Экономико-математическое моделирование влияния транспорта на развитие территорий (зарубежный опыт)

И.А. Миронова, Т.И. Тищенко, М.П. Фролова

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. В статье исследован зарубежный опыт оценки последствий краткосрочного и долгосрочного влияния транспортной инфраструктуры на экономику прилегающих и удаленных территорий страны. Дается обзор научной литературы, посвященной этой проблеме за последние два десятилетия. Приводятся примеры расчетов эффективности крупных транспортных проектов в разных странах мира. Обобщены и систематизированы математические модели, описывающие взаимосвязи транспорта и прочих отраслей материального производства и непроизводственной сферы.

Ключевые слова: *транспортная инфраструктура, эффективность, математическая модель, макроэкономические эффекты, экономический рост.*

DOI: 10.14357/20790279260313 **EDN:** IFTRTM

Введение

Оценка эффективности инвестиций в общественную инфраструктуру (цифровую, энергетическую, транспортную) является одной из самых популярных и практически востребованных тем экономической теории во всем мире. Большинство политиков и лиц, принимающих решения, считают, что развитие инфраструктуры – это средство стимулирования роста экономики и сокращения географических различий, и ждут от экономистов подтверждения этой гипотезы практическими расчетами. К настоящему времени в отечественной и зарубежной теории и практике накоплен значительный опыт экономико-математического моделирования с целью выявления причинно-следственных связей между показателями развития транспортной инфраструктуры и экономикой прилегающих территорий. Целые разделы новой теории экономической географии и городской экономики исследуют прямое (через снижение транспортных расходов, улучшение доступности, сокращение расстояния поездок, ускорение передвижения) и косвенное (через создание новых рабочих мест, облегчение торговли и стимулирование инвестиций) влияние капиталовложений в транспорт на экономику регионов, включая те, где создан объект инфраструктуры, и соседние регионы, в которых возникают так называемые пространственные эффекты распространения. В зарубежной литературе термины «прямой» и «косвенный» эффект часто присутствуют в значениях «микро- и макроэкономического» эффектов.

Многие исследователи, в частности известный немецкий экономист Вернер Ротенгаттер, оперируют понятием «более широкие экономические последствия» (WEI – Wider Economic Impacts), которое по смыслу идентично косвенным или макроэкономическим эффектам [1]. Согласно неоклассической теории равновесия, эти эффекты порождаются несовершенствами рынка и невозможностью включить их в рыночные цены при оценке эффективности инвестирования в транспорт. К такого рода эффектам относятся, например, экологические, агломерационные эффекты (рост производительности труда за счет более плотного рынка рабочей силы и обмена знаниями), изменения на рынке недвижимости и другие.

Хотя существование более широких экономических последствий (как положительных, так и отрицательных) развития общественной инфраструктуры признано всеми в научном сообществе, их учет в практических расчетах эффективности инвестиций вызывает много споров, поскольку сопряжен с высокой степенью неопределенности соответствующих оценок. Идентификация и измерение WEI зависит от применяемых подходов.

Стандартной процедуры или общепризнанной теоретической основы для их измерения пока не существует.

1. Аппарат математического моделирования связи между развитием транспорта и экономикой региона

Точное измерение причинно-следственной связи между состоянием транспортной инфраструктуры и социально-экономическим развитием – сложная задача, требующая специальных методологических подходов, методических приемов и значительного количества исходных данных. Эта задача решается в двух принципиально разных ситуациях.

Первая – оценка эффективности конкретного инвестиционного проекта развития транспортной инфраструктуры. Согласно классической теории, показатели общественной эффективности инвестиционного проекта отражают его эффективность с точки зрения общества в предположении, что оно получает все результаты и несет все затраты, связанные с реализацией проекта [2]. На рынке совершенной конкуренции расчет общественной эффективности должен ориентироваться на рыночные цены. Реальный рынок в любой стране существенно отличается от рынка совершенной конкуренции из-за наличия монополий, олигополий, государственного вмешательства в экономику, существования так называемых общественных благ. В связи с этим теория предлагает наряду с использованием специальных «теневых» цен и общественной ставки дисконтирования отражать в критерии эффективности проекта стоимостную оценку последствий его осуществления в других секторах экономики, в социальной и экологической сферах.

Вторая ситуация – оценка влияния развития транспортной инфраструктуры в границах выбранной территории на ее экономическое развитие за определенный временной период.

В каждой из указанных ситуаций, в свою очередь, следует различать прогнозную и ретроспективную оценку.

Принципиальное различие этих ситуаций в должной мере не учитывается и «остается за кадром» как в российских, так и в зарубежных исследованиях. На деле это проявляется в использовании результатов оценки во второй ситуации, полученной для определенного времени, территории, страны (стран), как правило, по ретроспективным фактическим данным, при оценке эффективности отдельного проекта. Это означает, что, моделируя критерии эффективности инвестиционного проекта, эксперты используют в расчетах параметры, чаще всего не имеющие прямого отношения к данной территории, времени. Очевидно, например, что характеристики (как количественные, так и качественные) масштабных экономических последствий создания и функционирования китайской сети скоростных автомагистралей или высокоскоростных железных дорог не могут быть перенесены на другие транспортные проекты ни полностью, ни частично.

В многочисленных зарубежных публикациях за последние двадцать лет рассматриваются различные аспекты влияния транспортной инфраструктуры на развитие регионов, включая динамику объемов производства и производительности в разных отраслях, доходов и расходов домохозяйств, изменения на рынке труда, пространственные модели поведения населения и бизнеса и т.д. При этом, как правило, речь не идет о глубоком исследовании механизмов, посредством которых инфраструктура способствует появлению различных сопутствующих экономических и социальных результатов. Чаще всего акценты делаются на формализованные методы отслеживания связей между созданием объекта инфраструктуры и динамикой отобранных исходя из общих соображений и элементарной логики экономических параметров.

Обобщая исследования зарубежных авторов, можно выделить следующие подходы к математическому моделированию взаимосвязей между транспортной инфраструктурой и экономическим развитием [3-15]:

– анализ затрат и выгод (в зарубежной литературе – Cost-Benefit Analysis, CBA), или систематический метод оценки эффективности инвестиционных проектов, который сравнивает общие ожидаемые выгоды от проекта с прогнозируемыми затратами, для чего сконструированы соответствующие относительные и абсолютные показатели (чистый дисконтированный доход за расчетных срок с учетом фактора времени, рентабельность инвестиций и др.) [3, 4];
– многокритериальный анализ оценки и отбора вариантов инвестирования (в зарубежной литературе – Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) – методы на основе теории полезности, парных сравнений и др.;
– производственная функция Кобба-Дугласа (в зарубежной литературе – Cobb–Douglas production function), в которую в качестве одного из независимых переменных включены затраты на транспорт, а в качестве зависимых, например, объем промышленного производства, валовой региональный продукт на душу населения и др. [5];

– вычислимые модели общего равновесия (в зарубежной литературе – Computable General Equilibrium models, CGE models) – система уравнений, решением которой является уравновешивание спроса и предложения на рынках товаров и услуг; в качестве влияющей переменной в такой модели рассматриваются инвестиции в транспорт или крупномасштабный транспортный проект [6-8];
– межотраслевой баланс или модели «затраты-выпуск» (в зарубежной литературе – Input-Output Analysis) – экономико-математическая балансовая модель, более простая разновидность модели общего равновесия, характеризующая связи между инвестициями в транспорт, затратами и выпуском продукции в других отраслях [9];
– уравнение регрессии, построенное на статистических данных о развитии транспорта и прочих отраслей материального производства, параметры которого рассчитаны методом наименьших квадратов (МНК) (в зарубежной литературе - Ordinary Least Squares, OLS) [10];
– географически взвешенная регрессия (в зарубежной литературе – Geographically Weighted Regression, GWR) – метод пространственной эконометрики, расширяющий классический регрессионный анализ на данные, имеющие пространственную структуру (коэффициенты регрессии меняются в зависимости от географических регионов – территорий) [10];
– метод разности разностей (в зарубежной литературе - Difference in differences, DID) – квазиэкспериментальный статистический метод, вычисляет эффект воздействия независимой переменной (например, инвестиции в транспорт) на зависимую переменную (например, валовой региональный продукт) путем сравнения среднего изменения во времени зависимой переменной для группы воздействия со средним изменением во времени для контрольной группы [11-13];
– пространственная модель Дурбина (в зарубежной литературе – Spatial Durbin Model, SDM) –эконометрическая модель, которая учитывает корреляцию между данными, обусловленную их географическим расположением [11-13];
– векторная авторегрессионная модель (в зарубежной литературе – Vector Autoregression, VAR) – модель динамики нескольких временных рядов, в которой текущие значения рядов зависят от прошлых значений этих же временных рядов; позволяет моделировать изменения в транспортной политике, логистике, инфраструктуре и оценивать их влияние на макроэкономические показатели: валовой региональный продукт, инфляцию, уровень занятости и другие [14].

2. Результаты исследований взаимодействия между транспортной инфраструктурой и экономическим развитием

В начале 2000-х годов английский ученый-транспортник Д. Банистер и израильский экономист И. Берехман выпустили целый ряд исследований, посвященных вопросам влияния инвестиций в строительство автомобильных, железных дорог, аэропортов на экономическое развитие территории [15, 16]. Они разработали новый подход к оценке влияния транспортных проектов, основанный на выделении экономических, инвестиционных, политических и институциональных предпосылок, при которых можно определять меру воздействия транспорта на регион. Д. Банистер и И. Берехман утверждают, что измеримые и дополнительные преимущества от реализации транспортных проектов для экономического развития региона будут обнаружены только тогда, когда все необходимые предпосылки действуют одновременно. Авторы доказывают два выдвинутых ими тезиса: 1) в развитых странах, где уже существует высококачественная транспортная инфраструктура, дальнейшие инвестиции в нее сами по себе не приведут к экономическому росту; 2) инвестиции в транспортную инфраструктуру дополняют другие, более важные основополагающие условия, которые также должны быть выполнены для дальнейшего экономического развития.

Д. Банистер и И. Берехман справедливо ставят вопрос о том, сохранятся ли в будущем, на новом технологическом уровне и при условии достаточно развитой транспортной инфраструктуры существующие механизмы причинно-следственной связи, лежащие в основе обнаруживаемых в настоящее время зависимостей. Заметим, что эти вопросы заданы почти 20 лет назад, когда о решающей роли цифровой экономики в росте валового внутреннего продукта еще речи не шло. В начале 2000-х они написали буквально следующее: эмпирические данные о роли изменений в транспортной доступности в стимулировании экономического развития противоречивы и следует помнить, что доступность – относительное понятие, и инвестиции в инфраструктуру – это лишь один из вариантов ее повышения.

Д.Банистер и И.Берехман не делают никаких окончательных выводов и честно признаются, что их цель – вызвать дискуссию и заставить задуматься. По их мнению, неспособность должным об-

разом определить и измерить выгоды от развития транспортной инфраструктуры неизбежно приведет к двойному учету выгод, что создаст риск реализации «неправильных» проектов.

Индийские ученые А. Варгезе и Р. Прадхан после изучения большого числа статей на заданную тему пришли к такому выводу: большинство исследователей влияния транспорта на экономику регионов сходятся во мнении, что крупные системы транспортных магистралей пространственно перераспределяют экономическую активность и стимулируют миграцию населения в региональные города-лидеры. При этом сетевые соединения магистралями приводят к снижению темпов роста промышленного производств и валового регионального продукта (ВРП) в периферийных районах, где не построены новые дороги. Одновременно в промежуточных районах, по которым проложены дороги до целевых городов, темпы роста ВРП также снижаются по сравнению с периферийными районами [17].

Китайский экономист Чжан Сюэлян в статье «Способствовала ли транспортная инфраструктура региональному экономическому росту? – Анализ пространственных эффектов распространения транспортной инфраструктуры» приводит результаты расчетов эластичности роста объема производства в регионе по отношению к инвестициям в транспортную инфраструктуру [18]. Значения соответствующих коэффициентов варьируются от 0,05 до 0,07, в связи с чем Сюэлян указал на опасность переоценки роли транспортной инфраструктуры. Используя эмпирические данные и пространственные эконометрические модели, он установил, что среди множества факторов, связанных с развитием транспортной инфраструктуры и способствующих региональному экономическому росту, наибольший вклад вносит увеличение занятости и основного капитала в других отраслях (строительство, машиностроение, металлургия и т.п.) в связи с реализацией проекта.

Американский ученый Бенджамин Фабер исследовал влияние крупномасштабных инвестиций в транспортную инфраструктуру на торговые издержки и экономическую активность в разных регионах на примере национальной системы автомагистралей Китая [19]. Он рассматривал все территории влияния, включая те, что вошли явно в программу строительства автомагистралей, и те, что находились на пути между целевыми пунктами назначения. Экономические результаты для таких мест он сравнивает с периферийными населенными пунктами, никак напрямую не связанными с системой автомагистралей. Фабер обнаружил, что в промежуточных населенных пунктах в среднем темпы роста валового регионального продукта были ниже на 18%, доходы местных бюджетов – на 23% по сравнению с периферийными уездами. При этом в самих нецелевых периферийных округах на фоне создания и активного функционирования сети автодорог темпы роста промышленного производства и валового регионального продукта также снизились.

Примерно те же результаты получены в исследовании канадского ученого Натаниэля Баум-Сноу и его коллег, где на примере китайской национальной системы автомагистралей, построенной в период с конца 1990-х по 2010 год, описано влияние автомобильных дорог на модели специализации регионов и показано, что целевые региональные префектуры, благодаря появлению автомагистралей и усилению специализации в сфере производства и услуг, выигрывают, в то время как периферийные по отношению к магистрали районы теряют производство [20]. В работе показано, что крупные системы автомагистралей не только пространственно перераспределяют экономическую активность, но и стимулируют миграцию.

В работе швейцарских ученых П. Эггера, Г. Лумо и Н. Лумо обобщены и представлены долгосрочные (с 2000 года) последствия изменений транспортной инфраструктуры для 330 префектур Китая [21]. Отмечено региональное сближение префектур, к которым подходят магистрали, по плотности населения, экономической активности, в меньшей степени – по реальному доходу на душу населения. Согласно полученным данным, количественно значимыми были не только изменения в магистральных сетях автомобильных и высокоскоростных железных дорог, но и в сетях местного уровня. Наиболее важными факторами, определяющими макроэкономические эффекты, названы упрощение грузоперевозок и распространение технологий, в то время как снижение стоимости личной мобильности и повышенный уровень комфорта оказались менее значимыми.

Интересна также работа китайских ученых С. Вангу и Х. Ина «Взаимосвязь между строительством высокоскоростных железных дорог и экономическим развитием – эмпирическое исследование китайских городов», сочетающая априорный и апостериорный подходы [10]. Авторы исследуют взаимосвязь между экономическим развитием и инвестициями (фактическими и прогнозными) в инфраструктуру высокоскоростных железных дорог (ВСМ) для китайских городов в разные периоды времени на базе реальных данных по строительству таких дорог в стране за последнее деся-

тилетие и плановых – на ближайшее десятилетие. Для изучения взаимосвязи между масштабами транспортного строительства и экономическим развитием они построили модель географически взвешенной регрессии (GWR), где независимыми переменными являются показатели развития высокоскоростных железных дорог: комплексная доступность (comprehensive accessibility[1]), пассажиропоток, инвестиции в проекты ВСМ; зависимыми – характеристики, отражающие уровень экономического развития региона, влияния за определенный период времени: валовой региональный продукт, стоимость промышленной продукции, инвестиции в недвижимость, налоговые поступления. Вычисления, проводимые на большой базе данных, показали, что существует сильная корреляция между зависимыми и независимыми переменными соответствующего периода. Проверка планов государства по дальнейшему строительству линий ВСМ и их очередности показала, что они не согласуются с полученными данными по регионам о возможном влиянии инвестиций в транспортную инфраструктуру и не обеспечивают максимального эффекта в виде прироста валового внутреннего продукта, промышленного производства, налогов.

В целом следует отметить тот факт, что большой интерес мировой науки к китайскому опыту сопровождается довольно скептическим отношением китайских ученых к получаемым результатам. Это в полной мере проявилось, например, в обзорной статье китайского исследователя Т. Дэна «Влияние транспортной инфраструктуры на производительность труда и экономический рост: последние достижения и исследовательские задачи» [22]. Анализ эмпирических исследований влияния транспортной инфраструктуры на производительность и экономический рост позволил автору сделать вывод о противоречивости и неубедительности получаемых результатов.

В 2020 году лауреаты Нобелевской премии по экономике из США Абиджит Банерджи и Эстер Дуфло в статье «На дороге: доступ к транспортной инфраструктуре и экономический рост в Китае» (в соавторстве с китайским экономистом Нэнси Цянь) изложили результаты своих исследований влияния инфраструктуры на экономический рост в современных условиях [23]. Авторы оценивали зависимость экономического роста районов Китая от расстояния до основных транспортных линий в течение двадцатилетнего периода быстрого роста. Речь шла не о краткосрочном влиянии на торговлю, цены, подвижность, скорость передвижения, а о долгосрочных последствиях в виде изменений в моделях локализации экономической деятельности, перемещений людей и производств. Цель исследования состояла в том числе в генерировании предложений для органов власти с точки зрения возможности и необходимости вмешательства государства в развитие транспортной инфраструктуры или полагания на естественные силы рынка и/или конкуренцию между местными органами власти для обеспечения необходимой инфраструктуры без инвестиций государства.

Авторы задались вопросом: имеют ли районы, которые «квазислучайно» получили лучший доступ к транспортным сетям, более высокие экономические перспективы в долгосрочном периоде? В частности, они пытались понять, обогащает ли доступ к улучшенной транспортной инфраструктуре средний регион, поскольку он привлекает или генерирует больше новых видов экономической деятельности, или приводит к его упадку, поскольку человеческому и физическому капиталу становится легче покинуть этот регион.

Результаты показали, что ВРП и доходы домохозяйств на душу населения в городских районах были выше в местах, расположенных ближе к линии. Для сельских районов расстояние не оказывало существенного влияния на доход домохозяйств. Что касается оценок влияния близости к магистрали на рост ВРП, то исследователи отмечают нулевой эффект. Оценочная эластичность между расстоянием до транспортной магистрали и годовым ростом ВРП на душу населения составила 0,002 и статистически незначима. Экономика населенных пунктов, расположенных близко к линии, росла ровно так же быстро, как и населенных пунктов, расположенных дальше. Другими словами, это исследование не обнаружило существенного положительного влияния доступа к транспортной инфраструктуре на долгосрочный экономический рост.

Таким образом, распределительные последствия развития инфраструктуры не так очевидны, как кажется на первый взгляд. С одной стороны, расширенный доступ к рынкам и идеям должен приносить пользу всем регионам. С другой – транспортная инфраструктура увеличивает доступ сельских регионов к городам, и известные эффекты агломерации городов могут привести к тому, что производительный капитал и квалифицированная рабочая сила со временем переместятся из сельских регионов в города, в результате чего те, кто остаются в сельской местности, получают очень ограниченные выгоды от урбанизации или даже беднеют.

[1] Комплексная доступность транспорта включает следующие ключевые аспекты: физическая доступность (близость), доступность для маломобильных групп граждан, ценовая доступность, временная доступность, связанность и мультимодальность, информационная доступность.

Общее заключение А. Банерджи, Э. Дуфло и Н. Цянь следующее: лучший доступ к транспортным сетям не оказывает большого влияния на относительные экономические показатели районов. Транспортная инфраструктура сама по себе мало способствует экономическому росту, за исключением, возможно, тех мест, где на нее уже был существенный неудовлетворенный спрос. Интересно, что, основываясь на аналогичной логике, китайские ученые критиковали огромные объемы государственных инвестиций во внутреннюю транспортную инфраструктуру страны после 1990 года.

К проблеме влияния транспортной инфраструктуры на экономический рост с точки зрения эффективности именно государственных инвестиций подошли в своей работе американские ученые К. Эндрюс и Дж. Суонсон [5]. Для изучения влияния государственных расходов на объем производства в штате они использовали производственную функцию Кобба-Дугласа и продольный характер набора данных (от англ. *longitudinal data,* сбор информации, при котором одни и те же субъекты (объекты) наблюдаются и измеряются многократно через определенные промежутки времен). Наряду с трудом и частным капиталом, государственные инвестиции в транспорт рассматривались ими как фактор роста производства на территории штата. По результатам исследований авторы сделали вывод о том, что государственные инвестиции в инфраструктуру могут оказывать положительное влияние на частное производство в регионе, но оно значительно меньше, чем предсказывалось в более ранних исследованиях, в том числе и самих авторов.

Правительства прибегают к помощи ученых при оценке эффективности крупномасштабных проектов развития транспортной инфраструктуры. В ряде стран разработаны и включены в нормативные акты оперативные процедуры оценки регионального экономического воздействия таких проектов с использованием некоторых элементов математического аппарата из представленного выше списка. В Японии, например, используются пространственные вычислимые модели общего равновесия для оценки агломерационных эффектов, динамики занятости, изменений в сфере туризма и других региональных последствий проектов ВСМ. В Германии применяется преимущественно качественная процедура для выявления макроэкономических эффектов в рамках анализа затрат и выгод от транспортных проектов. Великобритания делает акцент на количественных оценках, основанных на моделях частичного равновесия [24]. Несмотря на наличие широкого спектра методов количественной оценки социально-экономических последствий развития транспортной инфраструктуры, Европейский союз рекомендует оценивать более масштабные экономические последствия на региональном и национальном уровнях с помощью качественных методов [25].

Заключение

Анализ эмпирических исследований влияния транспортной инфраструктуры на производительность и экономический рост пространственно связанных территорий позволяет сделать вывод о противоречивости и неубедительности получаемых результатов. Это объясняется многими причинами, которые группируются в три категории. Первая – причины, связанные с различными контекстами: разные временные промежутки, регионы, страны с их географическими масштабами, экономическими и социальными возможностями. Вторая категория – причины, обусловленные разными объектами оценки: виды транспортной инфраструктуры, уровень их развития, сферы деятельности, влияние на которые измеряется. Третья категория причин связана с разными методами и алгоритмами оценки взаимосвязи транспорта и экономики.

Наряду с доказательствами прямой зависимости развития региона от состояния транспортной инфраструктуры имеются многочисленные свидетельства отсутствия влияния транспортной инфраструктуры на экономический рост. Прогностические исследования в основном оптимистично оценивают положительные эффекты развития транспорта. Наблюдательные исследования, анализ постфактум, как правило, выявляют как положительное, так и отрицательное влияние транспорта на экономику и социальную сферу региона.

Среди факторов, связанных с развитием транспортной инфраструктуры и способствующих региональному экономическому росту, наибольший вклад вносит рост занятости и основного капитала в других отраслях, предприятия которых непосредственно участвуют в реализации проекта (строительство, машиностроение и др.).

Во многих исследованиях доказано, что в развитых странах, где уже существует высококачественная транспортная инфраструктура, дальнейшие инвестиции в нее сами по себе не приведут к экономическому росту. Они должны дополняться другими, более важными основополагающими условиями дальнейшего экономического развития. При этом дополнительные инвестиции в транспорт не являются обязательными для экономического роста.

Механизмы влияния транспортной инфраструктуры на экономику территорий меняются

вместе с развитием самого транспорта, технологий, цифровой трансформацией общества.

Литература

1. Rothengatter W. Wider economic impacts of transport infrastructure investments: Relevant or negligible? // Transport Policy. 2017. Vol. 59. P. 124-133.
2. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. 5-е изд. М.: ПолиПринт-Сервис, 2015. 1300 с.
3. Breidenbach P. Ready for take-off? // The economic effects of regional airport expansions in Germany. Regional Studies. 2020. Vol. 54(8). P. 1084–1097.
4. He G., Xie Y., Zhang B. Expressways, GDP, and the environment: The case of China // Journal of Development Economics. 2020. Vol. 145. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102485
5. Andrews Kim, Swanson James. Does Public Infrastructure Affect Regional Performance? // Growth and Change. 2006. Vol. 26(2). P. 204 – 216.
6. Wang C., Lim M.K., Zhang X., Zhao L., Lee P.T.-W. Railway and road infrastructure in the Belt and Road Initiative countries: Estimating the impact of transport infrastructure on economic growth // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2020. Vol. 134. P. 288–307. https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.009
7. Li X., Wu Z., Zhao X. Economic effect and its disparity of high speed rail in China: A study of mechanism based on synthesis control method // Transport Policy. 2020. Vol. 99. P. 262–274. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.003
8. Saidi S., Shahbaz M., Akhtar P. The long-run relationships between transport energy consumption, transport infrastructure, and economic growth in MENA countries // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2018. Vol. 111. P. 78–95. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.03.013
9. Anas R., Tamin O., Wibowo S.S. Applying Input–Output Model to Estimate Broader Economic Impact of Transportation Infrastructure Investment // Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. 2016. Vol. 97(3). P. 323-331.
10. Wangtu (Ato) Xu, Ying Huang. The correlation between HSR construction and economic development – Empirical study of Chinese cities // Transportation Research Part A: Policy and Practice, Elsevier. 2019. Vol. 126(C). P. 24-36.
11. Wang C., Kim Y.S., & Kim C.Y. Causality between logistics infrastructure and economic development in China // Transport Policy. 2021. Vol. 100. P. 49–58. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.10.005
12. Konno A., Kato H., Takeuchi W., Kiguchi R. Global evidence on productivity effects of road infrastructure incorporating spatial spillover effects // Transport Policy. 2021. Vol. 103. P. 167–182. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.02.007
13. Arbués Pelayo, Baños-Pino José, Mayor Matías. The spatial productivity of transportation infrastructure // Transportation Research Part A Policy and Practice. 2015. Vol. 75. P. 166-177.
14. Álvarez I.C., Barbero J., Zofío J.L. A spatial autoregressive panel model to analyze road network spillovers on production // Transportation Research Part A: Policy and Practice. 2016. Vol. 93. P. 83-92.
15. Banister David, Berechman Joseph. Transport Investment and Economic Development. Routledge, 2003. P. 384.
16. Banister David, Berechman Yossi. Transport investment and the promotion of economic growth // Journal of Transport Geography. Vol. 9(3). 2001. P. 209-218. https://doi.org/10.1016/S0966-6923(01)00013-8
17. Varghese Ann Mary, Pradhan Rudra Prakash. Transportation infrastructure and economic growth: Does there exist causality and spillover? A Systematic Review and Research Agenda // Transportation Research Procedia. 2025. Vol. 82. P. 2618-2632. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.12.208
18. Xueliang Z. Has Transport Infrastructure Promoted Regional Economic Growth? — With an Analysis of the Spatial Spillover Effects of Transport Infrastructure // Social Sciences in China. 2013. Vol. 34(2). P. 24–47. https://doi.org/10.1080/02529203.2013.787222
19. Faber B. Trade Integration, Market Size, and Industrialization: Evidence from China's National Trunk Highway System // The Review of Economic Studies. 2014. Vol. 81(3). P. 1046–1070. https://doi.org/10.1093/restud/rdu010
20. Baum-Snow Nathaniel, Henderson J.V., Turner Matthew A. Does Investment in National Highways Help or Hurt Hinterland City Growth? // Journal of Urban Economics. 2020. Vol. 115. P. 104–124.
21. Egger Peter, Loumeau Gabriel, Loumeau Nicole. China's dazzling transport-infrastructure growth: Measurement and effects // Journal of International Economics. 2023. Vol. 142(7). P. 1-22.
22. Deng T. Impacts of Transport Infrastructure on Productivity and Economic Growth: Recent Advances and Research Challenges // Transport

Reviews. 2013. Vol. 33(6) P. 686–699. https://doi.org/10.1080/01441647.2013.851745
23. Banerjee A., Duflo E., Qian N. On the road: Access to transportation infrastructure and economic growth in China // Journal of Development Economics. 2020. Vol. 145. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102442
24. Regional Economic Impact Analys is of High Speed Rail in China // Document of the World Bank. 2014. Report No: ACS9734. URL:https://www.academia.edu/70084327/Regional_Economic_Impact_Analysis_of_High_Speed_Rail_in_China_Main_Report (дата обращения: 27.03.2026).
25. Rosik Piotr, Wójcik Julia. Transport Infrastructure and Regional Development: A Survey of Literature on Wider Economic and Spatial Impacts // MDPI. 2022. Vol. 15(1). P. 1-19.

Миронова Инна Алексеевна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Главный специалист. Кандидат экономических наук. Область научных интересов: теория оценки эффективности инвестиционных проектов. E-mail: makbat@mail.ru; IMironova@frccsc.ru (ответственный за переписку).

Тищенко Татьяна Ивановна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник. Кандидат экономических наук. Область научных интересов: теория оценки эффективности инвестиционных проектов. E-mail: TTischenko@frccsc.ru

Фролова Марина Петровна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник. Кандидат экономических наук. Область научных интересов: теория оценки эффективности инвестиционных проектов. E-mail: marinafr2011@yandex.ru; MFrolova@frccsc.ru

Economic and mathematical modeling of the impact of transport on territorial development (foreign experience)

I.A. Mironova, T.I. Tischenko, M.P. Frolova
Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. This article examines international experience in assessing the short- and long-term impact of transport infrastructure on the economy of adjacent and spatially remote areas of a country. It provides an overview of the scientific literature on this issue over the past two decades and provides examples of specific calculations of the effectiveness of large-scale transport projects in various countries. Mathematical models are summarized and systematized, and indicators describing the relationships between transport and other sectors of material production and the non-manufacturing sector are structured.

Keywords: *transport infrastructure, efficiency, mathematical model, macroeconomic effects, economic growth.*
DOI: 10.14357/20790279260313 **EDN:** IFTRTM

References

1. Rothengatter W. Wider economic impacts of transport infrastructure investments: Relevant or negligible? *Transport Policy*. 2017;59:124-133.
2. Vilensky P.L., Livchits V.N., Smolyak S.A. *Assessment of Investment Projects Efficiency. Theory and Practice*. Moscow: Poly Print Service, 2015. 1300 p. (In Russ.).
3. Breidenbach P. Ready for take-off? The economic effects of regional airport expansions in Germany. *Regional Studies*. 2020;54(8):1084–1097.
4. He G., Xie Y., Zhang B. Expressways, GDP, and the environment: The case of China. *Journal of Development Economics.* 2020;145. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102485
5. Andrews Kim, Swanson James. Does Public Infrastructure Affect Regional Performance? *Growth and Change*. 2006;26(2):204 – 216.
6. Wang C., Lim M.K., Zhang X., Zhao L., Lee P.T.-W. Railway and road infrastructure in the Belt and Road Initiative countries: Estimating the impact of transport infrastructure on economic growth. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020;134:288–307. https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.02.009
7. Li X., Wu Z., Zhao X. Economic effect and its disparity of high speed rail in China: A study of mechanism based on synthesis control method. *Transport Policy.* 2020;99:262–274. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.09.003
8. Saidi S., Shahbaz M., Akhtar P. The long-run relationships between transport energy consumption, transport infrastructure, and economic growth in MENA countries. *Transportation Research Part A: Policy and Practice.* 2018;111:78–95. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.03.013
9. Anas R., Tamin O., Wibowo S.S. Applying Input–Output Model to Estimate Broader Economic Impact of Transportation Infrastructure Investment. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A.* 2016;97(3):323-331.
10. Wangtu (Ato) Xu, Ying Huang. The correlation between HSR construction and economic development – Empirical study of Chinese cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice, Elsevier.* 2019;126(C):24-36.
11. Wang C., Kim Y.S., & Kim C.Y. Causality between logistics infrastructure and economic development in China. *Transport Policy*. 2021;100:49–58. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.10.005
12. Konno A., Kato H., Takeuchi W., Kiguchi R. Global evidence on productivity effects of road infrastructure incorporating spatial spillover effects. *Transport Policy.* 2021;103:167–182. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.02.007
13. Arbués Pelayo, Baños-Pino José, Mayor Matías. The spatial productivity of transportation infrastructure. *Transportation Research Part A Policy and Practice*. 2015;75:166-177.
14. Álvarez I.C., Barbero J., Zofío J.L. A spatial autoregressive panel model to analyze road network spillovers on production. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2016;93:83-92.
15. Banister David, Berechman Joseph. *Transport Investment and Economic Development*. Routledge, 2003. P. 384.
16. Banister David, Berechman Yossi. Transport investment and the promotion of economic growth. *Journal of Transport Geography.* 2001;9(3):209-218. https://doi.org/10.1016/S0966-6923(01)00013-8
17. Varghese Ann Mary, Pradhan Rudra Prakash. Transportation infrastructure and economic growth: Does there exist causality and spillover?

A Systematic Review and Research Agenda. *Transportation Research Procedia.* 2025;82:2618-2632. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.12.208
18. Xueliang Z. Has Transport Infrastructure Promoted Regional Economic Growth? — With an Analysis of the Spatial Spillover Effects of Transport Infrastructure. *Social Sciences in China*. 2013;34(2):24–47. https://doi.org/10.1080/02529203.2013.787222
19. Faber B. Trade Integration, Market Size, and Industrialization: Evidence from China's National Trunk Highway System. *The Review of Economic Studies*. 2014;81(3):1046–1070. https://doi.org/10.1093/restud/rdu010
20. Baum-Snow Nathaniel, Henderson J.V., Turner Matthew A. Does Investment in National Highways Help or Hurt Hinterland City Growth? *Journal of Urban Economics*. 2020;115:104–124.
21. Egger Peter, Loumeau Gabriel, Loumeau Nicole. China's dazzling transport-infrastructure growth: Measurement and effects. *Journal of International Economics*. 2023;142(7):1-22.
22. Deng T. Impacts of Transport Infrastructure on Productivity and Economic Growth: Recent Advances and Research Challenges. *Transport Reviews*. 2013;33(6):686–699. https://doi.org/10.1080/01441647.2013.851745
23. Banerjee A., Duflo E., Qian N. On the road: Access to transportation infrastructure and economic growth in China. *Journal of Development Economics*. 2020;145. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102442
24. Regional Economic Impact Analys is of High Speed Rail in China*. Document of the World Bank. 2014. Report No: ACS9734*. Available from: https://www.academia.edu/70084327/Regional_Economic_Impact_Analysis_of_High_Speed_Rail_in_China_Main_Report [Accessed 27 March 2026].
25. Rosik Piotr, Wójcik Julia. Transport Infrastructure and Regional Development: A Survey of Literature on Wider Economic and Spatial Impacts. *MDPI.* 2022;15(1):1-19.

Mironova Inna A. PhD in economics, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: makbat@mail.ru; IMironova@frccsc.ru

Tischenko Tatiana I. PhD in economics, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: TTischenko@frccsc.ru

Frolova Marina P. PhD in economics, Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova str., Moscow, 119333, Russia. E-mail: marinafr2011@yandex.ru: MFrolova@frccsc.ru