

Научная статья

Original article

УДК 332.153

doi: 10.55186/2413046X\_2024\_9\_3\_140

**МОДЕЛИ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ  
ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА СОЦИАЛЬНО-  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕГИОНОВ  
SYSTEM DYNAMICS MODELS IN EVALUATION THE IMPACT OF  
THE TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM ON THE SOCIO-  
ECONOMIC INDICATORS OF THE REGIONS**



**Вохмянина Анна Владимировна**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, E-mail: AVVohmyanina@usurt.ru

**Vokhmyanina Anna Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Ural State University of Railway Engineering, Yekaterinburg, E-mail: AVVohmyanina@usurt.ru

**Аннотация.** Состояние и перспективы развития транспортно-логистической системы, в том числе ее инфраструктуры и цифрового информационного обеспечения, непосредственно влияют на экономику и общество стран и регионов. В связи с этим актуальными становятся вопросы анализа взаимодействия транспортно-логистических и социально-экономических систем и выработке на основе такого анализа эффективных решений по управлению территориями. При этом особый интерес вызывают современные возможности обработки Big Data для получения многомерных моделей зависимостей между различными аспектами и показателями социально-экономических систем регионов. В статье был проведен системный анализ

проблем функционирования и развития транспорта; проанализирована эффективность процессов планирования и управления транспорте. Приведены основные положения и подходы оценки влияния транспорта на окружающую общественную систему, ограниченную территориально и административно. Выполнен системный анализ характеристик функционирования и развития транспорта и внетранспортный эффект совершенствования транспортного обслуживания потребителей.

**Abstract.** The state and prospects for the development of the transport and logistics system, including its infrastructure and digital information support, directly affect the economy and society of countries and regions. In this regard, the issues of analyzing the interaction of transport, logistics and socio-economic systems and developing effective solutions for managing territories based on such analysis become relevant. At the same time, modern capabilities for processing Big Data to obtain multidimensional models of dependencies between various aspects and indicators of socio-economic systems of regions are of particular interest. The article carried out a systematic analysis of the problems of the functioning and development of transport; the effectiveness of transport planning and management processes was analyzed. The main provisions and approaches for assessing the impact of transport on the surrounding social system, limited territorially and administratively, are presented. A systematic analysis of the characteristics of the functioning and development of transport and the non-transport effect of improving transport services to consumers was carried out.

**Ключевые слова:** транспортно-логистическая система, цифровая экономика, устойчивое развитие, системная динамика, развитие региона, показатели транспортной обеспеченности региона

**Keywords:** transport and logistics system, digital economy, sustainable development, system dynamics, development of the region, indicators of transport provision in the region

На сегодняшний день цифровые технологии выступают ключевым условием формирования тенденций изменения социально-экономических систем. Для большинства стран развитие цифровых технологий и становление цифровой экономики является приоритетом в долгосрочной перспективе. Российское правительство утвердило программу «Цифровая экономика Российской Федерации» в 2017 г., посредством которой определило основные положения, направления и ожидаемые результаты внедрения цифровых технологий в социально-экономические процессы национальной экономики на период до 2024 г. Для программы с длительным периодом реализации характерны преемственность целей – от создания необходимой и достаточной информационно-коммуникационной инфраструктуры цифровой экономики до создания условий для их эффективного использования для всех участников [1].

Одна из основных проблем реализации программы заключается в экспоненциальном росте и усложнении взаимосвязей между разнообразными участниками социально-экономической системы, изменении их качества и содержания. По мнению Л.М. Гохберга на современном этапе развитие экономики и информационных технологий «сопровождается скачкообразной динамикой числа транзакций и объемов обращающихся данных, что приводит к более сложной и синхронизированной интеграции «всех со всеми», последствия которой еще до конца не осознаны» [2].

Транспортно-логистическая система (ТЛС) страны как большая сложная система взаимодействует с огромным количеством предприятий, граждан и организационных структур разного уровня управления. Цифровые технологии в этом случае, с одной стороны, формируют перспективы повышения качества взаимодействия ТЛС с другими подсистемами национальной и мировой экономики за счет более комфортной и оперативной передачи информации между различными участниками доставки, инструментов поддержки и принятия решений по оптимизации

состояния и продвижения транспортных потоков и других технологических возможностей. С другой стороны, возникают сложности внедрения цифровых технологий, связанные как с недостатком финансирования и централизованного управления на некоторых видах транспорта, так и со способностью их использования некоторыми исполнителями и потребителями транспортно-логистических услуг.

Согласно Стратегии развития информационного общества РФ цифровая экономика – «это хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которые по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг» [3]. Научоёмкая обработка большого количества информации, характеризующей элементы и подсистемы социально-экономических систем и взаимосвязи между ними, и выявление на ее основе зависимостей и закономерностей стихийного и управляемого развития реализуются в рамках такого научного направления как системная динамика.

Преимущества использования инструментария системной динамики в сфере реализации цифровых технологий на транспорте заключаются, прежде всего, в реализации системного подхода, являющегося общепринятой парадигмой любого научного исследования; в возможностях цифрового математического анализа сложноформализуемых явлений и процессов в условиях неопределенности; а также в выполнении условий концепции устойчивого развития, которая в условиях глобализации и перехода на «зеленые» ресурсосберегающие технологии является одной из самых значимых в странах – лидерах мирового сообщества.

Методология системной динамики позволяет анализировать поведение больших сложных систем во времени, учитывая как взаимодействие между

элементами самих систем, так и взаимодействие системы и внешней среды, которая рассматривается как надсистема.

В работе профессора ВШЭ А.С. Аكوпова приведены этапы системно-динамического моделирования, успешно использованного в нефте- и газодобывающей отрасли, банковской деятельности и других сферах экономики [4]. В общем виде алгоритм моделирования системной динамики может быть представлен в виде схемы, представленной на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема проектирования и использования системно-динамической модели**

По мнению многих специалистов в области экономики, транспорт оказывает влияние на развитие социально-экономической системы любого масштаба и опережающее развитие транспорта – обязательное условие развития экономики региона [5].

Одновременно с этим, транспорт в экономике воспринимается как обслуживающая отрасль. Характер экономики, сформулированный в Стратегии социально-экономического развития РФ, определяет текущую

транспортную «политику». Наиболее очевидно это проявляется при сравнении Энергетической и Транспортной стратегий. Например, очевидно, что такой транспортный проект как Северный широтный ход предназначен, прежде всего, для освоения новых месторождений полезных ископаемых (как самостоятельный транспортный проект он интересен в меньшей степени). Аналогично обстоят дела со спросом на грузовые вагоны: основные заказы портфелей вагоностроительных заводов приходятся на цистерны и полувагоны, что свидетельствует о растущих перевозках сырьевых грузов.

Анализ показателей динамики развития промышленности и транспортно-логистической сферы также позволяет выдвинуть гипотезу о зависимости спроса на грузовые перевозки и подвижной состав от интенсивности производства сырьевой продукции и других массовых грузов. Если же наблюдается увеличение объемов производства дорогостоящей продукции (например, электроники, робототехники или тонкой органической химии), приводящее к повышению требований к качеству технологии выполнения грузовых перевозок, тогда объемы перевозок при этом остаются неизменными.

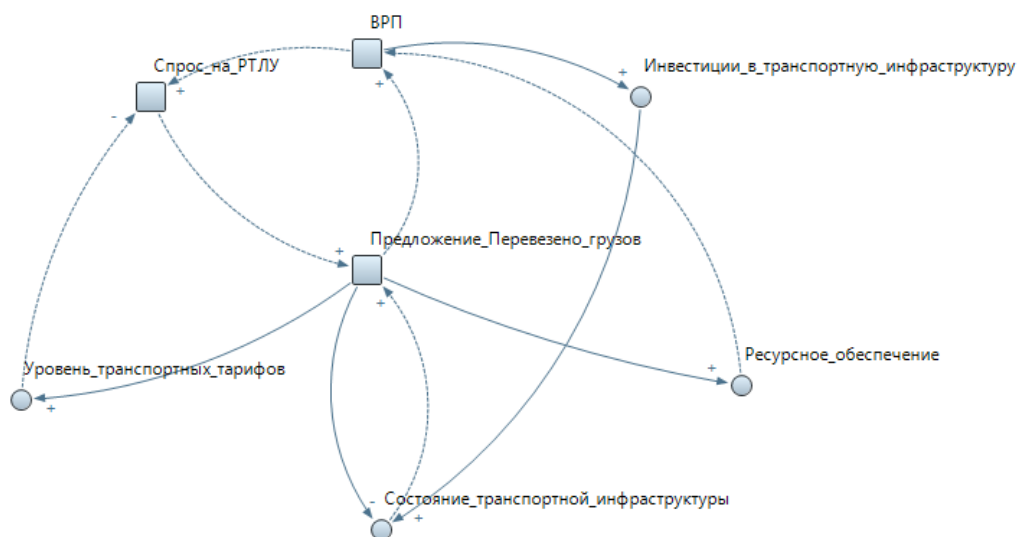
Анализ научной проблематики в области взаимодействия транспорта и социально-экономической системы [6,7] позволил выделить следующие основные направления исследований, представленных на рисунке 2: во-первых, состояние транспортно-логистической системы характеризует доступность различных регионов страны, ее ресурсов, производственных мощностей; во-вторых, масштабность и густота транспортной сети позволяет оценить пространственное развитие территории и охарактеризовать размещение населения, рабочих мест, состояние социальной инфраструктуры; в-третьих, влияние государственного и местного управления определяет развитие транспорта посредством инвестиций в инфраструктуру и организации транспортных потоков.



**Рисунок 2 – Схема взаимодействия транспортно-логистической и социально-экономической систем**

В современных условиях развития информационных технологий и обучаемых нейросетей обработка больших баз данных, характеризующих даже очень сложный объект исследования, не составляет существенных затруднений. Основная проблема построения имитационных моделей системной динамики заключается в идентификации существенных для исследования элементов и прямых и обратных связей исследуемой системы, определении причинно-следственных связей в формировании результатов на различных этапах жизненного цикла и достижения целей. Для решения этой проблемы в работе [4] предлагается использовать тестирование по Грэнджеру. На основании связей и взаимодействий, проанализированных

выше, предложен оргграф когнитивной модели в первом приближении, представленный на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Знаковый оргграф анализа взаимодействия транспортно-логистической и социально-экономической систем**

Выявленные и упорядоченные взаимосвязи служат основой для создания детализированных системно-динамических моделей и определения параметров взаимодействия как в статике, характеризующей структуру ТЛС и ее взаимодействие со средой, так и в динамике, характеризующей их поведение и степень взаимного участия в изменении друг друга.

Дальнейшие исследования предполагают уточнение и формализацию связей, характеризующих взаимосвязь и взаимозависимость транспортно-логистической и социально-экономической систем в границах определенных регионов; системно-динамическое моделирование развития транспортно-логистической системы; верификацию полученных системно-динамических моделей; разработку системы рекомендаций для стратегического управления транспортно-логистической системой для условий конкретных регионов.

Методология системной динамики позволит выявить такие возможности управляемого развития как создание и размещение транспортных и логистических мощностей в пространстве, внедрение транспортных и



информационных технологий, разработку методов планирования и прогнозирования объемных и качественных показателей работы транспортно-логистической системы.

Повышение эффективности деятельности базисных отраслей экономики и создание условий для их дальнейшего развития зависят от показателей взаимодействия с инфраструктурными отраслями, к которым в первую очередь относится транспорт. Ключевая задача управления такими показателями взаимодействия заключается в определении согласованных и соразмерных параметров и режимов единого технологического процесса работы социально-экономической и транспортно-логистической подсистем. Такая нетривиальная задача требует расширенной методологии решения, включающей в себя как жестко формализованные математические модели анализа, оптимизации и имитации процессов, так и современные методы принятия решения, базирующиеся на когнитивных технологиях, морфологическом анализе, исследовании мнений экспертов и т.д.

Сформулированная социально-экономическая задача относится к классическим в теории и методологии управления транспортом. Сформулированная лауреатом Нобелевской премии 1975 г. Л. В. Кантровичем в сборнике его статей [8, 9], она нашла продолжение в работах его последователей В. Н. Лившица, Р. И. Нудельмана и других ученых, работавших над научными положениями плановой модели хозяйствования. Несмотря на изменившиеся условия работы предприятий реального сектора экономики и сферы товародвижения, эта задача остается актуальной в условиях рыночной экономики, что подтверждается большим количеством публикаций на эту тему. Это связано с объективными причинами воздействия транспортной системы на состояние экономики в целом.

При изучении влияния развития транспортно-логистической инфраструктуры на экономический уровень территории (страны или ее региона) важно учитывать такой результирующий показатель, как валовой

внутренний продукт. Такой показатель достаточно полно характеризует уровень экономического развития региона и благосостояния ее населения.

Анализ такого взаимного влияния представлен на рисунках 4 и 5, где использована методика, представленная в работе Б.М. Лapidуса [10], и результаты проиллюстрированы путем позиционирования стран по результативному признаку – ВВП и факторному признаку – густоты транспортной сети.

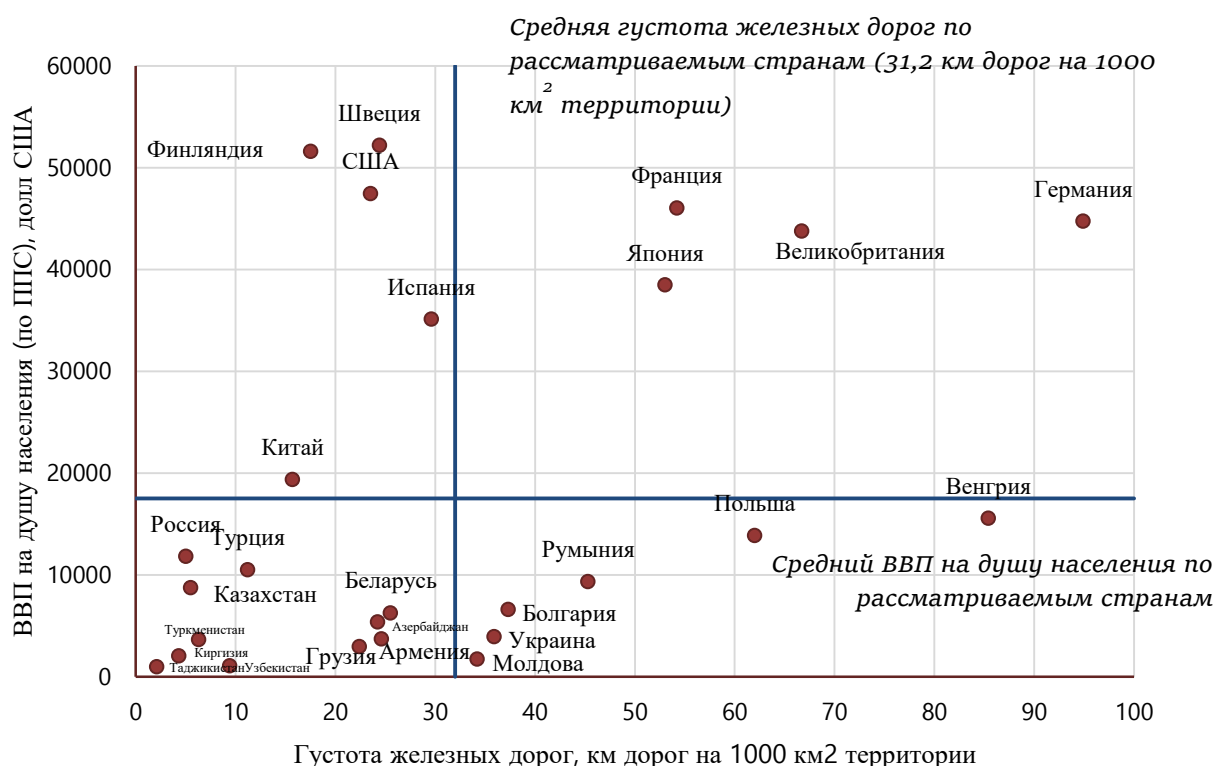
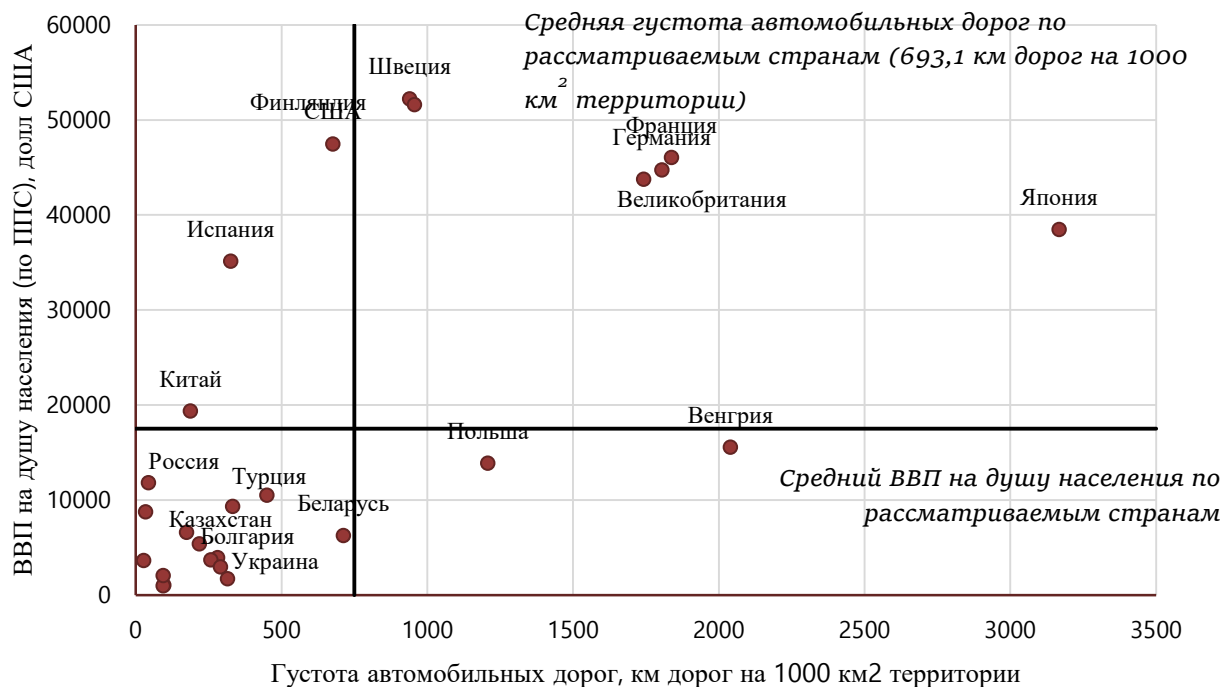


Рисунок 4 – Сегментирование по уровню ВВП на душу населения и густоты железных дорог

\*По данным Всемирного Банка и Международного Валютного Фонда



**Рисунок 5 – Сегментирование по уровню ВВП на душу населения и густоты автомобильных дорог**

\*По данным Всемирного Банка и Международного Валютного Фонда

Корреляционно-регрессионный анализ систематизированных данных, подбор линейной функции и расчет коэффициента детерминации позволяет охарактеризовать связь между признаками как слабую, что проиллюстрировано на рисунках :

для железнодорожного транспорта:  $y = 304,2 x + 9108,3$ ,  $R^2 = 0,167$ ;

для автомобильного транспорта:  $y = 14,6 x + 8445,1$ ,  $R^2 = 0,393$ .

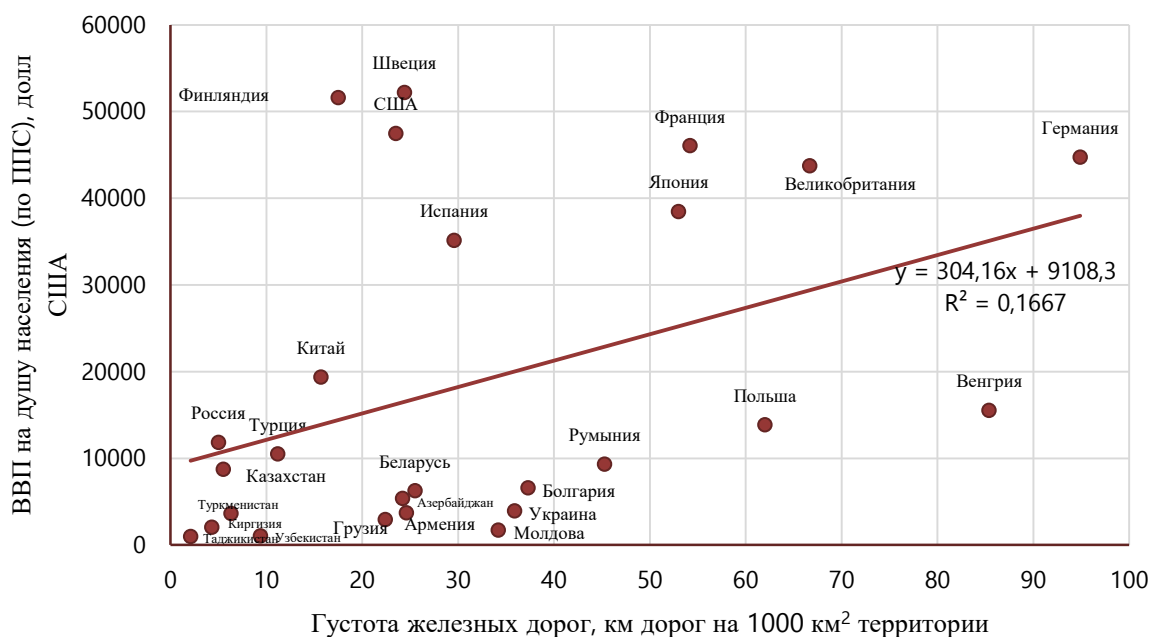


Рисунок 6 – **Функциональная линейная между ВВП на душу населения и густотой железных дорог**

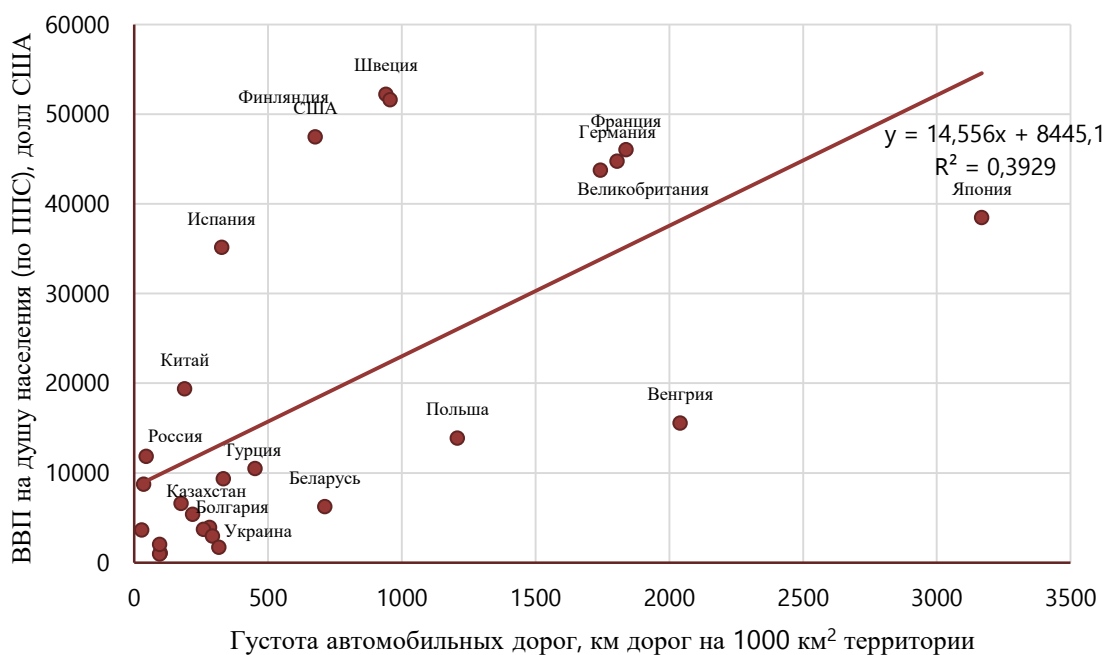


Рисунок 7 – **Функциональная линейная между ВВП на душу населения и густотой автомобильных дорог**

Несмотря на низкие значения коэффициента детерминации, полученные зависимости представляют интерес для дальнейшего исследования.

Если положение индикатора взаимосвязи ВВП и густоты дорожной сети для конкретной страны приближено к линии функциональной зависимости, то можно сделать вывод о сбалансированном развитии транспортно-логистической инфраструктуры и экономической системы страны. На рассматриваемых графиках к такой категории относятся Россия, Турция, Казахстан и Китай.

Если положение рассматриваемого индикатора существенно выше линии функциональной зависимости, то можно выделить две основные причины этого: транспортно-логистическая инфраструктура, включающая в себя прежде всего наземный – железнодорожный и автомобильный транспорт, используется максимально интенсивно и приближается к пределам провозной способности; высокий уровень развития социально-экономической системы территории преимущественно связан с нетранспортными видами деятельности.

Если же положение индикатора существенно ниже линии функциональной зависимости, то либо транспортно-логистическая система используется недостаточно эффективно, либо социально-экономическая система недостаточно развита и развитие транспорта нецелесообразно.

Однако для более детализированного анализа влияния уровня развития транспортно-логистической системы на эффективность экономики территории необходимо учитывать комплексные показатели, включающие помимо густоты сети и другие важные факторы, которым можно отнести, например, следующие:

– коэффициент Энгеля:  $d = \frac{L}{\sqrt{SH}}$ ,

где  $L$  – эксплуатационная длина транспортной сети;  $S$  – площадь территории;  $H$  – численность населения;

– коэффициент Успенского:  $d = \frac{L}{\sqrt[3]{SHt}}$ ,

где  $t$  – общая транспортная масса отправляемых грузов;

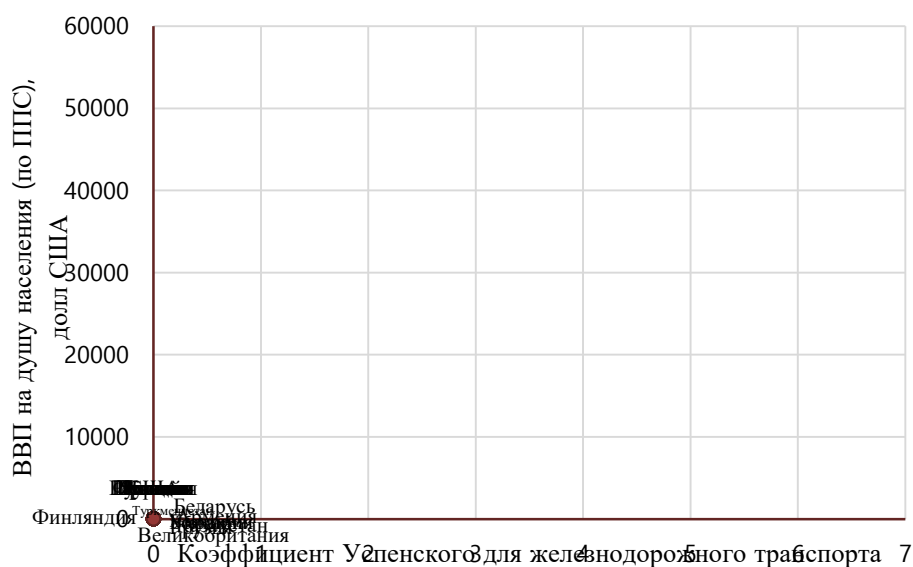
– коэффициент Гольца:  $d = \frac{L}{\sqrt{SP}}$ ,

где  $P$  – количество населенных пунктов;

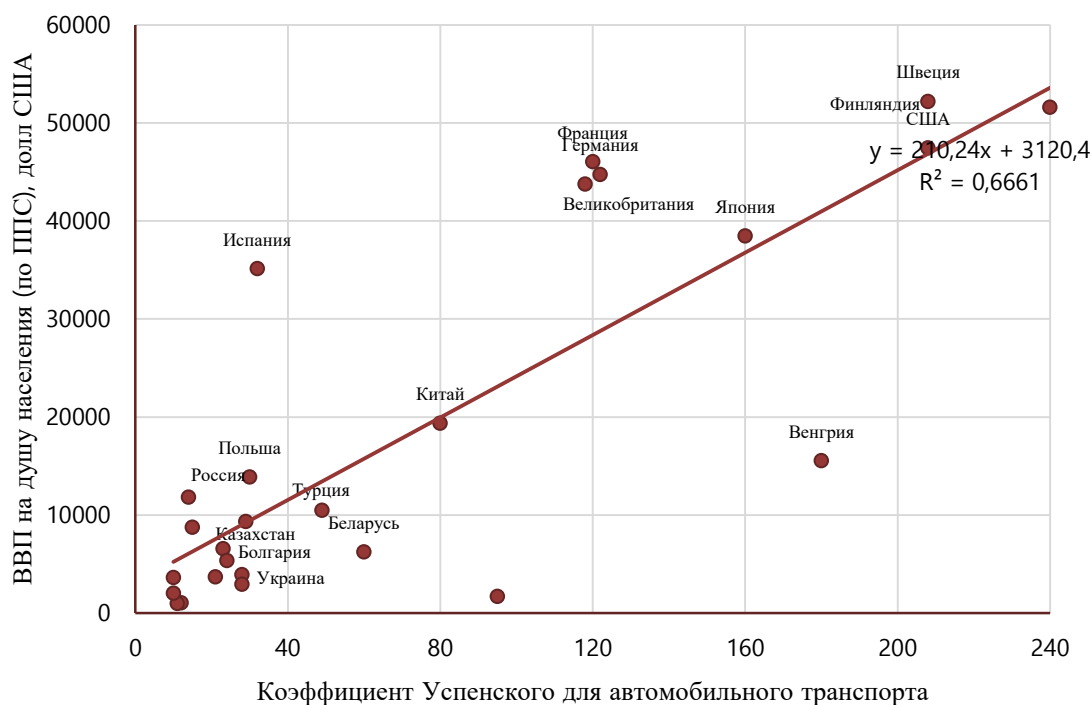
– коэффициент Василевского:  $d = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ}}$ ,

где  $Q$  – общая масса произведенной продукции.

На рисунках 7 и 8 представлены результаты подбора линейной функциональной зависимости результативного признака – ВВП и факторного признака – коэффициент Успенского.



**Рисунок 8 – Функциональная линейная между ВВП на душу населения и коэффициентом Успенского для железнодорожного транспорта**



**Рисунок 9 – Функциональная линейная между ВВП на душу населения и коэффициентом Успенского для автомобильного транспорта**

Анализ приведенных данных показывает, что удельный показатель ВВП на душу населения более тесно коррелирует с коэффициентом Успенского, чем с показателем густоты транспортной сети:

для железнодорожного транспорта:  $y = 7702,6 x + 4158,6$ ,  $R^2 = 0,440$ ;

для автомобильного транспорта:  $y = 210,2 x + 3120,4$ ,  $R^2 = 0,666$ .

Приведенная в данной статье система показателей, характеризующая различные аспекты функционирования транспортно-логистической системы в условиях, определяемых внешней средой, величин внутранспортного эффекта и других показателей, не может быть реализована только формализованными методами, предполагающими исключительно цифровое представление данных. Так или иначе необходимо привлечение более гибких технологий исследования, предполагающих большое участие специалистов и экспертов. Назначение и использование такой системы показателей должно уточняться в соответствии с целями и задачами стратегического управления

развитием как самой транспортно-логистической системы, так и социально-экономической системы, которую она обслуживает. Оптимизация ТЛС в данном случае предполагает максимальную сбалансированность доходов и расходов социально-экономической системы. Должна обеспечиваться максимальная эффективность функционирования и реализация перспектив развития при условии обоснованности расходов на их обеспечение. Считается нецелесообразным минимизировать даже внетранспортные потери или уровень запасов на предприятиях, грузовой массы на колесах и т.п., т.к. затраты на достижение минимального значения этих характеристик могут значительно превысить получаемый результат и эффект будет отрицательным.

В еще большей степени сказанное относится к характеристикам уровней обеспеченности и сбалансированности базовых отраслей и транспорта, уровня развития и использования последнего, к таким характеристикам транспортной системы, как надежность и маневренность ее функционирования, степень резервирования пропускных и провозных способностей на важнейших направлениях и т.д. Ценой больших затрат ресурсов можно во многих случаях существенно повысить значения этих характеристик, например, дублированием устройств в транспортных объектах, интенсивным новым их строительством и т.д. нетрудно увеличить надежность и маневренность транспорта. Однако эти мероприятия далеко не всегда эффективны (особенно в условиях непрерывного и значительного роста стоимости строительства транспортных объектов).

С другой стороны, что все значения указанных выше характеристик должны находиться в некоторых пределах, которым соответствуют оптимальные с экономической точки зрения функционирование и развитие транспортной системы. Теория и практика должны со временем более точно определить эти пределы, но уже и сейчас ясно, что если связанные с транспортом внетранспортные потери (в той части, которую целесообразно



устранить) значительно превышают размер необходимых капитальных вложений, то уровень развития транспорта недостаточен и следует в его пользу перераспределить инвестиции. Для решения этой задачи необходимо использование методов моделирования [11] и современных интеллектуальных и цифровых технологий обработки больших баз данных [12], а также прогрессивного опыта работы и взаимодействия различных видов транспорта.

Условие совместного использования формальных и неформальных методов при разработке стратегий развития и создании статических и динамических моделей их реализации может быть выполнено при помощи использования методологии системной динамики. Такой подход позволит решить множество фундаментальных и прикладных задач стратегического управления транспортом и его связей с социально-экономическими системами на территориальном, национальном и международном уровнях.

#### **Список источников**

1. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.
2. Гохберг Л.М. Цифровые технологии в современной экономике и обществе // Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение, докл. к XX Апр. Междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества / Под науч. ред. Л.М. Гохберг; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – С.4-10.
3. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 гг. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203.

4. Акопов А.С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.С. Акопов – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 389 с.
5. Благинин В. А. От транспортной к транспортно-коммуникационной инфраструктуре региона: теоретическое осмысление // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2018. – Т. 213. № 5. – С. 431-445.
6. Щербинин Ю.А. Транспорт и экономический рост: взаимосвязь и влияние // Евразийская экономическая интеграция, № 3 (12), 2011. – с. 65-78.
7. Нудельман Р.И. Проблемы планирования воспроизводства основных фондов транспорта // Проблемы прогнозирования и оптимизации работы транспорта: докл. к Конф. по проблемам развития транспорта / Под науч. ред. Л.В. Канторовича, В.Н. Лившица – М.: Издательство наука, 1982. – С. 129-167.
8. L. V. Kantorovich, “Essays in Optimal Planning”, in *Sociology* – 1977, pp. 7-12.
9. L. V. Kantorovich, “Mathematics in economics: Achievements, difficulties, perspectives”, in *Nobel Memorial Lecture – 1975*.
10. Лapidус Б.М., Мачерет Д.А. Макроэкономическая роль железнодорожного транспорта: теоретические основы, исторические тенденции и взгляд в будущее – м.: КРАСАНД, 2014. – 234 с.
11. P. Mishkurov, O. Fridrikhson, V. Lukyanov, S. Kornilov, V. Say, “Simulated transport and logistics model of a mining enterprise”, in *Transportation Research Procedia* – 2021, pp. 411-418.
12. M. Zhuravskaya, V. Tarasyan, “Forming of the regional core transport network taking into account the allocation of alternative energy sources based on artificial intelligence methods”, in *Transport problems* – 2014, pp. 121-130.

## References

1. Programma «Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii». Utv. Rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 28 iyulya 2017 g. № 1632-r.
2. Gohberg L.M. Cifrovye tekhnologii v sovremennoj ekonomike i obshchestve // CHto takoe cifrovaya ekonomika? Trendy, kompetencii, izmerenie, dokl. k XX Apr. Mezhdunar. nauch. konf. po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva / Pod nauch. red. L.M. Gohberg; Nac. issled. un-t «Vysshaya shkola ekonomiki». – M.: Izd. dom Vysshej shkoly ekonomiki, 2019. – S.4-10.
3. Strategiya razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017-2030 gg. Utv. Ukazom Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 09.05.2017 g. № 203.
4. Akopov A.S. Imitacionnoe modelirovanie: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata / A.S. Akopov – M.: Izdatel'stvo YUrajt, 2018. – 389 s.
5. Blaginin V. A. Ot transportnoj k transportno-kommunikacionnoj infrastrukture regiona: teoreticheskoe osmyslenie // Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii. – 2018. – T. 213. № 5. – S. 431-445.
6. SHCHerbinin YU.A. Transport i ekonomicheskij rost: vzaimosvyaz' i vliyanie // Evrazijskaya ekonomicheskaya integraciya, № 3 (12), 2011. – s. 65-78.
7. Nudel'man R.I. Problemy planirovaniya vosproizvodstva osnovnyh fondov transporta // Problemy prognozirovaniya i optimizacii raboty transporta: dokl. k Konf. po problemam razvitiya transporta / Pod nauch. red. L.V. Kantorovicha, V.N. Livshica – M.: Izdatel'stvo nauka, 1982. – S. 129-167.
8. L. V. Kantorovich, “Essays in Optimal Planning”, in Sociology – 1977, pp. 7-12.
9. L. V. Kantorovich, “Mathematics in economics: Achievements, difficulties, perspectives”, in Nobel Memorial Lecture – 1975.
10. Lapidus B.M., Macheret D.A. Makroekonomicheskaya rol' zheleznodorozhnogo transporta: teoreticheskie osnovy, istoricheskie tendencii i vzglyad v budushchee – m.: KRASAND, 2014. – 234 s.

11. P. Mishkurov, O. Fridrikhson, V. Lukyanov, S. Kornilov, V. Say, “Simulated transport and logistics model of a mining enterprise”, in Transportation Research Procedia – 2021, pp. 411-418.

12. M. Zhuravskaya, V. Tarasyan, “Forming of the regional core transport network taking into account the allocation of alternative energy sources based on artificial intelligence methods”, in Transport problems – 2014, pp. 121-130.

© *Вохмянина А.В., 2024. Московский экономический журнал, 2024, № 3.*