China and Belarus. *Human in the Socio-Cultural Dimension*. 2023;1:60–66. Russian. DOI: 10.33581/2709-5738-2023-1-60-66.
4. Holubeu S, Suhak V, Avsyuk A, Jianbo Chen. Export of tourist services of Belarus to China. *Economy and Sociology*. 2023;2:96–106. DOI: 10.36004/nier.es.2022.2-08.
5. Sauchuk MV, Hrechyshkina EA. Internet-marketing instruments implementation in the sphere of tourism and hotel business of the Republic of Belarus. *Turizm i gostepriimstvo*. 2022;2:18–24. Russian.
6. Xu Keshuai. Red tourism and social memory. *Tourism Tribune*. 2016;31(3):35–42. Chinese. DOI: 10.3969/j.issn.1002-5006.2016.03.009.
7. Vlasenko AA, Goloventchik GG. E-commerce of China: its reasons for success and current development trends. *Digital Transformation*. 2022;28(4):43–52. DOI: 10.35596/1729-7648-2022-28-4-43-52.
8. Hongua Chen, Shuwei Zang, Jin Chen, Wentian He, Hang Chang Chieh. Looking for meaningful disruptive innovation: counter-attack from Pinduoduo. *Asian Journal of Technology Innovation*. 2022;30(1):23–44. DOI: 10.1080/19761597.2020.1820352.

Received by editorial board 24.07.2023.

ВЛИЯНИЕ ЗЕЛЕННЫХ ИНВЕСТИЦИЙ
НА КАЧЕСТВО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТАШАО ЦЗЫЮЙ¹⁾, И. П. ДЕРЕВЯГО¹⁾¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Исследуется влияние зеленых инвестиций на качество экономического роста. Прежде всего для его измерения предлагается система оценки, включающая пять параметров (инновации, уровень координации, экологичность, уровень открытости и уровень совместного использования), с присвоением весов с применением метода взвешенной энтропии. Для эмпирического изучения влияния зеленых инвестиций на качество экономического роста исследуются панельные данные по 30 провинциям Китая за период с 2010 по 2020 г. с использованием двусторонней модели с фиксированными эффектами. Результаты показывают, что при сохранении других условий неизменными увеличение зеленых инвестиций на 1 трлн юаней может повысить индекс качества экономического роста на 0,3 ед., что в 1,6 раза превысит актуальное среднее значение этого показателя в Китае. Более того, такой положительный эффект имеет определенное запаздывание. Эти выводы остаются актуальными в случае учета проблемы эндогенности и проведения серии проверок надежности. Для повышения качества экономического роста предлагаются соответствующие меры экономической политики.

Ключевые слова: зеленые инвестиции; качество экономического роста; Китай; система показателей; метод взвешенной энтропии.

Благодарность. Данная работа выполнена при поддержке Государственного комитета по стипендиям Китайской Народной Республики.

THE IMPACT OF GREEN INVESTMENT
ON THE ECONOMIC GROWTH QUALITYSHAO ZIYU^a, I. P. DZERAVIAHA^a^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: I. P. Dzeraviha (dzeraviha@bsu.by)

This paper studies the impact of green investment on the economic growth quality. First of all, in order to measure the economic growth quality, this paper proposes an indicator system based on five dimensions of innovation, coordination, green, openness and sharing, and utilises the entropy weighting method to assign weights. Then, based on panel data

Образец цитирования:

ШАО ЦЗЫЮЙ, ДЕРЕВЯГО И.П. Влияние зеленых инвестиций на качество экономического роста. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2023;2:81–91 (на англ.).
EDN: DQSWSJ

For citation:

Shao Ziyu, Dzeraviha IP. The impact of green investment on the economic growth quality. *Journal of the Belarusian State University. Economics*. 2023;2:81–91.
EDN: DQSWSJ

Авторы:

ШАО ЦЗЫЮЙ – аспирант кафедры корпоративных финансов экономического факультета. Научный руководитель – И. П. Деревяго.

Игорь Петрович Деревяго – кандидат экономических наук, доцент; заведующий кафедрой корпоративных финансов экономического факультета.

Authors:

Shao Ziyu, postgraduate student at the department of corporate finance, faculty of economics.

104959156@qq.com

<https://orcid.org/0000-0001-7972-1465>

Ihar P. Dzeraviha, PhD (economics), docent; head of the department of corporate finance, faculty of economics.

dzeraviha@bsu.by

<https://orcid.org/0000-0003-3170-0512>

for 30 Chinese provinces from 2010 to 2020, a two-way fixed effects model is used to empirically examine the impact of green investment on the economic growth quality. The results show that while keeping other conditions unchanged, an increase of 1 trln yuan in green investment can increase the quality index of economic growth by 0.3 units, which is 1.6 times the current average value of the index in China. Moreover, this positive effect has a certain lag. These conclusions remain valid on the basis of taking into account the endogeneity issue and a series of robustness checks. Finally, with a view to effectively improving the economic growth quality, appropriate measures of economic policy are proposed.

Keywords: green investment; economic growth quality; China; indicator system; entropy weight method.

Acknowledgements. This work is supported by China Scholarship Council.

Introduction

Improving the economic growth quality (EGQ), especially promoting sustainable economic development, has become a common goal for all countries in the world as the prominence of problems such as overcapacity, environmental pollution and economic structural imbalance. The 2030 Agenda for sustainable development and the Paris agreement were launched successively. To achieve these goals, investments have to shift from carbon- and resource-intensive investments to sustainable investments. Green investment, as an investment derived from the concept of sustainable development, has received wide attention from all sectors of society. It makes investment decisions based on the criteria of achieving the triple effect – economic, social and environmental. It can be seen that green investment is closely related to the EGQ.

Nowadays, a growing number of scholars are focusing on the factors influencing the EGQ, including green finance [1, p. 31954], environmental regulation [2, p. 299], technological innovation, and so on. However, there is relatively little existing literature that focuses on the topic of the impact of green investments on the EGQ. Moreover, the available empirical evidence doesn't reach consensus on the direction of the impact of green investment on the EGQ due to variations in research samples, methods, and other aspects [3, p. 98; 4, p. 82].

Given that, this paper uses panel data from 30 provinces in China from 2010 to 2020 to study the impact of green investment on the EGQ. There are two main reasons for using China as the study subject. On the one hand, the quality of China's economic growth is a critical factor affecting global environmental, resource and social conditions. China is not only a major country in terms of primary energy consumption and CO₂ emissions, but also the world's most populous country. And China is the second-largest economy in the world. On the other hand, the study findings related to the quality of China's economic growth can provide a reference for other countries, especially developing countries. And it can be appropriately extrapolated to developing countries with full consideration of the development characteristics of any particular country.

Literature review and theoretical analysis

With the emergence of a series of negative impacts caused by economic growth at a high speed, such as over-investment of resources and overcapacity [5, p. 26], academics have begun to turn their attention to the study of the EGQ [6, p. 61]. Moreover, with the depth of research, more and more scholars believe that the EGQ has a multidimensional character, including economic, social and environmental dimensions [7, p. 135].

In order to find effective engines for high-quality economic growth, green investment has become a hot topic in academia. Green investment, especially productive green investment, as a form of investment, is bound to have the long-term benefits of driving the economy [4, p. 70]. Moreover, the increase in green investment can play the role of capital injection, resource guidance and signal transmission, which is helpful to promote green innovation [8], to improve industrial structure [9], etc. Improvements in green innovation and other aspects are able to effectively enhance resource utilisation and production efficiency, optimise resource allocation, so as to save environment-related costs and promote high-quality economic growth.

At present, many studies have separately confirmed the positive effects of green investment on economic volume, total factor productivity, employment rate [10, p. 274], industrial structure [9], environmental quality [4, p. 69], and happiness [11], which are all single dimensions of the EGQ. A few studies have examined the relationship between green investment and the EGQ on the basis of measuring the EGQ from a multidimensional perspective. The analysis of Zhang Minglong [3, p. 89] shows that green investment can not only promote economic growth through the investment multiplier effect, but also boost high-quality economic development.

However, it should be noted that the positive benefits of investment on economic development may not be realised, especially in the short run. Based on empirical tests of data from 1961 to 2008 in China, Du Liyong found that in different stages of economic development or different frontier technologies, there is a significant

growth effect of investment on long run economic growth, while there are differences in its short run effect [12, p. 35]. Furthermore, green investment, especially governmental green investment, has a strong non-productive investment purpose, such as reducing environmental pollution. This would crowd out productive capital and increase the wealth burden, which would be detrimental to economic development. And the achievement of these environmental and social goals requires sustained and large investments. As a result, green investments that are short-term and small in amount not only crowd out productive capital, but also fail to effectively generate environmental and social benefits. The empirical research results of Zeng Sheng and his colleagues indicate that low volumes of green investment are not beneficial to high-quality economic growth [4, p. 77].

In summary, some scholars have explored the impact of green investment on the EGQ, and the conclusions of the study are useful for the research of this paper. Nevertheless, related studies are relatively lacking in comprehensive consideration of the EGQ as well as channel analysis. And the findings of existing studies are not exactly the same. The positive effects of green investments on the EGQ may be constrained by conditions [4, p. 70] and need to take into account the current background, including economic, social, technology, the scale of investment and so on.

Nowadays, with the deterioration of the ecological environment and the frequent occurrence of natural disasters, people's awareness of environmental protection is increasing and environmental regulations are becoming ever more stringent. In response, countries have begun to vigorously develop the green economy. In 2022, the total amount of global environmental, social, and governance (ESG) funds reached 2.5 trln US dollars, and the total amount of China's ESG funds amounted to about 400 bln yan. Investments in clean energy amounted to 1.1 trln US dollars globally, with China accounting for nearly half of the total global investment. Moreover, China International Capital Corporation estimated that total value of green investment in China is expected to increase to 163 thsd US dollars in the next 5 years. In general, green investments in China are currently large with a trend towards sustained inputs.

And with this background, the increase in green investment allows firms to better adapt to market demand and gain consumer value identification, thus improving environmental and economic benefits. Therefore, this paper argues that the benefits and saved costs from green investments will outweigh the amount of capital that is crowded out, resulting in high-quality economic development. Furthermore, long-term sustained green investment are capable of optimising the environment, saving energy, reducing emissions, and improving the quality of life of residents, thus enhancing the EGQ from an environmental and social perspective.

The construction of indicator system of economic growth quality and measurement methodology

The construction of indicator system of economic growth quality. Although there is currently no consensus among scholars on methods to measure the EGQ, existing studies can be divided into two categories broadly. For the first category, a single indicator is used to measure the EGQ. However, with the depth of research, more and more scholars believe that this method has certain limitations [13, p. 11]. The second category explores the EGQ in a multidimensional perspective. In this type of empirical literature, the most widely used method to measure the EGQ is the establishment of a hierarchical indicator system. Most of these indicator systems take into account the coordinated development of the economy, society and environment [4, p. 73]. However, the specific indicators chosen by scholars are diverse, influenced by factors such as viewpoints, national circumstances and data availability.

Based on this, referring to existing literature and combining with China's new concept for development, this paper constructs an evaluation indicator system of economic growth quality that contains five secondary indicators of innovation development, coordination development, green development, openness development and sharing development (table 1). The specific reasons for establishing the indicator system based on the new concept for development are as follows.

Firstly, in order to promote high-quality economic development, the new concept for development of innovation, coordination, green, openness and sharing was put forward in China in 2015 and subsequently widely implemented. Among these, innovation development focuses on the issue of the dynamics of economic development. Coordination development pays attention to the balanced problems of economic development. Green development is concerned with the environment and the sustainability of the economy. Openness development places emphasis on the breadth and depth of opening up to the outside world. Sharing development emphasises issues of social equity. General Secretary Xi Jinping has repeatedly emphasised that the five aspects of the new concept for development are aggregates that have intrinsic linkages which need to be synergised in order to effectively improve the quality of economic development.

In this context, some studies have begun to measure the EGQ in China based on the new development concept. Furthermore, some scholars have pointed out that the new concept for development can be used as the theoretical foundation for constructing an indicator system for high-quality economic development [14, p. 6]. It can be seen that measuring the EGQ based on the new concept for development is not only of practical significance, but also has certain theoretical and methodological support.

Secondly, economic development is a process of upward spiral. Economic development in different periods has its own unique characteristics. Moreover the new concept for development, which is introduced as a strategic direction for the new features of the economy after entering a new era in China, has a distinctive epochal character. Hence, exploring the quality of China's economic growth from the perspective of the new concept for development can better study the state of China's economy in the current context and depict the characteristics of China's economic development in the new era.

Thirdly, the index of economic growth quality should reflect the economic sustainability of the research subjects. The new concept for development, which explains the goals, motivation, approach and path of development, fundamentally determines the effectiveness and even the success or failure of China's development [15, p. 41]. Therefore, the indicator system based on the new concept for development can better reflect China's sustainable development capability.

The hierarchy and logic of this assessment system apply to other countries as well. Nevertheless, the specific indicators need to be adjusted accordingly to the development situation of the particular country.

Measurement methodology. In order to avoid the interference of subjective factors, this paper adopts the entropy weight method to assign weights to the indicators, and then uses the weighted sum approach to calculate the index. The specific steps are as follows.

Step 1. Data standardisation, which described by following equations:

- for benefit object

$$x'_{qij} = \frac{x_{qij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}},$$

- for cost object

$$x'_{qij} = \frac{x_{\max} - x_{qij}}{x_{\max} - x_{\min}},$$

where $x_{\max}$ is the maximum value of the j -th index; $x_{\min}$ is the minimum value of the j -th index; x_{qij} is the value of the j -th indicator for province i in year q ; x'_{qij} is the index value obtained after standardisation. Moreover, the data that turns to zero after standardisation is appropriately shifted in order to avoid the impact of zero values. Its equation is

$$x''_{qij} = x'_{qij} + K, \text{ if } x'_{qij} = 0,$$

where x_{qij} is the index value after shifting and standardisation; K is the indicator shift magnitude ($K = 0.000\,000\,001$).

Step 2. Calculation of the entropy e_j , which is produced in the following way:

$$e_i = -\frac{1}{\ln(rn)} \sum_{q=1}^r \sum_{i=1}^n P_{qij} \ln P_{qij},$$

where r is the year; n is the province;

$$P_{qij} = \frac{x''_{qij}}{\sum_{q=1}^r \sum_{i=1}^n x''_{qij}}.$$

Step 3. Calculation of the weight w_j . It's equation is the following:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)},$$

where m is the number of indicators.

Step 4. Calculation of the index of the EGQ by using the following equation:

$$\text{EGQ}_{qi} = \sum_{j=1}^m (w_j x''_{qij}),$$

where EGQ_{qi} is the index of EGQ of different provinces in different years.

Table 1

EGQ indicator system

Primary indicator	Secondary indicators	Tertiary indicators (unit)	Calculation method	Indicator attributes
EGQ	Innovation development	Research and experimental development investment intensity (mln yuan)	Internal expenditure on R & D	+
		Degree of technology transaction activity (mln yuan)	Transaction value of technical market	+
		Domestic patent output (piece)	Total number of three kinds of domestic patent granted	+
		Number of R & D personnel (people)	Full-time equivalent of (R & D) personnel	+
	Coordination development	Advanced level of industrial structure (%)	$\frac{\text{Value added of tertiary industry}}{\text{GDP}}$	+
		Urbanisation level (%)	$\frac{\text{Number of urban population}}{\text{Total population at year-end}}$	+
		Demand structure (%)	$\frac{\text{Total retail sales of consumer goods}}{\text{GDP}}$	+
		Urban-rural income gap (yuan)	Disposable income of urban households per capita – disposable income of rural households per capita	–
	Green development	Urban-rural consumption difference (%)	Engel's coefficient of urban households – Engel's coefficient of rural households	–
		Energy consumption per unit of GDP (yuans for tone)	$\frac{\text{Volume of energy consumption}}{\text{GDP}}$	–
		Waste gas per unit of GDP output (US dollars for tone)	$\frac{\text{Volume of SO}_2 \text{ emissions}}{\text{GDP}}$	–

Primary indicator	Secondary indicators	Tertiary indicators (unit)	Calculation method	Indicator attributes
EGQ	Green development	Greening coverage of built-up area (%)	Greening coverage of built-up area	+
		General industrial solid waste generated per unit of GDP (yuans for tone)	$\frac{\text{Generation volume of general industrial solid waste}}{\text{GDP}}$	-
		Park green space per capita (m ³)	Park green space per capita	+
	Openness development	Degree of dependence upon foreign trade (%)	$\frac{\text{Total amount of import and export trade}}{\text{GDP}}$	+
		Level of actual utilisation of foreign investment (%)	$\frac{\text{Value of actual utilisation of foreign investment}}{\text{GDP}}$	+
		Number of foreign invested enterprises (unit)	Number of foreign invested enterprises	+
	Sharing development	Unemployment rate (%)	Registered unemployment rate in urban area	-
		Education spending per capita (yuans for person)	$\frac{\text{Educational expenditure}}{\text{Total population at year-end}}$	+
		Number of physicians per 10 000 people	$\frac{\text{Total number of licensed physicians \& physician assistants}}{\text{Total population at year-end}}$	+
		Basic social insurance coverage rate (%)	$\frac{\text{Participants of basic endowment insurance for urban workers at year-end}}{\text{Total population at year-end}}$	+
		Number of buses per 10 000 people (set)	Number of buses per 10 000 people	+

Model, variable and data

Variable description and data sources. EGQ is considered as an explained variable. Refer to the previous section for specific indicator selection (see table 1) and measurement method.

Explanatory variable is green investment (GI). Academics have measured green investment in a variety of ways in recent years. In studies at the regional level, most of the literature measures green investment using expenditure for energy conservation and environment protection, investment in environmental protection, or investment in environmental pollution control. However, these indicators cover a relatively narrow range. Based on this, combined with the principle of data availability, this paper uses the sum of the expenditure for energy conservation and environment protection as well as productive green investment (forestry investment and investment in water conservancy construction) to measure green investment, drawing on existing literature [4, p. 74].

In order to eliminate the influence of other factors on the explained variables, this paper selects human capital, degree of nationalisation, government expenditure, total population at year-end, industrial structure, and green innovation as control variables based on previous studies [3, p. 94; 4, p. 74] and data availability.

Of these, human capital (HC) is measured using average years of schooling. Referring to Barro's method [16], the formula for calculating human capital is established as follows:

$$HC_i = \frac{0P_{i1} + 6P_{i2} + 9P_{i3} + 12P_{i4} + 16P_{i5}}{\text{Total number of persons aged 6 years and over}},$$

where i is the province; P_{i1} is the number of persons in each province who are not attending school; P_{i2} , P_{i3} , P_{i4} , P_{i5} , respectively, are the numbers of persons in each province who finished primary, junior high school, senior high school, as well as post-secondary and above.

The degree of nationalisation (NAT) is measured by the proportion of the number of urban employment in state-owned units at year-end to the total number of urban employment at year-end. The government expenditure (GE) is measured using general public budget expenditure as a share of GDP. The total population (TP) at year-end is measured using the total population numbers at year-end. Industrial structure (IS) utilises the share of value added of the secondary industry in GDP as a measure. Green (technological) innovation (GTI) is measured using the number of patents for green inventions.

The research data were obtained mainly from the following sources: «China statistical yearbook», «China statistical yearbook on science and technology», «China statistical yearbook on environment», «China forestry statistical yearbook», «China water statistical yearbook», «Yearbook of China water resources», «China statistical yearbook for regional economy», «China statistical yearbook on high technology industry», «China population & employment statistical yearbook», «China energy statistical yearbook», «China health statistical yearbook», «China labour statistical yearbook», statistical yearbooks of each province, statistical communique of each province on the national economic and social development, EPS database, CNRDS database, etc.

Data processing and descriptive statistics. In this paper, 30 provinces (excluding Hong Kong, Macao, Taiwan and Tibet) in China from 2010 to 2020 are selected as the research sample. All value variables were deflated using 2010 as the base period. In addition, the missing values in the control variables were filled by the interpolation method. The results of descriptive statistics of the variables are shown in table 2.

Table 2

Descriptive statistics

Variable (unit)	Observations	Mean value	Standard deviation	Minimum value	Maximum value
EGQ	330	0.18	0.12	0.05	0.76
EI (bln yuan)	330	41.50	24.11	3.22	145.03
HC (people)	330	9.13	0.88	7.16	12.68
NAT (%)	330	21.63	9.74	6.74	52.51
GE (%)	330	24.75	10.31	10.58	64.30
TP (mln people)	330	45.62	27.47	5.63	126.24
IS (%)	330	43.58	8.84	15.83	59.05
GTI (piece)	330	879.17	1251.14	1.00	6936.00

According to table 2, it can be seen that the overall level of the quality of China's economic growth is relatively low (mean value is 0.18), and there are some differences in the quality index of economic growth among different provinces in different years. There is also a large gap between the amount of green investment in the sample. The overall degree of human capital is high and has been more evenly distributed across provinces over the years. China has relatively small levels of nationalisation, government expenditure and green innovation in the sample period. The secondary sector in China, dominated by industry and manufacturing, is more developed.

Model. Since the data is a balanced and short panel, this paper selects the model among the pooled regression model, the random effects model and the fixed effects model by using the econometric software *Stata 14.0*. The specific steps are as follows.

Step 1. Combining the previous analysis.

This paper firstly constructs the fundamental econometric model

$$EGQ_{it} = \lambda + \lambda_1 GI_{it} + \sum_{j=2}^7 \lambda_j CV_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

where i is the province, t is the year; EGQ_{it} is the quality of economic growth; GI_{it} is the green investment; CV_{it} is the control variables, including human capital, degree of nationalisation, government expenditure, total population at year-end, industrial structure, and green innovation; λ_0 , λ_1 and λ_j are the parameters to be estimated. Among them, the value and the corresponding p -value of parameter λ_1 are at the core of this paper's concern; ε_{it} is a stochastic disturbance term.

Step 2. The least squares dummy variables test.

This paper tests whether the model should use pooled regression by method of least squares dummy variables regression. The null hypothesis of the method is that all of the individual dummy variables are zero.

The regression results show that 96.67 % of the individual dummy variables are significant ($P = 0$). Therefore, the null hypothesis should be rejected. That is, there is an individual effect in the equation (1) and pooled regression should not be used.

Step 3. The Hausman test.

The Hausman test is used to determine whether to use a random effects model or a fixed effects model. The null hypothesis of the Hausman test is that the random effects model is appropriate.

The test results show that the p -value corresponding to the Hausman statistic is 0 and the null hypothesis of the Hausman test should be rejected (table 3). Therefore, the fixed effects model should be chosen among the random effects model and the fixed effects model.

Table 3

Model selection	
Type of test	Results
Hausman test	chi2(5) = 137.66
	p -Value = 0
Joint significance test of annual dummy variables	Years 2–11 are equal 0
	F -statistics (10.29) = 10.14
	p -Value = 0

Given that, the econometric model is further adjusted to a fixed effects model

$$EGQ_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 GI_{it} + \sum_{j=2}^7 \lambda_j CV_{it} + \eta_i + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

where η_i is the individual fixed effect. The meanings of the other variables are the same as in equation (1).

Step 4. The joint significance test of annual dummy variables.

The joint significance test of annual dummy variables is used to explore the presence of time effects in the model (equation (2)). The null hypothesis of this test is that there is no time effect.

The test results show that the null hypothesis should be strongly rejected (see table 3). Hence, the model should add time fixed effects.

In summary, the two-way fixed effects model should be used. Moreover in order to eliminate the effect of heteroskedasticity on the model, this paper uses cluster-robust standard error. Therefore, the model is finally adjusted as follows:

$$EGQ_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 GI_{it} + \sum_{j=2}^7 \lambda_j CV_{it} + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it}, \quad (3)$$

where γ_t is the time fixed effect. The meanings of the other variables are the same as in equation (2).

Results and discussion

Benchmark regression. The econometric software *Stata 14.0* is also used for the empirical test results of which are presented in table 4. Column 1 of table 4 presents the result of the benchmark regression (equation (3)).

Table 4

Benchmark regression and robustness checks

Variables	Benchmark regression	Robustness checks – replacement of core explanatory variables		Robustness checks – adjustment of sample period
	1	2	3	4
EI_{it}	0.0003** (2.24)	–	0.0013* (1.84)	0.0005*** (2.85)
$EI_{i,t-1}$	–	0.0002* (1.75)	–	–
Constant	–0.3807** (–2.61)	–0.3467** (–2.32)	–0.3553** (–2.67)	–0.3583** (–2.33)
Control variables	+	+	+	+
Time fixed effect	+	+	+	+
Individual fixed effect	+	+	+	+
R^2	0.88	0.86	0.87	0.83
N	330	300	330	240

Notes: 1. In 2nd–4th rows of the table numbers are regression coefficients and numbers in parentheses indicate the corresponding t -values. 2. The t -values in parentheses are calculated using in clustering robust standard errors. 3. Symbol * stands for $p < 0.1$, symbol ** stands for $p < 0.05$, symbol *** stands for $p < 0.01$. 4. Sign + means that all control variables are controlled for this regression.

It can be found that increased green investment is able to significantly improve the EGQ. With all other variables unchanged, for every billion yuan increase in green investment, the index of the EGQ can increase by 0.0003 units.

Robustness checking. In order to verify the reliability and non-randomness of the above findings, this paper conducts robustness checks by replacing the core explanatory variables, adjusting the sample period, and changing the control variables, respectively. The details are as following.

To begin with, there may be problems of lag effects as well as contemporaneous endogeneity when green investment is driving the EGQ. Therefore, this paper uses green investment with a one-year lag in place of the core explanatory variables (column 2 of table 4). In addition, referring to the common method of measurement in the existing literature, green investment is changed to be measured by the expenditure for energy conservation and environment protection (column 3 of table 4).

Then, this paper changes the sample period to 2013–2020. In 2012, in order to promote sustainable economic development, China integrated the construction of ecological civilisation with economic, political, cultural and social construction into the overall five-in-one layout of socialism with Chinese characteristics. It means that China is beginning to emphasise environmental problems, focusing on the coordinated development of the economy, the environment and society. This is exactly what high-quality economic development requires. In the same year, the Notice on the issuance of green credit guidelines was launched. It marks a breakthrough in the construction of China's green financial system. Hence, considering the lag of policy implementation, this paper selects the panel data from 2013–2020 for robustness testing with a view to studying the problem without policy interference (column 4 of table 4).

Finally, one control variable is removed from the six control variables in turn, and the results are presented in table 5.

Table 5

Robustness checks (changing the control variables)

Variables	EGQ (excluding HC)	EGQ (excluding NAT)	EGQ (excluding GE)	EGQ (excluding TP)	EGQ (excluding IS)	EGQ (excluding GTI)
GI_{it}	0.0003** (2.23)	0.0003** (2.22)	0.0003** (2.17)	0.0005* (1.94)	0.0003** (2.31)	0.0004** (2.60)
Constant	–0.3461*** (–2.79)	–0.3723** (–2.70)	–0.3778*** (–2.95)	0.1513 (1.62)	–0.3739** (–2.67)	–0.5647*** (–3.47)

Ending of the table 5

Variables	EGQ (excluding HC)	EGQ (excluding NAT)	EGQ (excluding GE)	EGQ (excluding TP)	EGQ (excluding IS)	EGQ (excluding GTI)
Control variables	+	+	+	+	+	+
Time fixed effect	+	+	+	+	+	+
Individual fixed effect	+	+	+	+	+	+
R^2	0.88	0.88	0.88	0.8	0.88	0.84
N	330	330	330	330	330	330

Notes: 1. The t -values in parentheses are calculated using in clustering robust standard errors. 2. Symbol * stands for $p < 0.1$, symbol ** stands for $p < 0.05$ and symbol *** stands for $p < 0.01$. 3. Sign + means that all control variables are controlled for this regression.

In summary, the results of the robustness checks change slightly compared to the results of the benchmark regression, but the change is small. This is shown in that the parameter estimates λ_1 are slightly different, but signs are identical and the significance remains essentially the same. Accordingly, the benchmark regression conclusions are deemed to be highly robust.

It is worth noting that green investment with a one-year lag contributes significantly to the EGQ (column 2 of table 4). It not only verifies the robustness of the benchmark regression, but also shows that the impact of green investment on the EGQ has the effect of lagging. Keeping all other variables constant, for every billion yuan increase in green investment, the index of the EGQ can increase by 0.000 2 units. As stated in the section on theoretical analysis, it takes time for both the realisation of the positive effects of investment as well as the improvement of the environment and society.

Conclusions

Taking 30 provinces in China from 2010 to 2020 as the research object, this paper empirically examined the effect of green investment on the EGQ using the two-way fixed effects model.

The study results find that increased green investment can significantly improve the EGQ. For every trillion yuan increase in green investment, the index of the EGQ is able to increase by 0.3 units, which is 1.6 times the current average value of the index. Moreover, there is a certain lag in this positive effect.

Based on the above conclusions, it is recommended that China take measures to allow green investment to increase in the long run and sustainable manner, so as to take advantage of its positive effect of improving the EGQ. The details are as follows.

The government should improve the market mechanism and mobilise the enthusiasm and creativity of firms in green investment, so as to continuously increase green investment to promote high-quality economic growth. It is advised that green financial products should be enriched and the application of sustainable financial instruments boosted in order to provide more funding sources to support sustainable projects. Moreover, it is suggested that strengthen the disclosure of information related to environmental risks, so that investors are better able to understand the value and risks of firms, thus promoting the effective allocation of green funds. The government ought to further reinforce the cultivation of talents in green finance and increase the relevant talent pool, so as to lay the foundation for the subsequent development of the green economy.

References

1. Jing Gao, Dilong Wu, Quan Xiao, AbidAli Randhawa, Quang Liu, Teng Zhang. Green finance, environmental pollution and high-quality economic development – a study based on China's provincial panel data. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(11):31954–31976. DOI: 10.1007/s11356-022-24428-0.
2. Hamamoto M. Environmental regulation and the productivity of Japanese manufacturing industries. *Resource and Energy Economics*. 2006;28(4):299–312. DOI: 10.1016/j.reseneeco.2005.11.001.
3. Zhang Minglong. [Study on the spatial effect of green investment in the process of marketisation for high]. *Guizhou caijing daxue xuebao*. 2020;4:89–100. Chinese.
4. Zeng Sheng, Zhang Minglong. [Green investment, carbon emission intensity and high-quality economic development: testing non-linear relationship with spatial econometric model]. *Xibu lun tan*. 2021;31(5):69–84. Chinese.
5. Zhaomu L. [Some insights on the high-quality development of China's economy]. *Yejin qiye wenhua*. 2018;1:26–28. Chinese. DOI: CNKI:SUN:YJZG.0.2018-01-015.
6. Tienyakov IM. [Approaches to assessing the quality of economic growth]. *Podkhody k otsenke kachestva ekonomicheskogo rosta*. 2016;4:61–73. Russian.

7. Barro RJ. Quantity and quality of economic growth. *Investigacion economica*. 2002;6:135–162.
8. Xueli Zhang, Yan Song, Ming Zhang. Exploring the relationship of green investment and green innovation: evidence from Chinese corporate performance. *Journal of Cleaner Production*. 2023;412:137–444. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137444.
9. Mingwen Chen, RongJia Chen, Shiyong Zheng, Biqing Li. Green investment, technological progress, and green industrial development: implications for sustainable development. *Sustainability*. 2023;15(4):[12]. DOI: 10.3390/su15043808.
10. Zavyalova EB, Studenikin NV. Green investment in Russia as a new economic stimulus. In: Sergi BS, editor. *Modeling economic growth in contemporary Russia*. London: Emerald Publishing Limited; 2019. p. 273–296. DOI: 10.1108/978-1-78973-265-820191011.
11. Peiyao Lu, Shigeyuki Hamori, Shuairu Tian. Can RMB investments and new environmental law improve social happiness in China? *Frontiers in Environmental Science*. 2023;11:[9]. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1089486.
12. Du Liyong. [Capital accumulation and growth]. *Shuliang jingji jishu jingji yanjiu*. 2011;28(1):35–50. Chinese. DOI: 10.13653/j.nki.jqte.2011.01.003.
13. Yuxin Z. Again knowledge of total factor productivity. *Shuliang jingji jishu jingji yanjiu*. 2007;9:3–11. Chinese. DOI: CNKI: SUN:SLJY.0.2007-09-003.
14. Hao S, Heqing G, Dong Y. Measurement and evaluation of the high-quality of China's provincial economic development. *Zhejiang shehui kexue*. 2020;8:4–14. Chinese. DOI: 10.14167/j.zjss.2020.08.001.
15. Xinyu Z, Peipei C. Estimation and evaluation of China's provincial quality of economic growth. *Caizheng yanjiu*. 2016;8:40–53. Chinese. DOI: 10.19477/j.cnki.11-1077/f.2016.08.004.
16. Barro RJ, Lee JW. International data on educational attainment: updates and implications. *Oxford Economic Papers*. 2001;53(3): 541–563. DOI: 10.1093/oep/53.3.541.

Received by editorial board 27.09.2023.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЫЗЫВАЕМОГО ИМИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

А. Д. МАТЮШЕНКО¹⁾, Т. Г. ЗОРИНА^{1), 2)}

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт энергетики НАН Беларуси, ул. Академическая, 15, корп. 2, 220072, г. Минск, Беларусь

В условиях глобализации и повышения уровня информированности потребителей об экологических проблемах внедрение экологически чистых и устойчивых установок является важным фактором снижения негативного воздействия человеческой деятельности на окружающую среду. Поворотным моментом в стремлении к чистой планете стали использование возобновляемых источников энергии и увеличение их доли в общем объеме потребления электроэнергии. Однако стоит обосновать необходимость применения зеленых установок вместо традиционных, способных наносить более значительный ущерб экологии. Целью данной статьи является сравнительный анализ невозобновляемых и возобновляемых источников энергии с учетом экономической эффективности и экологических ущербов.

Ключевые слова: энергетика; традиционные источники энергии; возобновляемые источники энергии; экономическая эффективность; экологический ущерб.

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF CONVENTIONAL AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN TERMS OF ECONOMIC EFFICIENCY AND THEIR ENVIRONMENTAL DAMAGE

A. D. MATYUSHENKO^a, T. G. ZORYNA^{a, b}

^aBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bInstitute of Power Engineering, National Academy of Sciences of Belarus,
15 Akademichnaja Street, 2 building, Minsk 220072, Belarus

Corresponding author: A. D. Matyushenko (admatyushenko@gmail.com)

In the context of globalisation and increased consumer awareness of environmental issues, the introduction of clean and sustainable installations is an important factor in reducing the negative impact of human activity on the environment.

Образец цитирования:

Матюшенко АД, Зорина ТГ. Сравнительная характеристика традиционных и возобновляемых источников энергии с точки зрения экономической эффективности и вызываемого ими экологического ущерба. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика.* 2023;2:92–99. EDN: CXNJCC

For citation:

Matyushenko AD, Zoryna TG. Comparative characteristic of conventional and renewable energy sources in terms of economic efficiency and their environmental damage. *Journal of the Belarusian State University. Economics.* 2023;2:92–99. Russian. EDN: CXNJCC

Авторы:

Ангелина Дмитриевна Матюшенко – преподаватель кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета.

Татьяна Геннадьевна Зорина – доктор экономических наук, профессор; профессор кафедры экономической безопасности экономического факультета¹⁾, заведующий сектором экономики энергетики²⁾.

Authors:

Angelina D. Matyushenko, lecturer at the department of analytical economics and econometrics, faculty of economics. admatyushenko@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-4279-2420>

Tatsiana G. Zoryna, doctor of science (economics), full professor; professor at the department of economy security, faculty of economics^a, and head of the department of energy economy^b. tanyazorina@tut.by

<https://orcid.org/0000-0001-9665-2756>

A turning point in this interest in a clean planet is the use of renewable energy sources and their growing share in total electricity consumption. However, it is worth determining the feasibility of using green installations in relation to conventional ones, which can be more environmentally damaging. The purpose of this article is to compare non-renewable and renewable energy sources in terms of economic efficiency and environmental damage.

Keywords: energy; conventional energy sources; renewable energy sources; economic efficiency; environmental damage.

Введение

Энергетика является одним из наиболее важных секторов экономики, от которого во многом зависят экономический рост, технологическое развитие и в итоге наличие средств к существованию и качество жизни общества. Большинство потребляемой населением энергии на сегодняшний день получается из невозобновляемых источников. Прогнозы показывают, что значительная их часть будет исчерпана в течение нескольких десятков или сотен лет. В настоящее время население находится в состоянии абсолютной зависимости от доступа к энергетическим ресурсам для обеспечения своей повседневной жизнедеятельности. Спрос на энергию неуклонно растет и, по имеющимся оценкам, будет продолжать расти в ближайшие годы¹. Эта информация заставила международное сообщество искать возможные решения данной проблемы. Одним из таких решений являются получение и использование энергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В настоящей статье используются технико-экономические и экологические показатели традиционных и альтернативных энергетических установок независимого агентства «Управление энергетической информации» (*Energy Information Administration, EIA*)² [1].

Исследованием воздействия различных типов электростанций на окружающую среду занимались отечественные и зарубежные ученые [2–10].

Основная часть

Электричество традиционно получают путем сжигания ископаемых видов топлива, таких как уголь, бурый уголь, нефть и природный газ, содержащих углерод и его соединения. Эти виды топлива имеют органическое происхождение: образуются из останков растений, находившихся в течение многих миллионов лет под поверхностью земли. В анаэробных условиях под огромным давлением они приобрели ту форму, в которой мы видим их сегодня. Такие источники энергии называются традиционными и относятся к категории невозобновляемых природных ресурсов [11].

Производство энергии из ВИЭ основывается на естественных циклических природных процессах и имеет ряд очень важных преимуществ, благодаря которым значение данной энергии неуклонно возрастает, а названные источники находят признание в обществе. К ВИЭ относятся такие природные ресурсы, как солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы, геотермальная теплота, растительные и животные отходы (биомасса). Эти ресурсы не иссякнут, поскольку дающие энергию процессы систематически повторяются. Принято считать, что извлечение энергии из этих источников и ее последующее использование оказывают лишь незначительное воздействие на окружающую среду и климат или вовсе его не оказывают, однако это утверждение спорно. ВИЭ, по оценкам специалистов, одинаково доступны для общества, хотя следует подчеркнуть, что в основном такая доступность обусловлена географическими и климатическими условиями. Использование ВИЭ открывает возможности для получения энергии в регионах с недостаточным количеством невозобновляемых источников энергии (ископаемого топлива) [12].

Для анализа экономических факторов были выбраны различные виды электростанций: атомная электростанция (АЭС) с малым модульным реактором, АЭС, тепловая электростанция (ТЭС) на угле, мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания, мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе, электростанция на топливном элементе, электростанции на биомассе (древесная щепа, древесная щепа (10 %) и уголь), геотермальная электростанция, гидроэлектростанция, наземная ветроэлектростанция, прибрежная ветроэлектростанция, солнечная электростанция башенного типа, солнечная фотоэлектрическая станция.

Технико-экономические показатели работы электростанций представлены в табл. 1.

¹Electricity market report – 2023 / Int. Energy Agency. Paris, 2023. 133 p.

²Capital cost and performance characteristic estimates for utility scale electric power generating technologies / Energy Inf. Adm. Washington, 2020. 212 p. ; Electric power annual – 2021 / Energy Inf. Adm. Washington, 2022. 237 p.

Технико-экономические показатели работы электростанций

Table 1

Technical and economic indicators of power plant operation

Виды электростанций	Коэффициент использования установленной мощности, %	Коэффициент полезного действия, %	Номинальная мощность, МВт	Годовая выработка электроэнергии, МВт · ч	Инвестиционные затраты, долл. США за 1 кВт	Постоянные операционные затраты, долл. США за 1 кВт в год	Переменные операционные затраты, долл. США за 1 МВт · ч	Срок эксплуатации, лет
АЭС с малым модульным реактором	92,6	20–25	600	4 867 056,0	6191	36,40	3,0	40
ТЭС на угле	49,1	46	650	2 795 754,0	4558	54,30	7,08	40
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	18,2	33–40	21	33 480,7	1810	35,16	5,69	30
Электростанция на топливном элементе	92,6	60–75	10	81 117,6	6700	30,78	0,59	20
АЭС	92,6	20–25	2156	17 488 954,6	6041	46,61	2,37	40
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	61,2	75–80	50	268 056,0	4097	125,72	4,83	40
Электростанция на биомассе (древесная щепа (10 %) и уголь)	61,2	75–80	30	160 833,6	705	25,57	1,90	20
Геотермальная электростанция	73,4	7–10	50	321 492,0	2521	128,55	1,16	40
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на сжальном газе	61,7	40	35,6	192 415,2	1563	20,10	6,20	30
Гидроэлектростанция	37,4	90–93	100	327 624,0	5316	29,86	–	50
Наземная ветроэлектростанция	36,1	20–35	200	632 472,0	1265	26,34	–	25
Прибрежная ветроэлектростанция	36,1	20–35	400	1 264 944,0	4375	110,0	–	25
Солнечная электростанция башенного типа	23,1	10–20	115	232 709,4	7221	85,40	–	30
Солнечная фотоэлектрическая станция	24,8	10–20	150	325 872,0	1755	31,27	–	30

Примечание. Разработано на основе данных [1], ежегодника электроэнергии за 2021 г., оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе.

Для выявления эффективности работы традиционных и альтернативных электростанций был проведен анализ их экономических показателей с помощью прямого ранжирования, представленный в табл. 2.

Таблица 2

Прямое ранжирование экономических показателей электростанций

Table 2

Direct ranking of economic indicators of power plants

Виды электростанций	Инвестиционные затраты	Постоянные операционные затраты	Переменные операционные затраты	Всего
АЭС с малым модульным реактором	3	8	5	16
ТЭС на угле	6	10	9	25
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	10	7	7	24
Электростанция на топливном элементе	2	5	1	8
АЭС	4	9	4	17
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	8	13	6	27
Электростанция на биомассе (древесная щепа (10 %) и уголь)	14	2	3	19
Геотермальная электростанция	9	14	2	25
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе	12	1	8	21
Гидроэлектростанция	5	4	–	9
Наземная ветроэлектростанция	13	3	–	16
Прибрежная ветроэлектростанция	7	12	–	19
Солнечная электростанция башенного типа	1	11	–	12
Солнечная фотоэлектрическая станция	11	6	–	17

Примечания: 1. Разработано на основе данных [1], оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе. 2. Используются обозначения: число 1 соответствует лучшему показателю, число 14 – худшему показателю.

На основе анализа полученных данных можно сделать вывод, что с точки зрения экономики наиболее выгодной является работа электростанции на топливных элементах (8 баллов), гидроэлектростанции (9 баллов) и солнечной электростанции башенного типа (12 баллов), а наиболее затратной – работа электростанции на биомассе (древесная щепа) (27 баллов).

Однако необходимо учитывать негативное воздействие как традиционных, так и альтернативных источников энергии на экосистему и здоровье человека за полный цикл эксплуатации станций.

Стоит отметить, что все виды энергетики наносят окружающей среде одинаковый непоправимый ущерб. Так, во время ввода электростанций в эксплуатацию имеют место загрязнение водных объектов и почвы, размещение отходов, отторжение лесных земель, потеря сельскохозяйственных земель, приводящая к уменьшению объема продовольственной и кормовой продукции, нанесение вреда растительному и животному миру, сжигание существенного количества топлива при транспортировке комплектующих, загрязнение природных сред во время производства материалов станций. При эксплуатации электростанций наблюдаются рост количества загрязняющих веществ, увеличение выбросов парниковых газов. Вывод из эксплуатации электростанций сопровождается загрязнением литосферы при транспортировке энергоносителей и захоронении отходов, а также сжиганием существенного количества топлива при транспортировке деталей до мест утилизации после истечения срока службы.

Рассмотрим все исследуемые в работе виды энергетики, которые наносят непоправимый ущерб окружающей среде (от наиболее до наименее экономически эффективных) (см. табл. 1).

Для водородной энергетики характерны рост потребления энергии и увеличение выбросов углерода, появление выбросов парниковых газов, потребление большого количества воды, использование таких дополнительных ресурсов, как платина и иридий, добыча и очистка которых может привести к загрязнению воды и почвы, дополнительным выбросам углерода [2].

В гидроэнергетике негативными последствиями работы являются обострение нехватки пресной воды, неравномерное распределение водных ресурсов (осушение некоторых рек и ручьев, затопление огромных территорий, приводящее к повышению уровня воды, разрушению берегов, возникновению оползней и обвалов), нанесение ущерба биоразнообразию (разрушение среды обитания растений и животных) [2].

При использовании атомной энергетики имеют место выбросы сварочных аэрозолей, сгоревших нефтепродуктов, аэрозолей свинца, углеводородов, радиационное, тепловое, химическое воздействие на окружающую среду, сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, загрязнение почв и недр, размещение отходов производства и потребления, незначительное влияние электромагнитного излучения, шума (в основном от транспорта), выбросов в атмосферу примесей от вспомогательных зданий и сооружений, которые не выходят за границы промышленной площадки АЭС, ионизирующее излучение при выводе станции из эксплуатации с нарушением правил демонтажа и дезактивации, переработка и удаление для последующего захоронения радиоактивных отходов [10].

Тепловая энергетика характеризуется увеличением концентрации углекислого газа в приземном слое, превышением скорости сжигания кислорода над скоростью его образования за счет фотосинтеза земных растений, тепловым загрязнением воды, приводящим к вымиранию флоры и фауны водоемов, усиленному парообразованию с поверхности жидкости, метаморфозам гидрологических характеристик стока, увеличению водорастворимости пород, осложнению их санитарного состояния и преобразованию микроклимата в отдельных районах. Кроме того, при работе различных видов ТЭС отмечаются увеличение звуковой мощности электроустановок и агрегатов, оказывающее влияние на людей, если ТЭС находится в черте города, проявление электромагнитного воздействия в виде электромагнитных полей, генерируемых воздушными линиями высокого напряжения. Косвенными причинами нанесения неправомерного вреда человеку и окружающей среде выступают гравитационное осаждение аэрозолей (под действием силы тяжести частицы аэрозоля осаждаются из газообразных выбросов вредных веществ) и химические реакции вредных веществ, выброшенных в атмосферу и гидросферу [4].

Ветроэнергетика оказывает негативное воздействие на ихтиофауну, вследствие которого происходят нарушения в среде обитания рыбы, приводящие к ее миграции и гибели. Кроме того, при работе ветроэлектростанций наблюдаются эмиссия углекислого газа при получении материалов лопастей ветрогенераторов, возникновение сильного шума вследствие резкого столкновения воздуха с поверхностями лопастей ветроустановки. При работе ветроэлектростанций нередко имеют место инфразвуковое загрязнение, отрицательно влияющее на животных, обитающих в различных слоях почвы, а также на человеческую психику, травмирование и гибель птиц и летучих мышей, попадающих в крутящиеся лопасти ветроустановки, визуальное загрязнение, связанное в большинстве случаев с необходимостью установки крупных ветрогенераторов на высокие мачты, дезориентация животных, возникновение стробоскопического эффекта от мерцания тени при вращении лопастей ветрогенератора, приводящего в определенных условиях к эпилептическим припадкам [5; 7].

Негативными последствиями биоэнергетики являются изменение накоплений углерода выше и ниже поверхности земли, рост цен на продовольствие, влекущий за собой ухудшение качества питания, увеличение количества загрязняющих веществ, изъятие древесины, приводящее к деградации лесных экосистем, снижение качества и плодородия почвы из-за интенсивного выращивания биоэнергетических культур [6].

В гелиоэнергетике (солнечной энергетике) наблюдаются производство чрезвычайно вредных химических веществ при изготовлении фотоэлектрических элементов для солнечных батарей, загрязнение окружающей среды высокотоксичными хлоратами и нитритами при утечке рабочих жидкостей, воздействие на растительность и почвы при их затенении солнечными концентраторами, изменение теплового баланса и влажности в районах расположения станций, тепловое воздействие на среду при охлаждении конденсата, значительный расход воды при очищении зеркальных панелей от пыли для повышения эффективности работы [8].

Геотермальная энергетика влияет на геологическую среду посредством повышения сейсмичности и оседания земной поверхности, загрязнения атмосферного воздуха, приводящего к глобальному потеплению и выпадению кислотных дождей. Также при работе соответствующих электростанций наблюдаются изменение стабильности грунтов, загрязнение поверхностных вод при сбросе сточных вод, загрязнение подземных вод при протечке резервуаров и трубопроводов, воздействие на животный мир через поверхностные воды, изменение климата на прилегающих территориях, тепловое загрязнение окружающей среды за счет использования большого количества охлаждающей воды при конденсации пара [9].

Основной экологический ущерб принято оценивать по выбросам в атмосферу углекислого газа (CO_2), оксида азота (NO_x) и диоксида серы (SO_2).

Сравнение уровня выбросов традиционных и возобновляемых источников энергии приводится в табл. 3.

Таблица 3

**Уровень выбросов загрязняющих веществ в атмосферу
различными типами электростанций, мг/м³**

Table 3

Level of air pollutant emissions from different types of power plants, mg/m³

Виды электростанций	Выбросы		
	NO _x	SO ₂	CO ₂
АЭС с малым модульным реактором	—	—	—
ТЭС на угле	548,95	141,58	316 798,4
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	20,56	—	288 585,6
Электростанция на топливном элементе	0,19	—	2 738 446,6
АЭС	—	—	—
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	82,25	47,19	508 107,9
Электростанция на биомассе (древесная (10 %) и уголь)	65,79	43,41	467 458,4
Геотермальная электростанция	—	—	—
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе	20,56	—	288 585,6
Гидроэлектростанция	—	—	—
Наземная ветроэлектростанция	—	—	—
Прибрежная ветроэлектростанция	—	—	—
Солнечная электростанция башенного типа	—	—	—
Солнечная фотоэлектрическая станция	—	—	—

Примечание. Разработано на основе оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе.

Значительное количество выбросов углекислого газа в атмосферу производит электростанция на топливном элементе, при этом выброс оксида азота незначительный.

Для оценки экологического ущерба, наносимого экосистеме и здоровью человека, определим негативное воздействие на трех этапах жизненного цикла электростанций (ввод, эксплуатация и вывод), а также наличие выбросов загрязняющих веществ (табл. 4).

Таблица 4

Экологический ущерб различных типов электростанций

Table 4

Environmental damage of different types of power plants

Виды электростанций	Ввод	Эксплуатация	Вывод	Выбросы			Всего
				NO _x	SO ₂	CO ₂	
АЭС с малым модульным реактором	9	5	2	0	0	0	16
ТЭС на угле	8	3	2	1	1	1	16
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания	8	3	2	1	0	1	15
Электростанция на топливном элементе	8	5	2	1	0	1	17
АЭС	9	5	2	0	0	0	16
Электростанция на биомассе (древесная щепа)	8	7	2	1	1	1	20
Электростанция на биомассе (древесная (10 %) и уголь)	8	7	2	1	1	1	20

Окончание табл. 4
Ending of the table 4

Виды электростанций	Ввод	Эксплуатация	Вывод	Выбросы			Всего
				NO _x	SO ₂	CO ₂	
Геотермальная электростанция	10	6	2	0	0	0	18
Мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе	8	7	2	1	0	1	19
Гидроэлектростанция	7	3	2	0	0	0	12
Наземная ветроэлектростанция	9	5	2	0	0	0	16
Прибрежная ветроэлектростанция	9	5	2	0	0	0	16
Солнечная электростанция башенного типа	9	5	2	0	0	0	16
Солнечная фотоэлектрическая станция	9	5	2	0	0	0	16

Примечания: 1. Разработано на основе оценки капитальных затрат и эксплуатационных характеристик технологий производства электроэнергии в коммунальном масштабе. 2. Используются обозначения: число 1 соответствует наличию ущерба, число 0 – отсутствию значительного ущерба. 3. В колонках «ввод», «эксплуатация», «вывод» приведены суммарные значения (в баллах) вышеперечисленных видов воздействия.

Таким образом, абсолютное преимущество с точки зрения экологичности принадлежит гидроэлектростанции, средние значения зафиксированы для электростанции на топливном элементе, солнечной электростанции башенного типа и солнечной фотоэлектрической станции, наземной и прибрежной ветроэлектростанциях, АЭС и АЭС с малым модульным реактором.

Целесообразность строительства и использования мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания, мини-ТЭС на базе двигателя внутреннего сгорания на свалочном газе, ТЭС на угле, электростанции на биомассе требует дополнительной оценки с точки зрения рациональности расходования денежных средств и наличия факторов, влияющих на экологию. Кроме того, стоит учитывать социальный аспект согласно концепции устойчивого развития.

Заключение

Энергетика играет ключевую роль в экономике промышленности, также она оказывает сильное влияние и на повседневную жизнь населения. Современная энергетика основывается на традиционных и альтернативных источниках энергии. К традиционным источникам относятся водородная, атомная и тепловая энергетика, к альтернативным – гидроэнергетика, ветроэнергетика, гелиоэнергетика, биоэнергетика, геотермальная энергетика. Таким образом, в статье были рассмотрены различные виды энергетических установок с точки зрения их экономической эффективности и нанесения экологического ущерба окружающей среде и здоровью человека. Проведенное исследование показало преимущество гидроэлектростанции по экологическому (наименьшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека по сравнению со всеми рассмотренными способами генерации электроэнергии) и по экономическому (одно из наименьших суммарных значений инвестиционных, постоянных и переменных операционных затрат) факторам, а также уязвимость геотермальной электростанции и электростанции на биомассе (древесная щепа), однако для точного анализа стоит принимать во внимание и социальный фактор.

Библиографические ссылки

1. Prah M, Aralica J. Comparison of operation costs of US NPP's and Krsko NPP. In: Knapp V, Calvina N, editors. *Nuclear option in countries with small and medium electricity. Materials of International conference; 1996 October 7–9; Opatija, Croatia*. Zagreb: Croatian Nuclear Society; 1996. p. 106–114.
2. Ahmed Hamza, Adebayo Pelumi, Ahmed Mousab, Arbab I Arbab. Life cycle assessment of hydrogen fuel cells: environmental impact and sustainability. *Journal of Energy Technology and Policy*. 2023;13(1):57–67. DOI: 10.7176/JETP/13-1-07.
3. Макаренко ДВ, Паршина СЛ, Снежко АА. Влияние гидроэлектростанций на окружающую среду. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2015;11(2):181–182.
4. Ядутов ВВ, Петров ТИ, Зацаринная ЮН. Воздействие ТЭС на окружающую среду. *Вестник Казанского технологического университета*. 2013;19:78–79.
5. Молоков ЛК, Рукавишников ИВ. Факторы негативного воздействия ветроэнергетики на окружающую среду. В: Магарил ЕР, Рукавишников ИВ, Березюк МВ, Платинина ЮВ, Румянцева АВ, Теслюк ЛМ, редакторы. *Система управления экологической безопасностью. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции; 20–21 мая 2021 г.; Екатеринбург, Россия*. Екатеринбург: УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; 2021. с. 143–149.

6. Yiping Wu, Fubo Zhao, Shuguang Liu, Lijing Wang, Linjing Qiu, Alexandrov G, et al. Bioenergy production and environmental impacts. *Geoscience Letters*. 2018;5:[14]. DOI: 10.1186/s40562-018-0114-y.
7. Говорушко СМ. Воздействие ветровых электростанций на окружающую среду. *Альтернативная энергетика и экология*. 2011;4:38–42.
8. Говорушко СМ. Солнечная энергетика и ее экологические проблемы. *Альтернативная энергетика и экология*. 2011;4:30–33.
9. Говорушко СМ. Геотермальные электростанции и экологические последствия их эксплуатации. *Альтернативная энергетика и экология*. 2011;4:43–47.
10. Raja KS, Pesic B, Misra M. Nuclear energy and environmental impact. In: Wei-Yin Chen, Seiner J, Suzuki T, Lackner M, editors. *Handbook of climate change mitigation*. New York: Springer; 2012. p. 1133–1182. DOI: 10.1007/978-1-4419-7991-9_30.
11. Волчок ВА, Комар ВН. *Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Солнечная энергетика*. Гродно: ГрГУ; 2017. 55 с.
12. Лукутин БВ. *Возобновляемые источники электроэнергии*. Томск: Издательство Томского политехнического университета; 2008. 187 с.

References

1. Prah M, Aralica J. Comparison of operation costs of US NPP's and Krsko NPP. In: Knapp V, Calvina N, editors. *Nuclear option in countries with small and medium electricity. Materials of International conference; 1996 October 7–9; Opatija, Croatia*. Zagreb: Croatian Nuclear Society; 1996. p. 106–114.
2. Ahmed Hamza, Adebayo Pelumi, Ahmed Mousab, Arbab I Arbab. Life cycle assessment of hydrogen fuel cells: environmental impact and sustainability. *Journal of Energy Technology and Policy*. 2023;13(1):57–67. DOI: 10.7176/JETP/13-1-07.
3. Makarenko DV, Parshina SL, Snezhko AA. Influence of hydroelectric power stations on environment. *Actual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki*. 2015;11(2):181–182. Russian.
4. Yadutov VV, Petrov TI, Zatsarinaya YuN. [Impact of TPP on the environment]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013;19:78–79. Russian.
5. Molokov LK, Rukavishnikova IV. [Factors of negative impact of wind energy on the environment]. In: Magaril ER, Rukavishnikova IV, Berezyuk MV, Plastinina YuV, Rumyantseva AV, Teslyuk LM, editors. *Sistema upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu. Sbornik trudov XV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii; 20–21 maya 2021 g.; Ekaterinburg, Rossiya* [Ecological safety management system. Proceedings of 15th International scientific and practical conference; 2021 May 20–21; Ekaterinburg, Russia]. Ekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin; 2021. p. 143–149. Russian.
6. Yiping Wu, Fubo Zhao, Shuguang Liu, Lijing Wang, Linjing Qiu, Alexandrov G, et al. Bioenergy production and environmental impacts. *Geoscience Letters*. 2018;5:[14]. DOI: 10.1186/s40562-018-0114-y.
7. Govorushko SM. [Impact of wind power stations on environment]. *ISJAE*. 2011;4:38–42. Russian.
8. Govorushko SM. [Solar energy and its ecological problems]. *ISJAE*. 2011;4:30–33. Russian.
9. Govorushko SM. [Geothermal power stations and ecological consequences of their explosion]. *ISJAE*. 2011;4:43–47. Russian.
10. Raja KS, Pesic B, Misra M. Nuclear energy and environmental impact. In: Wei-Yin Chen, Seiner J, Suzuki T, Lackner M, editors. *Handbook of climate change mitigation*. New York: Springer; 2012. p. 1133–1182. DOI: 10.1007/978-1-4419-7991-9_30.
11. Volchok VA, Komar VN. *Netraditsionnye i obnovlyaemye istochniki energii. Solnechnaya energetika* [Non-traditional and renewable energy sources. Solar energy]. Grodna: Yanka Kupala State University of Grodno; 2017. 55 p. Russian.
12. Lukutin BV. *Vozobnovlyaemye istochniki elektroenergii* [Renewable power sources]. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University; 2008. 187 p. Russian.

*Статья поступила в редколлегию 26.03.2023.
Received by editorial board 26.03.2023.*

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ В БГУ РАБОТ

INDICATIVE ABSTRACTS OF THE PAPERS DEPOSITED IN BSU

УДК 338.487:659.1(075.8)

Реклама туристского продукта [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс с креативным компонентом для спец. 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление спец. 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)» / БГУ ; сост. И. К. Трифонова. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2023. 98 с. Библиогр.: с. 87–88. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/300509>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 26.06.2023, № 006326062023.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с креативным компонентом по учебной дисциплине «Реклама туристского продукта» предназначен для студентов специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление специальности 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)». Содержание ЭУМК предполагает создание условий, содействующих освоению студентами программы учебной дисциплины. ЭУМК дополнен креативным компонентом, включающим справочную информацию и исходные данные для развития творческого мышления, комплексного и системного анализа, усвоения и закрепления знаний по основным разделам дисциплины, видеоконтент (дайджест ключевых фактов по учебной дисциплине). ЭУМК состоит из четырех разделов.

УДК 336(476)(082)

Финансы Республики Беларусь в условиях внешних вызовов [Электронный ресурс] : сб. науч. ст. / БГУ ; [редкол.: И. П. Деревяго, Н. А. Мельникова, Т. Г. Струк]. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2023. 204 с. : ил. Библиогр. в тексте. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/300942>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 04.09.2023, № 007604092023.

В статьях, вошедших в сборник, рассматриваются вопросы обеспечения финансовой стабильности в Республике Беларусь в условиях экономических санкций, что требует существенного пересмотра подходов к валютной политике, формированию доходов и расходов государственного бюджета, налогообложению, функционированию финансов организаций. В частности, значительное внимание уделяется мерам по повышению эффективности использования бюджетных средств, оптимизации налоговой нагрузки, улучшению финансового состояния организаций. Материалы сборника могут быть полезны как научным работникам и студентам экономических специальностей учреждений высшего образования, так и специалистам органов государственного управления.

УДК 005.92:004(075.8)

Попова Е. Э. Цифровые технологии в профессиональной деятельности документоведа [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. комплекс для спец. 6-05-0322-04 «Управление документами» / БГУ. Электрон. текстовые дан. Минск : БГУ, 2023. 189 с. : ил. Библиогр.: с. 181–183. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/304498>. Загл. с экрана. Деп. в БГУ 13.11.2023, № 009913112023.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 6-05-0322-04 «Управление документами». Содержание ЭУМК предполагает изучение вопросов согласно учебной программе по учебной дисциплине «Цифровые технологии в профессиональной деятельности документоведа».

ЭУМК способствует формированию системы теоретических и прикладных знаний в области информатики и информационных технологий (ИТ), овладению практическими навыками использования ИТ в качестве инструмента для решения профессиональных задач.

Структура ЭУМК включает теоретический, практический разделы, раздел контроля знаний и вспомогательный раздел.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Господарик Е. Г., Ковалёв М. М.</i> Математические модели рейтингового анализа	4
<i>Дутин С. Р.</i> Сетевая модель и методы решения задачи k коммивояжеров для оптимизации маршрутов доставки	20
<i>Бельзецкий А. И.</i> Гибридная нейросетевая модель прогнозирования поведения рынка.....	25
<i>Шалупаева Н. С.</i> Глобальные производственные сети в современной мировой экономике: вопросы теории и актуальные тенденции	39
<i>Байнев В. Ф., Гораева Т. Ю.</i> Ресурсно-полезностный подход к исследованию социально-экономических систем как теоретическая основа их безопасного развития	51
<i>Господарик Е. Г., Киселев А. В.</i> Беларусь и Казахстан: сравнительный анализ социально-экономического развития	61
<i>Чжай Яньянь, Карачун И. А., Чан Хуэй.</i> Оптимизация белорусских туристических платформ, направленная на привлечение китайских туристов.....	72
<i>Шао Цзыюй, Деревяго И. П.</i> Влияние зеленых инвестиций на качество экономического роста	81
<i>Матюшенко А. Д., Зорина Т. Г.</i> Сравнительная характеристика традиционных и возобновляемых источников энергии с точки зрения экономической эффективности и вызываемого ими экологического ущерба.....	92
Аннотации депонированных в БГУ работ.....	100

CONTENTS

<i>Gospodarik C. G., Kovalev M. M.</i> Mathematical models of rating analyses	4
<i>Dutin S. R.</i> Network model and methods for solving the k travelling salesman problem for optimisation of delivery routes.....	20
<i>Belzetsky A. I.</i> Hybrid neural network model for forecasting market behaviour	25
<i>Shalupayeva N. S.</i> Global production networks in the modern world economy: theory and current trends.....	39
<i>Bainev V. F., Gorayeva T. Yu.</i> Resource-usefulness approach to the study of socio-economic systems as a theoretical basis for their safe development.....	51
<i>Gospodarik C. G., Kisselev A. V.</i> Belarus and Kazakhstan: comparative analysis of socio-economic development.....	61
<i>Zhai Yanyan, Karachun I. A., Chang Hui.</i> Optimisation of Belarusian tourism platforms aimed at acquiring Chinese tourists.....	72
<i>Shao Ziyu, Dzeraviahha I. P.</i> The impact of green investment on the economic growth quality....	81
<i>Matyushenko A. D., Zoryna T. G.</i> Comparative characteristic of conventional and renewable energy sources in terms of economic efficiency and their environmental damage.....	92
Indicative abstracts of the papers deposited in BSU.....	100

Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по экономическим наукам.

Журнал включен в библиографическую базу данных научных публикаций «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

**Журнал Белорусского
государственного университета.
Экономика.
№ 2. 2023**

Учредитель:
Белорусский государственный университет

Юридический адрес: пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Республика Беларусь.
Почтовый адрес: пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Республика Беларусь.
Тел. (017) 259-70-74, (017) 259-70-75.
E-mail: jecon@bsu.by
URL: <https://journals.bsu.by/index.php/economy>

«Журнал Белорусского государственного
университета. Экономика» издается с января 1969 г.
До 2017 г. выходил под названием «Веснік БДУ.
Серыя 3, Гісторыя. Эканоміка. Права»
(ISSN 2308-9172).

Редактор *А. С. Люкевич*
Технические редакторы *Д. Ф. Когут, М. М. Баулина*
Корректор *Л. А. Меркуль*

Подписано в печать 30.11.2023.
Тираж 35 экз. Заказ 1184.

Республиканское унитарное предприятие
«СтройМедиаПроект».
ЛП № 02330/71 от 23.01.2014.
Ул. В. Хоружей, 13/61, 220123,
г. Минск, Республика Беларусь.

© БГУ, 2023

**Journal
of the Belarusian State University.
Economics.
No. 2. 2023**

Founder:
Belarusian State University

Registered address: 4 Niezaliezhnasci Ave.,
Minsk 220030, Republic of Belarus.
Correspondence address: 4 Niezaliezhnasci Ave.,
Minsk 220030, Republic of Belarus.
Tel. (017) 259-70-74, (017) 259-70-75.
E-mail: jecon@bsu.by
URL: <https://journals.bsu.by/index.php/economy>

«Journal of the Belarusian State University. Economics»
published since January, 1969.
Until 2017 named «Vesnik BDU.
Seryja 3, Gistoryja. Jekanomika. Prava»
(ISSN 2308-9172).

Editor *A. S. Lyukevich*
Technical editors *D. F. Kogut, M. M. Baulina*
Proofreader *L. A. Merkul'*

Signed print 30.11.2023.
Edition 35 copies. Order number 1184.

Republic Unitary Enterprise
«StroiMediaProekt».
License for publishing No. 02330/71, 23 January, 2014.
13/61 V. Haruzhaj Str.,
Minsk 220123, Republic of Belarus.

© BSU, 2023