

<https://doi.org/10.31063/2073-6517/2021.18-2.12>

УДК 330.35

JEL F14; F17; F41

М. Б. Петров, Л. А. Серков, К. Б. Кожов

Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: dsge2012@mail.ru)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ ТРУДА В РОССИИ¹

В предлагаемой публикации впервые анализируются взаимосвязь и причинно-следственные отношения между нормированными экономическими показателями, характеризующими производительность железнодорожной транспортной сети, такими как транспортноотдача, грузоотдача, транспортная подвижность населения, и показателем производительности труда в экономике России в период с 2000 по 2019 г. Основной гипотезой исследования является доказательство присутствия коинтеграционных соотношений между анализируемыми нестационарными исходными временными рядами анализируемых показателей и, как следствие, наличие кратко- и долгосрочных причинных связей между этими показателями. Для проверки данной гипотезы тестировались две модели. В первой модели определялась взаимосвязь между транспортноотдачей в качестве зависимой переменной и переменными грузоотдачей и транспортной подвижностью населения в качестве независимых. Во второй модели определялась взаимосвязь между грузоотдачей железнодорожной сети и производительностью труда в экономике России. С помощью векторной модели коррекции ошибок установлено, что между всеми переменными первой модели (транспортноотдача, грузоотдача и транспортная подвижность населения) существует совместная двусторонняя кратко- и долгосрочная причинная связь. Для второй модели эта причинная связь является односторонней. При этом изменение показателя грузоотдача железнодорожной сети не влияет на изменение показателя производительность труда в кратко- и долгосрочном периодах. Напротив, изменение показателя производительность труда влияет на изменение показателя грузоотдача сети как в краткосрочном, так и в долгосрочном периоде. В результате анализа оценены уравнения для двух моделей, определяющие долгосрочное равновесие между технико-экономическими показателями. Использование предлагаемого подхода создает дополнительные инструментально-методические возможности для анализа сложных, комплексных и многофакторных причинно-следственных отношений между развитием и уровнем использования транспортной сети и ключевыми показателями национальной экономики. Как следствие, такой подход может обогатить, повысить достоверность и обоснованность оценок социально-экономической эффективности схем и проектов развития сети железных дорог. Результаты работы могут быть использованы органами государственной власти, специализированными научными и проектными организациями, транспортными компаниями и отраслевыми союзами при осуществлении своей деятельности по стратегическому планированию, схемному проектированию развития железнодорожной транспортной сети и экономики регионов ее размещения, при выполнении предпроектных обоснований.

Ключевые слова: транспортноотдача, транспортная подвижность населения, грузоотдача сети, производительность труда, коинтеграция, векторная модель коррекции ошибок

Благодарность

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 20-010-00724 «Оценка и прогноз транспортной доступности и обеспеченности регионов РФ и их влияние на показатели устойчивого пространственного развития».

Для цитирования: Петров М. Б., Серков Л. А., Кожов К. Б. Моделирование причинно-следственных связей между эффективностью сети железных дорог и производительностью труда в России // Журнал экономической теории. 2021. Т. 18. № 2. С. 308-322. <https://doi.org/10.31063/2073-6517/2021.18-2.12>

¹ © Петров М. Б., Серков Л. А., Кожов К. Б. Текст. 2021.

Mikhail B. Petrov, Leonid A. Serkov, Konstantin B. Kozhov

Institute of Economics of the Ural Branch of RAS (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: dsge2012@mail.ru)

Modelling of the Cause and Effect Relationship Between the Indicators of Railway Efficiency and Labour Productivity in the Russian Economy

The article analyzes the causal relationship between normalized economic indicators characterizing the efficiency of the railway and labour productivity in the Russian economy in 2000–2019. Two models were tested for this purpose. The first model investigates the relationship between the transport output as a dependent variable and the variables of cargo output and transport mobility of the population as independent variables. The second model deals with the relationship between the freight output of the railway network and labor productivity in the Russian economy. With the help of the tool vector model of error correction, it was found that among all the variables of the first model, there is a joint bilateral short — and long-term causal relationship. In the second model, this causal relationship is one-sided. At the same time, the change in the freight output of the railway network does not affect the change in labor productivity in the short- and long-term. On the contrary, the change in labor productivity affects the change in the load capacity of the network both in the short- and long-term. As a result, the equations for two models that determine the long-term equilibrium between the technical and economic indicators are estimated.

The proposed approach creates additional instrumental and methodological opportunities for analyzing multi-factor causal relationships between the development of the transport network and the key indicators of a national economy. Such approach can increase the reliability and validity of assessments of the socio-economic efficiency of schemes and projects for the development of the railway network. The results can be used by public authorities, specialized research and engineering organizations, transport companies and local unions for strategic planning, designing of railway transport networks and similar.

Keywords: transport output, population travel behavior, cargo-related output of the rail network, productivity of labor, cointegration, vector error correction models

Acknowledgements

The study has been financially supported by grant of RFBR, project No. 20–010–00724 “Assessment and forecast of transport accessibility and security of regions of the Russian Federation and their impact on indicators of sustainable spatial development”.

For citation: Petrov, M. B., Serkov, L. A., & Kozhov, K. B. (2021). Modelling of the Cause and Effect Relationship Between the Indicators of Railway Efficiency and Labour Productivity in the Russian Economy. Zhurnal Ekonomicheskoy Teorii [Russian Journal of Economic Theory], 18(2), 308–322, <https://doi.org/10.31063/2073-6517/2021.18-2.12>

Введение

Грузовые и пассажирские железнодорожные перевозки являются важной и неотъемлемой частью национальной экономики, существенно влияют на жизнь общества в целом. Они способствуют наиболее полному вовлечению факторов производства в создание общественного продукта, обеспечивая его физическое сетевое распределение. Деятельность железнодорожного транспорта оказывает влияние на экономический рост, обслуживая процессы кооперации и интеграции производства, повышая эффективность его концентрации. Во-первых, от работы железнодорожного транспорта, качества транспортного обслуживания зависят инвестиционная привлекательность территорий, транспортная мобильность населения. Во-вторых, железнодорожный транспорт стимулирует другие отрасли экономики с помощью прямых, косвенных и индуцированных эффектов. В-третьих, железнодорожный транспорт способствует формированию занятости и росту доходов. В-четвертых, железнодорожный транспорт вызывает положительную экономию за счет масштаба, помогая повысить конкурентоспособность, и, наконец, железнодорожный

транспорт является важным фактором распространения технических знаний.

Для такой огромной страны, как Россия, отсутствие мобильности критически важных производственных ресурсов может стать серьезной проблемой и препятствием для экономического роста. Поэтому важно выделить как краткосрочные, так и долгосрочные причины реагирования спроса на грузовые и пассажирские перевозки в зависимости от социально-экономических и экономико-технологических детерминант на национальном уровне.

Как показано в работах (Дубовик, 2013; Мартыненко, Петров, 2016), влияние транспортной системы на социально-экономическое развитие страны является многогранным и трудно оцениваемым фактором, обусловленным необходимостью сбора труднодоступной информации и потребностью в значительных затратах по обработке этих данных. Принципиальная трудность в оценке влияния транспортной системы заключается в том, что функционирование самой системы является чрезвычайно сложным и нелинейным процессом, а ее влияние на социально-экономические явления носит комплексный характер. Это делает весьма актуальным вопрос

о разработке адекватных наборов показателей различных классов, которые, с одной стороны, не требуют больших объемов детальной информации, опираются на представленные в официальной статистике базовые показатели, а с другой стороны — являются достаточно содержательными, чтобы выявить характерные особенности и закономерности функционирования и развития транспортной системы. Для применения такого набора показателей при оценке эффективности решений в сфере регулирования развития железнодорожного транспорта важно знать взаимозависимость между переменными, выражающими показатели.

Существует обширная литература о характеристиках и факторах, влияющих на спрос на грузовые и пассажирские перевозки (Bliemer et al., 2013; Щербанин, 2011). Но практически отсутствуют публикации о взаимозависимости между многими характеристиками. В настоящем исследовании предпринята попытка эконометрически получить и дать содержательную интерпретацию причинно-следственных связей группы показателей, состоящей из трех показателей результативности совокупной протяженности железнодорожной сети страны — транспортноотдачи, грузоотдачи сети и железнодорожной транспортной подвижности населения, и общественной производительности труда в национальной экономике России.

При этом первые два показателя в настоящее время в принципе редко попадают в поле зрения экономистов. Транспортноотдача берется как отношение главного макроэкономического показателя — реального ВВП РФ — к эксплуатационной длине железных дорог общего пользования ($l_{\text{экспл}}$) и характеризует валовую добавленную стоимость, созданную в России в периоды, в которые эксплуатировалась железнодорожная сеть соответствующей протяженности. Грузоотдача сети — авторский показатель, призванный отразить производительность сети по грузовым перевозкам с точки зрения участия железнодорожного транспорта в перевозках совокупной товарной массы страны. Он взят как отношение суммы товаров, отгруженных за год (Q), к эксплуатационной длине железных дорог общего пользования. В числителе этого показателя не добавленная стоимость национальной экономики, как в показателе транспортноотдачи, и не грузооборот сети, который широко используется в транспортной статистике как основной объемный показатель транспортной работы, а полный объем товарной массы. Грузоотдача железнодорожной сети

как относительный оценочный показатель, на наш взгляд, адекватно представляет именно общеэкономическую, а не эксплуатационную отраслевую эффективность.

Третий показатель результативности совокупной протяженности железнодорожной сети, включенный в изучаемые модели, — транспортная подвижность населения по железным дорогам. Это пассажирооборот на железнодорожном транспорте (PO), отнесенный к численности населения (L).

Эти показатели, в отличие от абсолютных объемных показателей, таких как грузо- и пассажирооборот, являются нормированными и в большей степени характеризуют экономический аспект функционирования железнодорожного транспорта, в частности, результативность, эффективность и конкурентоспособность отрасли, и могут являться основными детерминантами транспортного спроса и национального развития. Кроме того, так как основным индикатором результата экономической деятельности и определяющим фактором спроса на грузовые перевозки является показатель валового внутреннего продукта (ВВП), то представляет интерес установление взаимосвязи между показателями производительности труда и грузоотдачи.

Одним из подходов к выявлению взаимозависимости и причинно-следственной связи между различного вида показателями является эконометрическое моделирование. Традиционные подходы к эконометрическому моделированию роста грузовых и пассажирских перевозок часто связаны с несколькими эмпирическими проблемами, такими как возможная эндогенность регрессоров, а также нестационарность переменных. Стандартные классические методы, такие как обычный метод наименьших квадратов (OLS) и проверка статистических гипотез, основаны на предположении, что временные ряды стационарны. Поэтому асимптотические распределения при использовании классических методов оценки моделей, таких как OLS, при оперировании с нестационарными переменными могут привести к ошибочным выводам или ложным регрессиям. Проблемами с оценкой отдельных уравнений с интегрированными или нестационарными переменными являются: нестандартные статистические распределения оценок коэффициентов, автокорреляция и нарушение нормальности распределения ошибок регрессии, нарушение слабой экзогенности (Engle et al., 1987). Средством решения данных проблем являются проверка переменных

на коинтеграцию и оценка векторных моделей коррекции ошибок, чтобы различать краткосрочные и долгосрочные эффекты взаимовлияния переменных. Основная идея коинтеграции состоит в том, что хотя каждая из двух или более переменных может быть нестационарной, их линейная комбинация может иметь стационарный тренд вследствие взаимного уничтожения стохастических трендов в линейной комбинации переменных. Эта линейная комбинация между нестационарными переменными известна как коинтегрирующий вектор (коинтеграционные отношения). Таким образом, коинтеграционные отношения между нестационарными переменными можно рассматривать как долгосрочное устойчивое состояние динамических отношений, хотя могут быть небольшие краткосрочные вариации вокруг долгосрочных отношений. Для того, чтобы долгосрочное соотношение между переменными поддерживалось, переменные должны корректироваться к отклонению, что осуществляется в векторной модели коррекции ошибок (VECM). Более подробно с идеей коинтеграции и векторной моделью коррекции ошибок можно ознакомиться в (Engle et al., 1987).

Исходя из вышесказанного, целью и задачей предлагаемой публикации является анализ причинно-следственных связей, а также краткосрочных и долгосрочных соотношений между нормированными технико-экономическими показателями железнодорожной сети, такими как транспортно- и грузоотдача, транспортная подвижность населения, в рамках векторной модели коррекции ошибок.

Обзор литературы

Как уже отмечалось выше, публикации о взаимозависимости между показателями транспортно- и грузоотдачи железнодорожной сети, транспортной подвижности населения, производительности труда практически отсутствуют. Основная масса публикаций посвящена анализу влияния логистической инфраструктуры железнодорожного транспорта на региональную и национальную экономику. В частности, в работе (Попов, Мирецкий, 2019) предлагается методология формирования логистической инфраструктуры в регионах путем использования оптимизационных моделей по эффективному размещению ключевых объектов логистической инфраструктуры, способствующих уменьшению общих издержек в сети распределения, что, в конечном итоге, приведет в экономическому росту в регионе. В публикации (Казаков и др., 2014) приведены некоторые ре-

зультаты моделирования региональной транспортной сети на основе модели ее гиперграфа, позволяющего формализовать большой объем разнородных данных в условиях их неполноты и выступающего ключевым фактором постановки и решения транспортно-логистических задач на пространстве целого региона.

А.Н. Рахмангуловым и О.А. Копыловой (2014) предложены многофакторные статистические модели, определяющие вид и силу взаимосвязей факторов социально-экономического развития регионов, а также эконометрическая модель, позволяющая оценивать влияние этих факторов на объекты логистической инфраструктуры в регионах и выявить масштабы воздействия на их основные макроэкономические показатели.

В монографии (Bliemer et al., 2013) рассматриваются основные вопросы транспортно-логистического планирования: инвестирование в транспортную инфраструктуру и его влияние на экономику, проблемы взаимодействия между различными видами транспорта и логистикой. Работа основана на большом количестве допущений и не рассматривает вопросы изучения причинно-следственной связи между транспортными факторами и экономическим ростом.

Интересной является публикация (Мачерет, 2016), в которой анализируется динамика основных показателей, в том числе технико-экономических, крупнейших железнодорожных систем за столетний период. В публикации показаны позитивные результаты экономических реформ на железнодорожном транспорте. Сделан вывод о необходимости развития рыночных механизмов и их институциональной основы (в частности, снятия ограничений на привлечение частного капитала в развитие существующей железнодорожной инфраструктуры) для успешного решения задач развития российской железнодорожной отрасли и всей экономики страны.

Многочисленные зарубежные исследования подтверждают положительную взаимосвязь между транспортной инфраструктурой и экономическим ростом. В исследовании (Aushauer, 1989) оценена неоклассическая производственная функция, и инвестиции рассматриваются как вложение в транспортную инфраструктуру. В работе (Alleman, et al, 1994) найдена положительная взаимосвязь между транспортной инфраструктурой и экономическим развитием.

По результатам исследования в работе (Rietveld, 1989) сделан вывод, что развитие

инфраструктуры не является достаточным условием для регионального развития. Важную роль для экономического роста сыграли другие факторы, такие как труд и капитал. Хотя улучшение инфраструктуры может привести к экономическому росту, сама транспортная инфраструктура не может максимизировать производительность (Eakin, Schwartz, 1995).

Ряд работ посвящен применению векторной модели коррекции ошибок для анализа причинно-следственных связей между транспортными показателями и экономическим ростом. В работе (Pradhan Rudra, Bagchi, Taran, 2013) выявлена двунаправленная причинно-следственная связь между интенсивностью использования автомобильного транспорта и экономическим ростом. Однонаправленная причинно-следственная связь выявлена между экономическим ростом и железнодорожными перевозками. Авторы полагают, что политика, благоприятная для развития транспортной инфраструктуры в Индии, будет способствовать устойчивому экономическому росту в этой стране. В вопросах взаимного влияния транспорта и экономического роста исследователи из Китая в рамках *VECM* (Liu et al, 2006) обнаружили одностороннюю причинную связь между транспортной логистикой и экономическим ростом в Китае. Следует отметить крайне малое количество исследований, связанных с применением *VECM* для анализа причинно-следственных отношений в транспортной отрасли. Между тем, этот инструментарий представляется самым эффективным для анализа данного типа проблем.

В. Мак и др. в работе (Мак, Arvin et al., 2015), используя авторегрессивную модель панельного вектора, установили причинную связь между следующими четырьмя переменными: интенсивность перевозок, масштабы урбанизации, выбросы CO_2 и экономический рост

как в краткосрочной, так и долгосрочной перспективе. Основной вывод: интенсивность пассажирских перевозок в странах G-20 должна быть повышена с целью стимулирования экономического роста.

Во всех вышеназванных публикациях в качестве транспортных показателей используются интенсивность транспортных перевозок, транспортная доступность, протяженность автомобильных и железных дорог, грузооборот. Исследования по применению технико-экономических показателей (кроме грузооборота) в качестве транспортных и анализу причинно-следственных связей между ними практически отсутствуют. Поэтому анализ причинно-следственных связей, а также краткосрочных и долгосрочных соотношений между нормированными технико-экономическими показателями железнодорожной сети, такими как транспортно- и грузоотдача, транспортная подвижность населения, является актуальным. Кроме того, в отличие от вышеприведенных публикаций, в настоящей работе авторами впервые проведен эконометрический анализ взаимосвязи между основными показателями результативности, характеризующими железнодорожную сеть, и значимым показателем эффективности национальной экономики — производительностью труда.

Данные и методология

Объектом исследования в данной работе являются технико-экономические показатели железнодорожной сети России, приведенные в таблице 1. Все показатели получены расчетом из данных, доступных на официальном сайте Росстата. Период выборки — с 2000 по 2019 год¹. Так как используемые временные ряды

¹ Использование годовых данных обусловлено отсутствием официальной квартальной статистики для исследу-

Таблица 1

Показатели, используемые при моделировании

Показатель	Определение	Обозначение (в логарифмах)	Единица измерения
Грузоотдача железнодорожной сети РФ	$\frac{Q}{I_{\text{экспл}}}$	<i>LGR_OTD</i>	Млн тонн/тыс. км
Транспортоотдача железнодорожной сети РФ	$\frac{\text{ВВП}}{I_{\text{экспл}}}$	<i>LTR_OTD</i>	Млн руб./тыс. км
Транспортная подвижность населения РФ	$\frac{PO}{L}$	<i>LTR_POD</i>	Млн пасс.-км./тыс. чел.
Производительность труда в РФ	$\frac{\text{ВВП}}{L_{\text{зан}}}$	<i>LPR_TR</i>	Млн руб./тыс. чел.
Транспортовооруженность РФ	$\frac{I_{\text{экспл}}}{L_{\text{зан}}}$	<i>LTR_VOOR</i>	Тыс. км. /тыс. чел.

Таблица 2

Описательная статистика исследуемых переменных

Показатели статистики	<i>LGR_OTD</i>	<i>LTR_OTD</i>	<i>LTR_POD</i>	<i>LPR_TR</i>
Среднее	1.171741	2.108036	3.009543	5.198598
Медиана	1.188116	2.142039	3.012740	5.228556
Максимум	1.218096	2.191212	3.096910	5.274821
Минимум	1.085448	1.929157	2.917541	5.050272
Стандартное отклонение	0.043146	0.085041	0.057788	0.071137
Асимметрия	-0.980396	-0.941641	-0.067054	-0.896882
Экссесс	2.483267	2.475031	1.801116	2.409922
Сумма квадратов отклонений	0.035370	0.137406	0.063450	0.096150
Кол-во наблюдений	20	20	20	20

являются достаточно короткими, то особое внимание в работе уделено проверке правильности спецификации моделей. Все показатели являются годовыми данными и перед анализом преобразуются в естественную логарифмическую форму (с помощью натурального логарифма)¹.

Производительность труда рассчитывалась стандартным образом как отношение реального ВВП к численности занятого населения ($L_{зан}$). Реальный ВВП РФ определялся в постоянных ценах 2008 г. Наконец, транспортно-оруженность труда рассчитывалась как отношение эксплуатационной длины сети к численности промышленно-производственного персонала в грузообразующих отраслях. Ввиду недоступности данных о численности этого персонала в качестве прокси-переменной использовалась численность занятого населения во всех отраслях. Отметим также, что во всех нижеприведенных регрессионных уравнениях и в *VECM* этот показатель оказался незначимым и в дальнейшем авторами использоваться не будет².

В таблице 2 приведена описательная статистика исследуемых показателей. Все анализируемые переменные имеют отрицательные значения коэффициента асимметрии, то есть статистические распределения всех этих переменных отрицательно искажены по сравнению с нормальным распределением. В меньшей степени это касается показателя транспортной подвижности населения. Таким образом, временные ряды всех этих переменных могут иметь стохастический тренд и быть нестационарными.

емых показателей.

¹ Преобразование данных в логарифмическую форму обусловлено тем, что использование их в исходной форме приводит к гетероскедастичности остатков оцененных уравнений (3)–(7).

² Кроме того, временной ряд для этого показателя является стационарным.

онарными. Для проверки этого утверждения следует протестировать исследуемые временные ряды на наличие единичного корня.

Естественно предположить наличие взаимосвязи между транспортноотдачей железнодорожной сети и нормированными грузовыми и пассажирскими потоками этой сети. Поэтому представляет интерес тестирование взаимосвязи между транспортноотдачей в качестве зависимой переменной и переменными грузоотдача и транспортная подвижность населения в качестве независимых переменных. Регрессионное уравнение, отражающее эту взаимосвязь, можно записать в виде

$$LTR_OTD_t = \alpha_1 + \beta_1 LGR_OTD_t + \beta_2 LTR_POD_t + \varepsilon_t, \\ \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2). \quad (1)$$

Уравнение (1) предполагает, что грузоотдача железнодорожной сети и транспортная подвижность населения являются основными факторами, влияющими на транспортноотдачу сети. Так как все переменные логарифмированы, то оценка коэффициента при соответствующей переменной может быть интерпретирована как эластичность транспортноотдачи сети при этом показателе.

Также естественно предположить и протестировать взаимосвязь между грузоотдачей железнодорожной сети и производительностью труда в национальной экономике.

$$LGR_OTD_t = \alpha_1 + \beta_1 LPR_TR_t + \varepsilon_t, \\ \varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2). \quad (2)$$

Уравнение (2) предполагает, что производительность труда в экономике РФ является одним из основных факторов, влияющих на грузоотдачу железнодорожной сети. Заметим, что оба уравнения (1) и (2) отражают взаимосвязь между экономическим ростом и работой железнодорожного транспорта, так

как показатели транспортотдача и производительность труда связаны с ВВП РФ.

Для проверки нестационарности переменных проводятся расширенные тесты на наличие единичного корня Дики — Фуллера (Dickey, Fuller, 1981). Коинтеграционный тест, основанный на процедуре Йохансена (Johansen, Juselius, 1990; Johansen, 1988), проводится для выяснения существования долгосрочной связи между изучаемыми показателями. В случае отсутствия этой связи для анализа причинно-следственных отношений следует использовать инструментарий векторной авторегрессии. В противном случае следует использовать инструментарий *VECM*. При этом для определения направления связи между переменными уравнений (1) и (2) проверяется гипотеза о слабой экзогенности (значимость корректирующего коэффициента в модели коррекции ошибок), а также тест на причинность по Грейнджеру (Granger, 1981, 1986), примененный к результатам оценивания модели *VECM*.

VECM-модель, в основе которой лежит соотношение между показателями (1), записывается в виде (в дальнейшем — первая модель):

$$\Delta LTR_OTD_t = a_0 + \sum_{i=1}^k a_{1i} \Delta LGR_OTD_{t-1} + \sum_{i=1}^k a_{2i} \Delta LTR_POD_{t-1} + \beta_1 ect_{1,t-1} + \varepsilon_{1t}, \quad (3)$$

$$\Delta LGR_OTD_t = b_0 + \sum_{i=1}^k b_{1i} \Delta LTR_OTD_{t-1} + \sum_{i=1}^k b_{2i} \Delta LTR_POD_{t-1} + \beta_2 ect_{1,t-1} + \varepsilon_{2t}, \quad (4)$$

$$\Delta LTR_POD_t = c_0 + \sum_{i=1}^k c_{1i} \Delta LTR_OTD_{t-1} + \sum_{i=1}^k c_{2i} \Delta LGR_OTD_{t-1} + \beta_3 ect_{1,t-1} + \varepsilon_{3t}. \quad (5)$$

Аналогично, *VECM*-модель, в основе которой лежит соотношение между показателями (2), записывается в виде (в дальнейшем — вторая модель):

$$\Delta LGR_OTD_t = d_0 + \sum_{i=1}^k d_{1i} \Delta LPR_TR_{t-1} + \beta_4 ect_{2,t-1} + \varepsilon_{4t}, \quad (6)$$

$$\Delta LPR_TR_t = e_0 + \sum_{i=1}^k e_{1i} \Delta LGR_OTD_{t-1} + \beta_5 ect_{2,t-1} + \varepsilon_{5t}. \quad (7)$$

В уравнениях (3)–(7) все слагаемые являются стационарными. Поэтому эти уравнения можно оценивать с помощью *OLS*. В этих

уравнениях Δ является оператором первой разности между переменными, $ect_{1,2,t-1}$ представляет слагаемое, лагированное на один период и корректирующее ошибку отклонения от долгосрочного соотношения между коинтегрированными переменными. Ненулевые значения этого слагаемого указывают на лагированное отклонение от долгосрочного равновесия, которое ликвидируется через коэффициенты β_i . Численные значения этих коэффициентов показывают, сколь быстро анализируемые переменные подвергаются корректировке при отклонении от долгосрочных соотношений. При этом совместная значимость коэффициентов перед лагированными первыми разностями объясняющих переменных, определяемая с помощью стандартного теста Вальда, означает краткосрочную причинность между этими переменными и зависимым показателем. Долгосрочная причинность объясняется значимостью коэффициента перед корректирующим ошибку слагаемым $ect_{1,2,t-1}$, определяемым с помощью *t*-статистики.

Результаты анализа и их обсуждение

Анализ причинности между исследуемыми показателями проводился по следующему алгоритму: тестирование рядов на единичные корни (тест Дики — Фуллера); тест Йохансена на наличие коинтеграции; определение нормированных долгосрочных коэффициентов; тест Э. Грейнджера на причинность.

В таблице 3 представлены результаты расширенного теста Дики — Фуллера на наличие единичных корней для уровней и первых разностей временных рядов исследуемых переменных. Из результатов теста следует, что временные ряды всех анализируемых показателей являются нестационарными в уровнях и стационарными в первых разностях.

Метод коинтеграции Йохансена описывает оценочные значения долгосрочных коэффициентов переменных. Перед проведением этого теста определялась лаговая структура первой и второй моделей с применением критерия Акаике (Akaike, 1974). В результате тестирования сделан вывод об оптимальном количестве лагов для первой модели, равном двум, а для второй модели — равном четырем. Результаты теста Йохансена на наличие коинтеграции приведены в таблице 4.

Таким образом, результаты теста Йохансена свидетельствуют о наличии одного коинтеграционного соотношения между временными рядами первой (количество лагов равно двум)

Таблица 3
Результаты расширенного теста Дики — Фуллера на наличие единичного корня

Переменная	ADF (уровни)	ADF (первые разности)
LTR_OTD	-1.249	-3.987**
LGR_OTD	-2.187	-4.283**
LTR_POD	-0.916	-3.267**
LPR_TR	-1.381	-3.779**

Примечание: уровень значимости ** соответствует 5 %.

Таблица 4
Результаты теста Йохансена на наличие коинтеграции (количество лагов для первой модели — 2, для второй — 4, наличие константы в коинтеграционном соотношении)

Модель	Гипотеза о количестве коинтеграционных соотношений	Трасс-статистика	Статистика на максимальное собственное значение
1	None [*]	52.161	0.861
	At most 1	18.574	0.585
	At most 2	3.543	0.188
2	None [*]	22.060	0.674
	At most 1	4.078	0.220
	At most 2	1.231	0.112

Примечание: * означает отклонение нулевой гипотезы об отсутствии хотя бы одного коинтеграционного соотношения.

и второй (количество лагов равно четырем) моделей.

В таблице 5 приведены нормализованные значения коэффициентов долгосрочной коинтеграционной связи для первой и второй моделей. Из приведенных в таблице данных следует, что все коэффициенты в долгосрочных соотношениях для первой и второй моделей являются значимыми.

В таблицах 6, 7 приведены результаты теста Грейнджера на краткосрочную и совместную кратко- и долгосрочную причинность. Следует отметить, что в первой модели отсутствует двусторонняя причинная долгосрочная связь между транспортной подвижностью населения и транспорто- и грузоотдачей, так как корректирующий коэффициент перед коинтеграционным слагаемым в третьем уравнении является незначимым. Аналогично, во второй модели отсутствует двусторонняя долгосрочная причинная связь между производительностью труда и грузоотдачей железнодорожной сети.

В первой модели между показателями транспортоотдача и грузоотдача существует

двусторонняя краткосрочная причинно-следственная связь. Аналогично, двусторонняя краткосрочная причинность присутствует между переменными транспортная подвижность населения и грузоотдача. Напротив, между переменными транспортная подвижность населения и транспортоотдача существует односторонняя причинная краткосрочная связь. При этом изменение показателя транспортоотдача не влияет на изменение показателя транспортная подвижность населения. Интересным является результат для второй модели, в которой присутствует только односторонняя краткосрочная причинная связь между грузоотдачей сети и производительностью труда. В этом случае изменение показателя грузоотдача сети не влияет на изменение показателя производительность труда. Напротив, изменение производительности труда влияет на изменение показателя грузоотдача железнодорожной сети. Отметим еще раз, что эти результаты относятся к краткосрочной причинной связи между исследуемыми технико-экономическими показателями.

Из результатов теста на совместную краткосрочную и долгосрочную причинность (табл. 7) следует, что между всеми переменными первой модели существует совместная двусторонняя кратко- и долгосрочная причинная связь. Для второй модели эта причинная связь является односторонней. Диаграмма причинно-следственных связей по Грейнджеру для этого теста приведена на рисунке 1.

Очень важно проверить правильность спецификации модели и стабильность ее коэффициентов ввиду использования в исследова-

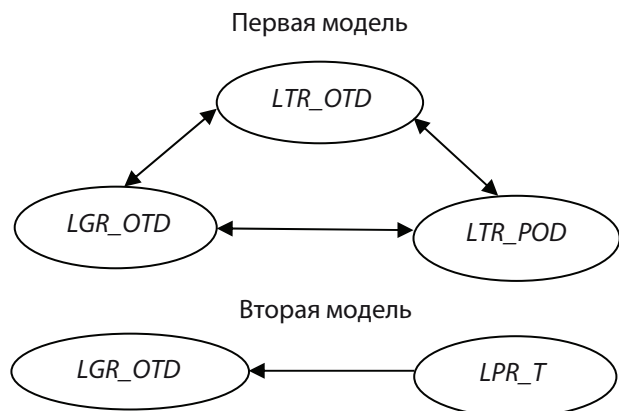


Рис. 1. Диаграмма совместной краткосрочной и долгосрочной причинно-следственной связи по Грейнджеру между исследуемыми показателями. Двухсторонние стрелки обозначают двустороннюю связь между переменными. Односторонние стрелки обозначают одностороннюю связь

Таблица 5

Нормализованные значения коэффициентов коинтеграционного соотношения для первой и второй моделей

Модель	Зависимая переменная	Константа	Независимые переменные	
			LGR_OTD	LTR_POD
1	LTR_OTD	0.275**	-1.276**	-0.401***
2	LGR_OTD	0.988**		-0.416**

Примечание: уровень значимости ** соответствует 5 %, уровень значимости *** соответствует 1 %.

Таблица 6

Результаты теста Грейнджера на краткосрочную причинность (количество лагов для первой модели — 2, для второй модели — 4, наличие константы в коинтеграционном соотношении)

Модель	Зависимая переменная	Краткосрочная причинность (χ^2 статистика)				Коэффициент <i>ect</i>
		LTR_OTD	LGR_OTD	LTR_POD	LPR_TR	
1	LTR_OTD		12.900***	10.655***		-0.643***
	LGR_OTD	14.432***		8.112***		-1.043***
	LTR_POD	3.123	6.123**			-0.271
2	LGR_OTD				8.101***	-1.911**
	LPR_TR		3.997			-0.466

Примечание: уровень значимости * соответствует 10 %, уровень значимости ** соответствует 5 %, уровень значимости *** соответствует 1 %.

Таблица 7

Результаты теста Грейнджера на совместную краткосрочную и долгосрочную причинность (количество лагов для первой модели — 2, для второй — 4, наличие константы в коинтеграционном соотношении)

Модель	Зависимая переменная	Совместная краткосрочная и долгосрочная причинность (χ^2 статистика)			
		LTR_OTD	LGR_OTD	LTR_POD	LPR_TR
1	LTR_OTD		21.213***	20.655***	
	LGR_OTD	24.402***		28.312***	
	LTR_POD	4.123*	6.123**		
2	LGR_OTD				15.123***
	LPR_TR		4.019		

Примечание: уровень значимости * соответствует 10 %, уровень значимости ** соответствует 5 %, уровень значимости *** соответствует 1 %.

Таблица 8

Результаты тестов на наличие автокорреляции, гетероскедастичности и нормальности распределения остатков

Тест	Уравнение (3)	Уравнение (4)	Уравнение (5)	Уравнение (6)	Уравнение (7)
χ^2 (автокорр.)	1.751 [0.187]	1.508 [0.217]	0.767 [0.357]	0.898 [0.459]	1.377 [0.277]
χ^2 (гетероскед.)	1.972 [0.160]	1.388 [0.251]	0.160 [0.971]	1.371 [0.268]	1.512 [0.298]
χ^2 (нормальность)	1.681 [0.431]	1.772 [0.411]	0.425 [0.878]	1.345 [0.367]	1.184 [0.280]

Примечание: Отсутствие автокорреляции в остатках проверяется с помощью LM теста. Отсутствие гетероскедастичности проверяется с помощью теста Уайта. Нормальность распределения остатков уравнений проверяется с помощью теста Жака — Бера. В квадратных скобках указаны р-значения. Нулевая гипотеза — отсутствие автокорреляции в остатках, гетероскедастичности и нормальность распределения остатков (отсутствие асимметрии и эксцесса в распределении).

нии достаточно коротких временных рядов. Правильность спецификации моделей проверялась с помощью тестов на отсутствие автокорреляции в остатках уравнений, отсутствие

гетероскедастичности и нормальность распределения остатков. Эти тесты подтвердили правильность спецификации исследуемых моделей (таблица 8).

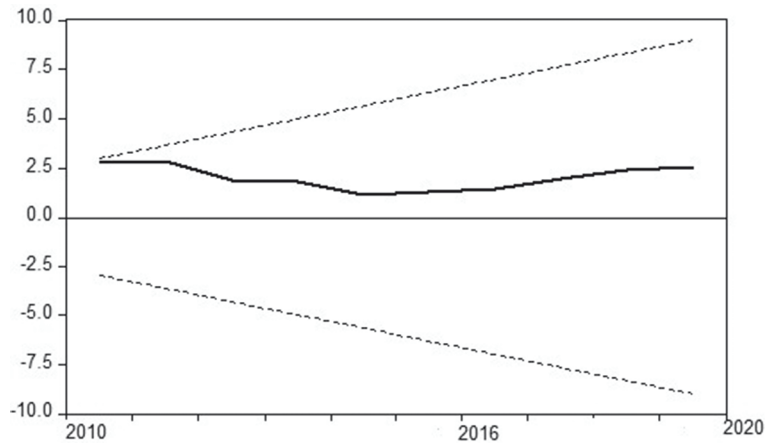


Рис. 2. Тест CUSUM на стабильность параметров модели. Уравнение (3)

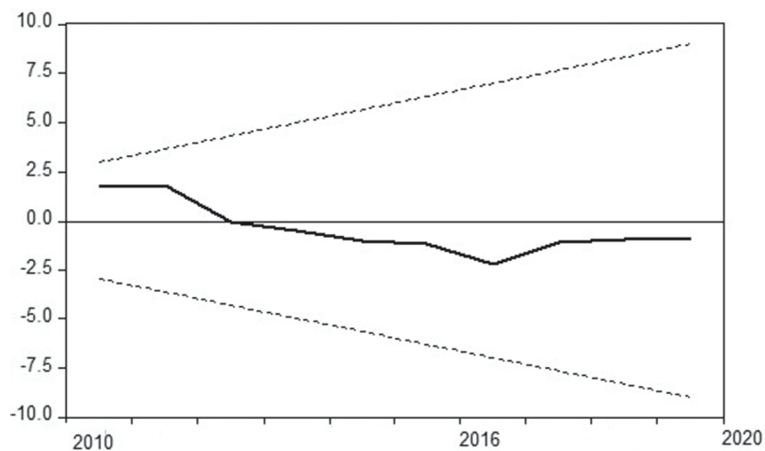


Рис. 3. Тест CUSUM на стабильность параметров модели. Уравнение (4)

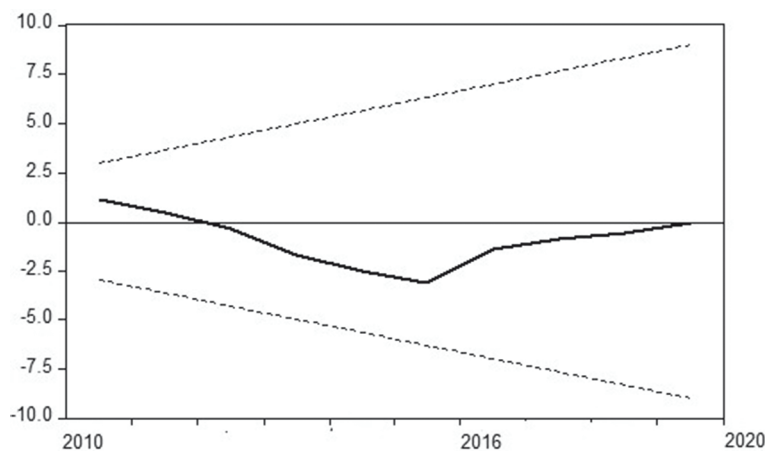


Рис. 4. Тест CUSUM на стабильность параметров модели. Уравнение (5)

Проверка стабильности оцененных коэффициентов уравнений рассматриваемых моделей проводилась с помощью теста *CUSUM* (кумулятивная сумма рекурсивных остатков). Тест фиксирует нестабильность параметров модели в случае нахождения кумулятивной суммы остатков вне площади, ограниченной двумя критическими линиями, соответствующими

5 %-ному уровню значимости. Результаты теста для уравнений модели (3)–(6) приведены на рисунках 2–5 и свидетельствуют о стабильности оцененных коэффициентов модели¹.

¹ Для уравнения (7) результаты теста полностью совпадают с результатами теста для уравнения (6) и поэтому не приводятся.

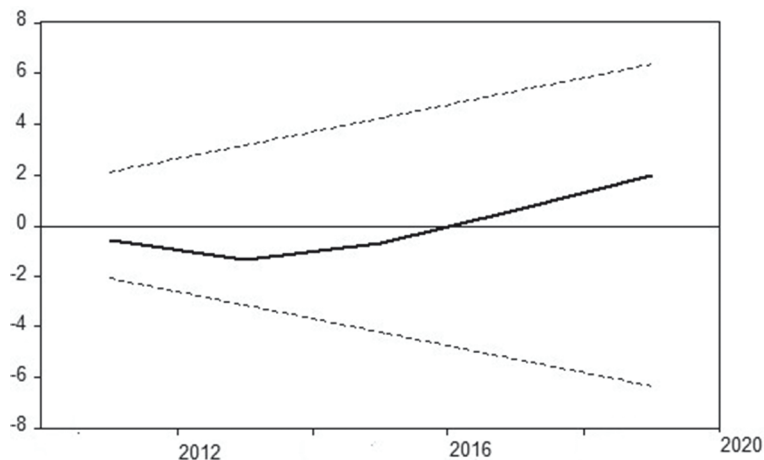


Рис. 5. Тест CUSUM на стабильность параметров модели. Уравнение (6)

Таким образом, коинтеграционное уравнение (1) для первой модели записывается в виде:

$$LTR_OTD_t = -0.275 + 1.276LGR_OTD_t + 0.401LTR_POD_t + \varepsilon_t. \quad (8)$$

Для второй модели аналогичное соотношение записывается в виде:

$$LGR_OTD_t = -0.988 + 0.416LPR_TR_t + \varepsilon_t. \quad (9)$$

Рассмотрим механизм коррекции ошибок на примере второй модели. Если показатель производительности труда в момент времени $(t-1)$ увеличится на 1% (уравнение (9)), а показатель грузоотдачи железнодорожной сети более чем на 0.416%, то возникнет положительный шок, который в момент времени t должен быть скорректирован. Согласно двум уравнениям (6)–(7) модели коррекции ошибок переменная грузоотдача сети подвергается коррективке в нужном направлении со скоростью, характеризуемой коэффициентом $\beta_4 = -1.911$ перед коинтеграционным соотношением в модели $est_{2,t-1}$. При этом чем больше значение этого коэффициента, тем больше

скорость корректировки. Показатель производительности труда не корректируется к долгосрочному равновесию, так как аналогичный коэффициент $\beta_5 = -0.466$ является статистически незначимым и отрицательным. Таким образом, между двумя этими показателями существует односторонняя краткосрочная и долгосрочная причинно-следственная связь – изменение производительности труда влияет на изменение грузоотдачи железнодорожной сети, но не наоборот. На рисунке 6 показан механизм корректировки шоков к долгосрочному равновесию для второй модели в течение рассматриваемого периода (уравнения (6)–(7)).

Таким образом, производительность труда является слабоэкзогенной переменной, так как влияние на нее долгосрочной динамики грузоотдачи статистически незначимо. Отсутствует также краткосрочная зависимость производительности труда от грузоотдачи.

К сожалению, для первой модели аналогичная трактовка является более сложной и неоднозначной ввиду наличия трех переменных в коинтеграционном уравнении. Заметим

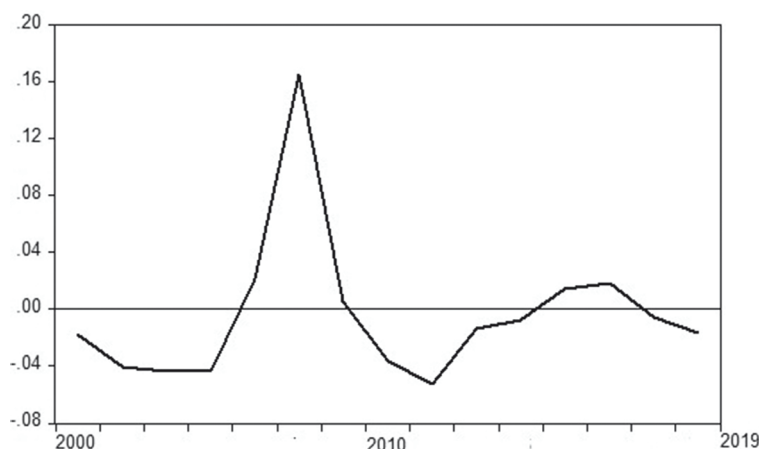


Рис. 6. Коинтеграционное соотношение (полужирная линия) для второй модели между переменными грузоотдача сети и производительность труда

только, что скорость корректировки показателя грузоотдачи к долгосрочному равновесию значительно больше аналогичной скорости для переменной транспортотдача (табл. 6). Наконец, показатель транспортной подвижности населения не корректируется к долгосрочному равновесному состоянию ввиду незначимости коэффициента β_3 в уравнении (5) и является слабоэкзогенной переменной. Для этого показателя имеется краткосрочная зависимость от грузоотдачи железнодорожной сети.

Таким образом, согласно полученным оценкам (уравнения (8)–(9)) увеличение на 1 % грузоотдачи железнодорожной сети приводит в долгосрочном периоде к росту транспортотдачи на 1.276 %. Аналогично увеличение транспортной подвижности населения на 1 % приводит в долгосрочном периоде к росту транспортотдачи на 0.401 %. То есть, показатель грузоотдачи сети является более действенным фактором, влияющим на транспортотдачу, по сравнению с транспортной подвижностью населения. В свою очередь, рост производительности труда в экономике РФ на 1 % приводит в долгосрочном периоде к увеличению грузоотдачи железнодорожной сети на 0.416 %.

Интерпретация этих результатов приводит к следующим дополнительным выводам:

1) Подтверждена гипотеза о целесообразности расширения применения в экономическом анализе, планировании и обоснованиях наряду с показателями добавленной стоимости показателей, основанных на конечной товарной массе. Введенный нами показатель грузоотдачи сети увеличивается с ростом производительности труда при эластичности много меньше 1 (0.416). То есть, существенна долгосрочная тенденция возрастания, хотя и не очень интенсивного, использования железнодорожной сети с ростом производительности труда национальной экономики, измеряемой по валовой добавленной стоимости совокупной экономической деятельности. Экономический смысл этого результата еще и в том, что несмотря на то, что, вероятно, рост грузовой базы в современной российской экономике не служит детерминантом производительности труда, необходимо ускорить развитие железнодорожной транспортной сети, которая должна будет воспринимать дополнительные грузопотоки как долгосрочное следствие роста производительности труда, за которой неизбежно должен стоять рост отгружаемой товарной массы.

2) В свою очередь, отгружаемая товарная масса и, как следствие, грузоотдача с достаточно высокой эластичностью (1.276) вли-

яет на долгосрочный рост транспортотдачи как важнейшего общеэкономического показателя эффективности использования железнодорожной транспортной сети. Построенные в настоящей работе две модели совместно указывают на существование диапазона эффективного темпа прироста железнодорожной сети. Его сценарная оценка — предмет отдельного исследования. Однако из полученных результатов видно, что за изученный двадцатилетний период накоплено значительное отставание в развитии железных дорог, которое не должно определяться и оправдываться по существу кратковременными конъюнктурными и институциональными факторами, приводившими к слабому и неравномерному росту грузовой базы, за которой стоят реальная товарная масса, необходимые для развития и роста уровня и качества жизни инвестиционные, потребительские и общественные блага, а не только экспортоориентированная грузоемкая и сконцентрированная на главных ходах, подходах к портам и сухопутным погранпереходам продукция. В силу последнего обстоятельства инвестиции в транспортную сеть в анализируемый период относительно в малой мере направлялись на прирост эксплуатационной длины.

3) Мобильность населения, определяющая транспортную подвижность, в определенной степени также участвует в формировании долгосрочной тенденции к росту транспортотдачи. Однако по силе влияния существенно уступает грузоотдаче. Такое сопоставление экзогенных факторов лишний раз указывает на то, что важнейшее условие экономического роста и развития — рост товарности предприятий, размещенных по всей сети, и загрузка их производственных мощностей.

В целом полученные результаты иллюстрируют объясняющие и прогностические возможности продвинутой эконометрики в части измерения причинно-следственных отношений экономики страны и ее железнодорожной транспортной системы (Cai, 2006).

Заключение

В предлагаемой публикации впервые анализируются взаимосвязь и причинно-следственные отношения между нормированными экономическими показателями использования железнодорожной сети — транспортотдача, грузоотдача, транспортная подвижность населения — и производительностью труда в экономике России в период с 2000–2019 гг. Для этого тестировались две модели. В первой модели

определялась взаимосвязь между транспортотдачей в качестве зависимой переменной и переменными грузоотдача и транспортная подвижность населения в качестве независимых переменных. Во второй модели определялась взаимосвязь между грузоотдачей железнодорожной сети и производительностью труда.

В результате исследования установлено, что временные ряды всех анализируемых показателей являются нестационарными. Тесты на коинтеграцию между переменными показали наличие одного коинтеграционного соотношения между показателями для каждой из исследуемых моделей, что позволило использовать инструментарий *VECM*. С помощью этого инструментария установлено, что между всеми переменными первой модели (транспортотдача, грузоотдача и транспортная подвижность населения) существует совместная двусторонняя кратко- и долгосрочная причинная связь. Для второй модели эта причинная связь является односторонней. При этом изменение показателя грузоотдача железнодорожной сети не влияет на изменение показателя производительность труда в краткосрочном и в долгосрочном периодах. Напротив, изменение показателя производительность труда влияет на изменение показателя грузоотдача сети как в краткосрочном, так и в долгосрочном периоде. В результате анализа оценены уравнения для двух моделей, определяющие долгосрочное равновесие между технико-экономическими показателями.

Особое внимание уделено проверке правильности спецификации моделей ввиду использования в исследовании достаточно коротких временных рядов. При этом авторы отдают себе отчет в том, что количественные (но не качественные) характеристики полученных результатов могут измениться при использовании более длинных временных рядов (например, квартальных данных).

Практическое применение полученных результатов связано с их учетом при разработке рекомендаций по выработке стратегии долгосрочного развития железнодорожной отрасли, которые позволяют оценить спрос на грузовые и пассажирские перевозки. Это позволит снизить затраты отрасли, качественно улучшить бизнес-процессы и увеличить их прозрачность и вклад в экономику.

Направлением дальнейших исследований может быть расширение используемого инструментария и его применение для анализа региональных транспортно-экономических и общеэкономических показателей в рамках панельных моделей. При этом необходимо совершенствование и расширение круга показателей, характеризующих транспортные, транспортно-технологические и транспортно-логистические системы. Результаты исследований могут быть направлены на повышение содержательности и достоверности оценки решений в сфере развития транспортного комплекса, усиление их воздействия на конечные народнохозяйственные результаты.

Список источников

- Дубовик В. О. Методы оценки транспортной доступности территории // Региональные исследования. 2013. № 4(42). С. 11–18.
- Казаков А. Л., Петров М. Б., Маслов А. М. Многокритериальная оптимизация транспортной системы региона на основе ее гиперграфа // Экономика региона. 2014. № 4. С. 199–208.
- Мартыненко А. В., Петров М. Б. Влияние начертания транспортной сети на показатели доступности (на примере Свердловской области) // Региональные исследования. 2016. № 2 (52). С. 21–30.
- Мачерет Д. А. О чем свидетельствует столетняя динамика показателей крупнейших железнодорожных сетей // Экономическая политика. 2016. Т. 11, № 6. С. 138–169.
- Попов П. В., Мирецкий И. Ю. Методология построения логистической инфраструктуры на территории региона // Экономика региона. 2019. Т. 15, Вып. 2. С. 483–492. DOI: 10.17059/2019-2-13.
- Рахмангулов А. Н., Копылова О. А. Оценка социально-экономического потенциала региона для размещения объектов логистической инфраструктуры // Экономика региона. 2014. № 2. С. 254–263. DOI: 10.17059/2014-2-25.
- Щербанин Ю. А. Транспорт и экономический рост: взаимосвязь и влияние // Евразийская экономическая интеграция. 2011. № 3(12). С. 65–78.
- Akaike H. A new look at the statistical model identification // IEEE Transactions on Automatic Control. 1974. Vol. AC-19, No. 6. P. 716–723.
- Alleman J., Hunt C., Michaels D., Mueller M., Rappoport P., Taylor L. Telecommunications and economic development: Empirical evidence from Southern Africa // International Telecommunications Society. Sydney, Australia. URL: https://www.academia.edu/6950978/Telecommunications_and_Economic_Development_Empirical_Evidence_from_Southern_Africa (Дата обращения: 20.11.2020).
- Aushauer D. Is Public Expenditure Productive? // Journal of Monetary Economics. 1989. Vol. 23, No. 2. P. 177–200. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(89\)90047-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(89)90047-0).

- Cai D. P. Statistical analysis of the modern logistics industry and the national economy // *Logistics*. 2006. Vol. 21, No. 1. P. 74–75.
- Dickey D. A., Fuller W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root // *Econometrica*. 1981. Vol. 49, No. 4. P. 1057–1072.
- Holtz-Eakin D. H., Schwartz A. E. Infrastructure in a structural of economic growth // *Regional Science and Urban Economics*. 1995. Vol. 25, No. 2. P. 131–151.
- Engle R. F., Granger C. W. J. Cointegration and error correction: representation, estimation and testing // *Econometrica*. 1987. Vol. 55, No. 2. P. 251–276.
- Granger C. W. Some Properties of Time Series Data and Their Use in Econometric Model Specification // *Journal of Econometrics*. 1981. Vol. 16, No. 1. P. 121–130.
- Granger C. W. J. Developments in the study of cointegrated economic variables // *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 1986. Vol. 48. P. 213–228. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1986.mp48003002.x>.
- Handbook on Transport and Urban Planning in the Developed World / In Michiel C. J. Bliemer, Corinne Mulley and Claudine J. Moutou (Eds.). University of Sydney: Edward Elgar Pub, 2016. 544 p.
- Johansen S., Juselius K. Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money // *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 1990. Vol. 52, No. 2. P. 169–210.
- Johansen S. Statistical analysis for cointegration vectors // *Journal of Economic Dynamics and Control*. 1988. Vol. 12, No. 2–3. P. 231–254. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3).
- Liu W., Li W., Huang W. Analysis of the dynamic relation between logistics development and GDP growth in China // *Proceedings of IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*. 2006. P. 153–157. DOI: 10.1109/SOLI.2006.329054.
- Arvin M. B., Pradhan R. P., Norman N. R. Transportation intensity, urbanization, economic growth, and CO2 emissions in the G-20 countries // *Utilities Policy*. 2015. Vol. 35. P. 50–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.07.003>.
- Pradhan R. P., Bagchi T. P. Effect of transportation infrastructure on economic growth in India: The VECM approach // *Research in Transportation Economics*. 2013. Vol. 38. P. 139–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.05.008>.
- Rietveld P. Infrastructure and regional development: a survey of multi- regional economic models // *The Annals of Regional Science*. 1989. Vol. 23, No. 4. P. 255–274. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01579778>.

References

- Dubovik, V. O. (2013). Metody otsenki transportnoy dostupnosti territorii [Methods of territory transport accessibility estimation]. *Regional'nye issledovaniya [Area studies]*, 4(42), 11–18. (In Russ.)
- Kazakov, A. L., Petrov, M. B., & Maslov, A. M. (2014). Mnogokriterial'naya optimizatsiya transportnoy sistemy regiona na osnove ee gipergrafa [Multiobjective optimization of the region's transport system on the basis of its hypergraph]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 4, 199–208. (In Russ.)
- Martynenko, A. V., & Petrov, M. B. (2016). Vliyanie nachertaniya transportnoy seti na pokazateli dostupnosti (na primere Sverdlovskoy oblasti) [Influence of surface transportation network on accessibility (by the example of Sverdlovsk oblast)]. *Regional'nye issledovaniya [Regional studies]*, 2(52), 21–30. (In Russ.)
- Macheret, D. A. (2016). O chem svidetel'stvuet stoletnyaya dinamika pokazateley krupneyshikh zheleznodorozhnykh setey [As Evidenced by Theage-old Dynamics of Indicators of Major Rail System]. *Ekonomicheskaya politika [Economic Policy]*, 11(6), 138–169. (In Russ.)
- Popov, P. V., & Miretski j, I. Yu. (2019). Metodologiya postroeniya logisticheskoy infrastruktury na territorii regiona [Methodology for constructing the region's logistics infrastructure]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 15(2), 483–492. DOI: 10.17059/2019-2-13. (In Russ.)
- Rakhmangulov, A. N., & Kopylova, O. A. (2014). Otsenka sotsial'no-ekonomicheskogo potentsiala regiona dlya razmeshcheniya ob'ektov logisticheskoy infrastruktury [Assessment of socio-economic potential of regions for placement of the logistic infrastructure objects]. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 2, 254–263. DOI: 10.17059/2014-2-25. (In Russ.)
- Shcherbanin, Yu. A. (2011). Transport i ekonomicheskiy rost: vzaimosvyaz' i vliyanie [Transport and Economic Growth: Connectivity and Impact]. *Evrasiyskaya ekonomicheskaya integratsiya [Journal of Eurasian Economic Integration]*, 3(12), 65–78. (In Russ.)
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-19(6), 716–723.
- Alleman, J., Hunt, C., Michaels, D., Mueller, M., Rappoport, P., & Taylor, L. Telecommunications and economic development: Empirical evidence from Southern Africa. *International Telecommunications Society*. Retrieved from: https://www.academia.edu/6950978/Telecommunications_and_Economic_Development_Empirical_Evidence_from_Southern_Africa (Date of access: 20.11.2020).
- Aushauer, D. (1989). Is Public Expenditure Productive? *Journal of Monetary Economics*, 23(2), 177–200. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3932\(89\)90047-0](https://doi.org/10.1016/0304-3932(89)90047-0).
- Cai, D. P. (2006). Statistical analysis of the modern logistics industry and the national economy. *Logistics*, 21(1), 74–75.

- Dickey D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometrica*, 49(4), 1057–1072.
- Holtz-Eakin, D. H., & Schwartz, A. E. (1995). Infrastructure in a structural of economic growth. *Regional Science and Urban Economics*, 25(2), 131–151.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Cointegration and error correction: representation, estimation and testing. *Econometrica*, 55(2), 251–276.
- Granger, C. W. (1981). Some Properties of Time Series Data and Their Use in Econometric Model Specification. *Journal of Econometrics*, 16(1), 121–130.
- Granger, C. W. J. (1986). Developments in the study of cointegrated economic variables. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 48, 213–228. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.1986.mp48003002.x>.
- Bliemer, M. C. J., Mulley C., & Moutou, C. J. (Eds.). (2016). *Handbook on Transport and Urban Planning in the Developed World*. University of Sydney: Edward Elgar Pub, 544.
- Johansen, S., & Juselius, K. (1990). Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with applications to the demand for money. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 52(2), 169–210.
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis for cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2–3), 231–254. DOI: [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3).
- Liu, W., Li, W., & Huang, W. (2006). Analysis of the dynamic relation between logistics development and GDP growth in China. *Proceedings of IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*. 153–157. DOI: 10.1109/SOLI.2006.329054.
- Arvin, M. B., Pradhan, R. P., & Norman, N. R. (2015). Transportation intensity, urbanization, economic growth, and CO2 emissions in the G-20 countries. *Utilities Policy*, 35, 50–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.07.003>.
- Pradhan, R. P., & Bagchi, T. P. (2013). Effect of transportation infrastructure on economic growth in India: The VECM approach. *Research in Transportation Economics*, 38, 139–148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.05.008>.
- Rietveld, P. (1989). Infrastructure and regional development: a survey of multi- regional economic models. *The Annals of Regional Science*, 23(4), 255–274. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01579778>.

Информация об авторах

Петров Михаил Борисович — доктор технических наук, руководитель Центра развития и размещения производительных сил, Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: michpetrov@mail.ru).

Серков Леонид Александрович — кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил, Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: dsge2012@mail.ru).

Кожов Константин Борисович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил, Институт экономики УрО РАН (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: jefytt11@mail.ru).

About the Authors

Mikhail B. Petrov — Doctor of Technical Sciences, Head of the Center for the Development and Location of the Productive Forces, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: michpetrov@mail.ru).

Leonid A. Serkov — PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Researcher of the Center for Development and Location of Productive Forces, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: dsge2012@mail.ru).

Konstantin B. Kozhov — PhD in Economics, Senior Researcher of the Center for Development and Location of Productive Forces, Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: jefytt11@mail.ru).

Дата поступления рукописи: 24.12.2020.

Прошла рецензирование: 28.12.2020.

Принято решение о публикации: 9.04.2021.

Received: 24 Dec 2020.

Reviewed: 28 Dec 2020.

Accepted: 9 Apr 2021.