

# НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ<sup>1</sup>

Н. М. Светлов, Р. Н. Павлов, А. Л. Богданова

*В статье обосновывается неравновесная теоретическая модель развития транспортной инфраструктуры, согласующаяся с шумпетерианской теорией экономического развития в трактовке М. Хироока. Модель описывает долгосрочный рост транспортных сетей исходя из степени использования агрегированного ресурса на нужды транспортной инфраструктуры и степени удовлетворения потребности в транспортных услугах (с некоторым лагом).*

*Ранее полученные аргументы в пользу модели дополнены результатами ее эмпирического тестирования на данных о сухопутных транспортных сетях США за период 1871–2013 гг. с использованием трех новых эмпирических спецификаций, исследующих гипотезы об адекватности выбранных аппроксиматоров влияющих факторов, о влиянии интенсивных факторов развития транспортных сетей, о влиянии других транспортных сетей на развитие автомобильных и железных дорог, о независимости их развития от изменений в структуре агрегированного ресурса. Данные поддерживают предложенную модель.*

*Основные теоретические результаты исследования — устойчивые на вековом горизонте времени закономерности развития транспортной инфраструктуры; опровержение влияния на эту динамику длительного инвестиционного лага; поддержка позиции М. Хироока относительно первичности динамики инфраструктур по отношению к большим циклам конъюнктуры. Методологический результат — разработка и апробация методических подходов к преодолению трудностей, с которыми сталкивается эмпирическое тестирование модели. Прикладное значение имеет возможность использования показателя эффективности транспортных сетей по критерию предоставления транспортных услуг на единицу агрегированного ресурса (этот критерий устойчив на длительных промежутках времени) для оценки перспектив развития новых и вытеснения существующих видов транспортной инфраструктуры.*

**Ключевые слова:** сухопутные транспортные сети, долгосрочные закономерности, теория экономического развития, большие циклы конъюнктуры, инвестиционный лаг, инновации, инфратраектории, США

## 1. Введение

В.Е. Дементьев [11], опираясь на критику Лукаса [35], выдвигает требование структурности моделей длительной экономической динамики. Следовательно, в их основу должны быть положены структурные параметры, которые остаются инвариантами при изменениях экономической политики. Актуальность обсуждаемой в данной статье модели развития транспортной инфраструктуры обусловлена

стремлением удовлетворить этому требованию. Направления поиска модели продиктованы необходимостью освободить ее от переходящих факторов, действующих на временных горизонтах короткой и средней продолжительности, сохранив объясняющую способность по отношению к долгосрочным экономическим процессам.

Модель, аналогичная предложенной, представлена в статье [23], где она вводится ad hoc как элемент системно-аналитической процедуры, отрицательный результат которой был бы не менее (а может, и более) ценен в сравнении с положительным, поскольку позволил бы

<sup>1</sup> Исследование поддержано грантом РФФИ (проект № 16-06-00243).

извлечь новые знания о развитии транспортных сетей из осмысления причин расхождения между моделью и реальностью. Результат, однако, оказался положительным, в связи с чем встала иная задача: определить место предложенной модели в системе существующих ныне моделей долгосрочной экономической динамики. Ее решение, помимо систематизации аргументов в пользу предлагаемой модели в сопоставлении с существующими альтернативами, требует углубления эмпирического анализа в сравнении с проведенным в [23]. В связи с этим проверен ряд гипотез, которые не тестировались в предшествующей работе: об адекватности выбранных аппроксиматоров тех факторов, влияние которых постулируется теорией; о независимости заключения об адекватности модели от действия интенсивных факторов развития транспортных сетей, от влияния транспортных сетей, конкурирующих с автомобильными и железными дорогами, и от изменений в структуре агрегированного ресурса. Интерпретация результатов, представленных в [23], также требует подтверждения либо отклонения: с этой целью проводится более тщательная проверка присутствия в динамике сухопутных транспортных сетей эффекта длительного инвестиционного лага и отсутствия влияния на эту динамику со стороны смены технологических укладов.

Основные теоретические результаты проведенного исследования — отыскание устойчивых закономерностей развития транспортной инфраструктуры; отрицание наличия эффекта длительного инвестиционного лага; поддержка позиции М. Хироока относительно первичности динамики инфраструктур по отношению к большим циклам конъюнктуры. Методологический результат заключается в систематизации трудностей, с которыми сталкивается эмпирическое тестирование модели, и определении путей их преодоления. Прикладное значение имеет возможность применения показателя способности транспортной сети трансформировать ресурсы в услуги, обладающего, как установлено, устойчивостью на промежутках времени вековой продолжительности, для оценки темпов развития новых видов транспортной инфраструктуры и перспектив вытеснения ими существующих транспортных сетей. Эти возможности имеют значение для решения задач форсайта [26] и стратегического планирования.

Авторы выражают признательность чл.-корр. РАН В.Е. Дементьеву, д. э. н. В.Г. Гребенникову, д. э. н. В.Н. Лившицу, д. э. н. С.Я. Чер-

навскому, чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнеру, д. э. н. Х.Х. Валиуллину и к. э. н. А.А. Мальцеву за ценные замечания, советы и идеи, которыми они поделились с авторами настоящей статьи, а также коллективу Института экономики УрО РАН, предоставившему авторам возможность с большой пользой обсудить предварительные результаты на VII Всероссийском симпозиуме по экономической теории.

## 2. Степень изученности проблемы

### 2.1. Теории и модели роста в приложении к инфраструктуре

В работе [37] предметная область мезоэкономики определяется как часть «исследований организации экономики, которая базируется не на микроэкономике покупок и продаж и не на макроэкономике совокупного спроса и предложения, а на изучении тех структур и механизмов, которые определяют эти явления, и, кроме того, — на измерении эффектов их действия» (цит. по [17], с. 7). Выделяя сферу мезоэкономики по уровню агрегирования хозяйственных процессов, целесообразно отнести к ней теории, оперирующие агрегированным описанием отрасли или территории в сопоставлении и (или) взаимосвязи с остальной экономикой. В отличие от макроэкономических теорий, в которых отсутствует понятие среды, и микроэкономических, в которых среда каждого агента образована множеством подобных ему агентов, мезоэкономические теории предполагают наличие среды, обладающей свойствами, не выводимыми из свойств объекта.

Обе позиции приводят к заключению, что проблематика долгосрочной экономической динамики относится к мезоэкономике. Так, исследования больших циклов экономической конъюнктуры [14, 8, 12 и др.] изучают колебания показателей, характерным уровнем агрегирования которых является отрасль, и пытаются объяснить этот феномен взаимодействием отраслей со средой, которая не рассматривается в этом контексте как совокупность отраслей.

Задача данного раздела — оценить применимость к инфраструктуре трех групп моделей роста. Первая, в основе которой лежат представления австрийской школы о творческой роли предпринимателя в процессе экономического роста (см., например, [24]), восходит к монографии Й. Шумпетера [25]. Такие модели широко используются в мезоэкономических исследованиях роста отрасли. Основу второй

составляют представления, характерные для [38] и последующих работ, исследующих рост экономики в макроэкономическом контексте. Третья использует в анализе экономического роста методы микроэкономики.

*Теория экономического развития* Й. Шумпетера придает большое значение роли инфраструктуры в этом процессе. Следуя Шумпетеру, авторы статьи [10] аргументируют гипотезу, согласно которой системы транспортных инфраструктур образуют ядро технологического уклада. В статье [18] также признается тесная взаимосвязь между технологическим укладом и транспортной инфраструктурой. Вслед за Н.Д. Кондратьевым автор [18] связывает возникновение очередного большого цикла с изменением характера капиталистического воспроизводства, когда возникает новая технология, запускающая процесс не только изменения всей инфраструктуры, перестройки предприятий, жилья, но и смены системы институтов, обслуживающих данный способ производства [18, с. 50].

В статье М. Хироока [34] принят постулат, согласно которому динамика развития инфраструктуры (автор использует термин «инфра-траектория») выражается логистической зависимостью. Развитие инфраструктуры нового вида стартует с появлением базисной (*trunk*) инновации, после чего испытывает влияние улучшающих инноваций. Вероятность появления новой инфраструктуры возрастает по мере замедления темпов роста предшествующих инфраструктур в соответствии с логистическим уравнением. Хироока проводит неформальное сопоставление динамики различных технологий и инфраструктур с предложенной им теоретической моделью. Данное направление углублено в работе [1], однако не доведено до числовых моделей: ее автор сам указывает, что оценка ожидаемых объемов рынков, требуемых для предложенной им формализации, затруднительна. Кроме того, в модели [1, с. 321–323] цикл Кондратьева считается присущим моделируемому объекту. Это не добавляет ей доверия, особенно в свете эмпирических результатов, полученных нами. В частности, статья [19] содержит контраргументы постулату о примерно постоянном темпе диффузии инноваций, который принимается в том числе и в [1].

Примером плодотворного введения элементов теории Й. Шумпетера в формальный язык описания экономических процессов служит работа [3]. Авторы различают инвесторов-экспансионистов и инвесторов-раци-

онализаторов. Разработанная на этой основе математическая модель [17, с. 494–496] позволяет имитировать функционирование экономики с учетом различных пропорций распределения государственных инвестиций между производством предметов потребления, производством средств производства и технологическим развитием. Другая модель, использующая аналогичный формальный аппарат, моделирует жизненный цикл продукта [17, с. 501–504]. Она представляет интерес в связи с ее потенциальной пригодностью для описания динамики транспортных сетей, однако содержит слишком много степеней свободы для параметрической идентификации. Это ограничивает возможности ее применения рамками имитационного моделирования.

Развитие транспортных сетей связывает большие объемы капитала. Как следствие, оно влияет на финансовые рынки и испытывает на себе их влияние. Теоретические основы взаимодействия реального и финансового секторов на длительных горизонтах времени развиты К. Перес [20]. Эта теория предсказывает возрастание финансовых рисков на определенных фазах процессов смены технологических укладов. Периодичность в движении капитала, вытекающая из этой теории, может вызывать колебания темпов развития транспортных сетей. Однако исследование истории механизмов финансирования дорожной инфраструктуры [22] позволяет предположить ограниченность такого влияния. Преобладающими источниками финансирования развития дорожных сетей гужевого и автомобильного транспорта были целевые источники и налоги общего назначения, а не вложения частного капитала. Поэтому действие финансовых дисбалансов, изучаемых в [20], транслируется на финансирование дорожного строительства в ослабленном виде — через состояние государственных и муниципальных бюджетов и сокращение перевозок по существующей дорожной сети.

Финансирование развития транспортных сетей — трудная проблема для моделирования из-за неравномерности процессов на финансовом рынке; опосредованного влияния экономической мотивации на дорожное строительство; многообразия каналов финансирования; отношений «принципал — агент» при подрядах на дорожное строительство; большой задержки в контурах обратной связи, определяющих долю конечного продукта экономики, направляемую на развитие транспортных сетей; эволюции самих финансовых институтов на длительных промежутках времени. При та-

ких обстоятельствах модель, напрямую связывающая долгосрочное развитие транспортной сети с финансированием, едва ли окажется успешной.

*Перспективы заимствования идей макроэкономических моделей роста для решения задачи моделирования развития инфраструктуры* связаны с работой [36], которая сближает методологию, ассоциирующуюся с [38], с подходами, развивающими шумпетерианскую парадигму. В ней сравниваются между собой и сопоставляются с фактическими данными три модели роста, в основу которых положены, соответственно, физический капитал и технологические изменения; человеческий капитал, приобретаемый в сфере образования; человеческий капитал, извлекаемый из опыта практической деятельности. Вторая и в особенности третья модели развивают идеи австрийской школы в макроэкономическом контексте. Они представляют для нас интерес как инструмент моделирования ресурсной базы развития инфраструктуры. В данном исследовании мы эту возможность не используем, но намерены изучить ее в будущем.

В макроэкономических моделях, развивающих формализм Рамсея — Касса — Купманса (см. [4]), траектория экономического роста определяется решением задачи оптимизации. Возможность их применения в мезоэкономических исследованиях связана со свойством сходимости (при определенных условиях) всех оптимальных траекторий системы к некоторой стационарной точке. Это позволяет на больших периодах времени перейти к рассмотрению более простой модели, свободной от целевой функции. В контексте мезоэкономического анализа это принципиально важно, поскольку целевая функция, вменяемая его объекту, зависит от среды и в силу этого может меняться во времени. Но даже с учетом этого преимущества применимость данного формализма к мезоэкономической проблематике затруднена из-за влияния среды по другим каналам.

*Структурные микроэкономические модели*, с одной стороны, опираются на широкий спектр факторов, действие которых проявляется в различных временных горизонтах. Они позволяют учесть конкуренцию различных сфер и отраслей экономики за ресурсы, обоснованно оценить грузопотоки, генерируемые каждой отраслью. С другой стороны, такие модели зависят от большого числа параметров, критически уязвимы к их неопределенности или изменчивости. Они принимают во внимание многочисленные связи между микроэкономическими

переменными, но демонстрируют высокую чувствительность к тем из них, которые остались неучтенными или форма которых отражена неточно. Отчасти эти проблемы решаются повышением уровня агрегирования переменных модели, приближающих их по этому признаку к мезоэкономическим или даже макроэкономическим моделям.

К числу примеров результативного применения микроэкономического подхода к проблемам развития инфраструктур можно отнести работы [27] (агрегированная вычислимая модель общего равновесия); [21, 34] (межотраслевой баланс). Однако в известной нам литературе не представлено ни одной успешной модели данного класса, которая воспроизводила бы динамику моделируемой системы на горизонтах времени, превосходящих пятилетие.

## 2.2. Теории и модели развития транспортных сетей

В статье [40] систематизирован накопленный ко времени ее написания опыт моделирования развития транспортных сетей. Подходы, аналогичные предлагаемому нами, не нашли отражения в этом обзоре. Развитие методологии шло в основном в направлении совершенствования пространственных моделей. Кроме них, обзор охватывает работы, учитывающие политические и микроэкономические факторы развития транспортных сетей.

Из числа отечественных работ, в которых исследуются пространственные факторы, выделим [15]. В ней для моделирования развития транспортных сетей предложено использовать математическую теорию геометрии потока. Автору удается установить соотношение между предложенной моделью и экономической теорией сравнительных преимуществ. Это выделяет данную статью из массы работ, основанных на пространственном подходе, но не избавляет от присущего ему ограничения: адекватность модели ограничена временным горизонтом, в котором размещение узлов сети известно или предсказуемо.

Следующая категория исследований проливает свет на принятие решений о развитии транспортных сетей. В монографии [6] обобщаются теоретические основания и опыт проектирования и прогнозирования транспортных потоков в городах США. Авторы полагают, что *усовершенствования транспортной инфраструктуры не приводят к удешевлению транспорта*. На протяжении многих десятилетий затраты времени городского населения на передвижение остаются стабильными, несмо-

тры на прогресс в развитии транспорта. Далее, отечественные и зарубежные исследователи [9, 16] согласны в том, что рост скоростей ведет не к сокращению суточных затрат времени на поездки и перевозки, а к возрастанию их средней дальности.

С.П. Бушанский [5] предлагает математическую модель, позволяющую выбирать проекты из имеющихся альтернатив, учитывая не только народнохозяйственные интересы, но также интересы инвесторов и специфику поведения потребителей транспортных услуг. Такой подход частично отвечает на критику исследований по данной теме, представленную в [30], позволяя через интересы инвесторов учесть отрицательные экстерналии развития транспорта.

Авторы статьи [21] для оценки предложенных ими мероприятий по модернизации сети автодорог России применили оригинальную модель, основанную на межотраслевом балансе. Измеряя влияние повышения скорости и снижения тарифов автотранспорта на вектор конечного продукта, они смогли уйти от территориального подхода, требующего больших объемов данных, чувствительного к их неполноте и агрегированию. Полагаем, что модели такого типа могут иметь не только нормативную, но и позитивную интерпретацию. В частности, их можно использовать для уточнения описания развития транспортных сетей, полученного при посредстве более грубых моделей. Однако их применимость обусловлена доступностью таблиц «затраты — выпуск» по исследуемому объекту.

Значительный пласт литературы отражает влияние развития транспортных сетей на экономическую эффективность. В контексте нашего исследования он важен, во-первых, для понимания политической и коммерческой мотивации к вложениям в транспортные сети, а во-вторых, для выявления положительных обратных связей, которые могут сопровождать их развитие. То и другое имеет значение для выбора подходящего формализма теоретической модели — в частности, между оптимизационными моделями, подобными описанным в [4], и алгебраическими, подобными [38].

С.Д. Воронцова [7], опираясь на данные Министерства транспорта США за 1957–1996 гг., сообщает, что сокращение затрат на транспортировку грузов по федеральной сети автомагистралей Interstate по сравнению с другими дорогами составило 17 %. Этот результат согласуется с [28], где с помощью функции Кобба — Дугласа, дополненной государственными ин-

вестициями в невоенную инфраструктуру, показано, что прирост этих инвестиций на 10 % вызывает рост производительности капитала в частном секторе от 3,0 до 5,6 %. Исследование охватило период с 1949 по 1985 гг., в течение которого в стране была сформирована квадратная сетка скоростных автомагистралей, связавших все континентальные штаты страны.

Выводы, изложенные выше, оспариваются в [30], где представлен обзор исследований эффективности развития сети автомагистралей. Автор сопоставляет результаты разных исследователей и вскрывает противоречия между ними. Он приходит к выводу, что инфраструктура автомагистралей влияет на продуктивность экономики США незначительно. Лишь часть экономического эффекта в зоне автомагистрали обусловлена ее сооружением, а ускоренное экономическое развитие поблизости от нее отвлекает ограниченные ресурсы других территорий. Таким образом, развитие сети автомагистралей генерирует не только положительные (хорошо изученные в литературе), но и отрицательные (недостаточно изученные) экстерналии.

Ключевой вывод монографии Р. Фогеля [33] заключается в том, что если бы железные дороги вообще не были изобретены, уровень ВВП на душу населения, достигнутый к 1 января 1890 г., был бы получен к 31 марта того же года благодаря другим путям сообщения (прежде всего водным). Вместе с тем Фогель показывает, что ни одна другая отрасль не оказывала в XIX в. большего влияния на ВВП, чем железные дороги. Значит, в отсутствие железных дорог их в этом качестве заменили бы альтернативные виды транспорта, предопределив иную отраслевую структуру экономики.

В [13] на основе данных по субъектам Российской Федерации за 2000–2013 гг. оценено влияние автомобильных и железных дорог на региональную экономическую динамику: вклад в экономическую динамику региона и пространственный эффект, распространяющийся за его пределы. Выявлена положительная связь между региональным экономическим ростом и развитием автотранспортных сетей, а также отрицательные пространственные эффекты для соседних регионов. Оценки для восточных регионов РФ не выявили положительного вклада развития сетей данных типов в региональный рост.

Вышеприведенные источники позволяют заключить, что затруднительно установить связь между темпами развития транспортной сети и ее ожидаемым эффектом. Оценки влия-

ния проектируемого пути сообщения на экономику, имеющиеся на момент принятия решения о реализации проекта, имеют мало шансов соответствовать реальности в будущем: в самом деле, даже для ранее построенных сетей оценки их эффекта вызывают разногласия. Данное соображение ставит под сомнение модели развития транспортной сети, имеющие форму оптимизационных задач.

Подведем итог. С одной стороны, мезоэкономические теории долгосрочной экономической динамики, в отличие от макроэкономических, пока не доведены до формального представления. С другой стороны, формализованные модели развития транспортных сетей имеют, как правило, прикладной характер и базируются на микроэкономических основаниях, уделяя большое внимание территориальному аспекту. Такие модели не подходят для теоретического анализа долгосрочных процессов развития транспортной инфраструктуры.

### 3. Формулировка предлагаемой теоретической модели

Пусть имеется  $n$  видов транспортных сетей и множество  $T$  моментов времени (лет). Введем следующие предположения.

1) В каждый момент времени известны потребность в транспортных услугах  $d_t$  и объем агрегированного ресурса  $s_t$ , доступный для использования на нужды транспортных сетей. Эти величины считаются экзогенными.

2) Ресурс и транспортные услуги характеризуются эндогенными ценами  $p_t$  и  $q_t$ , которые полностью определены, соответственно, долей ресурса, используемой на нужды транспортных сетей, и степенью удовлетворения потребностей в транспортных услугах. Зависимость цен от указанных факторов в пределах  $T$  неизменна.

3) Транспортные сети конкурируют за ресурс и за клиентов на несовершенном рынке: наиболее рентабельные сети получают преимущество в темпах прироста, но их конкуренты не теряют всех клиентов, а продолжают развиваться меньшими темпами.

4) Рентабельность каждой сети в момент  $t$  определяет темп ее прироста по прошествии некоторого лага  $\lambda$ , то есть в момент  $t + \lambda$ .

5) На 1 км любой сети ее потребность в агрегированном ресурсе и ее производительность (в единицах потребности) постоянны на  $T$ .

Обсудим мотивы наиболее обязывающих предположений.

Предположение 1 подразумевает отсутствие обратной зависимости объема ресурсов и по-

требностей от протяженности транспортных сетей, что согласуется с соображениями, представленными в [33, 30] (см. выше п. 2.2).

Предположение 2 отражает неравновесный характер ценообразования на длительных горизонтах времени: равенство спроса и предложения не предполагается. Данное представление находится в согласии с аргументами Шумпетера [25, с. 155–157] и избегает противоречия с предположением 4, мотивированным, в свою очередь, аргументами Н.Д. Кондратьева [14, с. 390–391].

В части неизменной зависимости цен от постулируемых факторов предположение 2 выглядит очень обязывающим на больших периодах времени. На деле оно просто означает, что масштабом цен в каждый момент времени служит размер бюджета, выделяемого пользователями транспортных услуг на их оплату. Приняв его на этом основании за константу, далее получаем, в силу предположения 5, постоянство выручки в расчете на единицу протяженности транспортной сети, а следовательно, постоянство бюджета транспортных сетей, выделяемого на единицу ресурса, вне зависимости от возможных изменений в структуре ресурсного агрегата.

Предположение 5 представляет собой уточнение понятия «вид транспортной сети». Если оно не выполнено, то протяженность сети данного вида представляет собой агрегат протяженностей сетей, существенно различающихся между собой. В этом случае применение предлагаемой теоретической модели требует агрегирования сетей. Возражение этому предположению заключается в том, что модель не учитывает «эффект присоединения» — зависимость эффективности транспортного проекта заданного масштаба от масштабов сети, к которой этот проект присоединяется. Однако этот эффект имеет ключевое значение преимущественно на ранних этапах становления транспортной сети. В таких случаях модель может оказаться неадекватной. Тому есть и другая причина: согласно предположению 3, зависимой переменной модели, определяющей развитие транспортной сети, является темп прироста, в связи с чем модель принципиально неприменима к моменту возникновения сети. Она не объясняет ни момент возникновения сети, ни ее динамику на начальных стадиях развития. Существенность или несущественность эффекта присоединения для сетей более зрелого возраста — вопрос эмпирической проверки. Другое возражение состоит в том, что существующая классификация транспорт-

ных сетей не использует данный критерий. Следовательно, эмпирические данные, используемые для тестирования модели, могут ему не соответствовать. Ответом на него служит рассмотренная ниже эмпирическая модель (вариант 5), в которой данное предположение не вводится *a priori*, но результаты параметрической идентификации оказались в согласии с ним.

В соответствии с перечисленными предположениями темпы прироста транспортных сетей определяются, с некоторым лагом, долей ресурса, используемой на нужды транспортных сетей, и степенью удовлетворения потребностей в транспортных услугах. Такая модель подразумевает, что на длительных промежутках времени разнонаправленные краткосрочные факторы развития транспортных сетей закономерно компенсируют друг друга.

Модель, соответствующая вышеперечисленным предположениям, имеет следующий вид:

$$g_{k,t+1} = g_k \left( 1 + f_k \left( \frac{q_{t-\lambda} a_k - p_{t-\lambda} b_k}{p_{t-\lambda} b_k} \right) \right);$$

$$p_t = f_p \left( \frac{\sum_{k=1}^n b_k g_k}{s_t} \right);$$

$$q_t = f_q \left( \frac{d_t}{\sum_{k=1}^n a_k g_k} \right),$$

где  $g_{kt}$  — протяженность транспортной сети вида  $k$  в году  $t \in T$ ;  $a_k$  — объем транспортных услуг на 1 км сети  $k$  (производительность);  $b_k$  — потребность в агрегированном ресурсе на 1 км сети  $k$ ;  $f_p(\cdot), f_q(\cdot)$  — неотрицательные монотонно возрастающие функции на множестве положительных чисел;  $f_k(\cdot)$  — монотонно возрастающая функция, для которой  $f_k(0) = 0$ , остальные обозначения введены выше. Аргументом функции  $f_k(\cdot)$  служит расчетная рентабельность транспортной сети  $k$  при ценах  $p_{t-\lambda}$  и  $q_{t-\lambda}$ .

#### 4. Методика эмпирической проверки модели

К объекту, на котором можно проверить предложенную модель, предъявляются следующие требования: это должна быть большая территория, по площади сопоставимая с крупнейшими странами мира; на ней на протяжении не менее века (быть может, с некоторыми пропусками) должны собираться необходимые статистические данные; желательно отсутствие событий, связанных с масштабным разрушением транспортных сетей (войны, за-

топление водохранилищами). Всей совокупности требований отвечает только один объект — США.

Вводимая нами модель неудобна для эконометрического тестирования. Ее не удастся без потери смысла свести к линейным или линейнеаризуемым спецификациям. Классические приемы работы с неравновесными эконометрическими моделями, разработанные в [32], оказываются неприменимыми. Этой проблеме посвящена статья [23], в которой найдено удовлетворительное решение по спецификации и параметрической идентификации модели<sup>1</sup>. Это позволяет представить здесь лишь ключевые сведения о спецификациях из [23], после чего сосредоточиться на отличиях, в сравнении с ними, новых спецификаций, разработанных специально для решения задач, поставленных во введении.

В эмпирической модели [23] агрегированный ресурс аппроксимирован валовым внутренним продуктом США, приведенным к ценам 2009 г.; потребность в перевозке — численностью населения. Функции  $f_p(\cdot), f_q(\cdot)$  и  $f_k(\cdot)$  линейные, их параметры оцениваются. Две спецификации различаются длительностью инвестиционного лага: 1 год или 13 лет. Второе значение выбрано на основании аргументов Н.Д. Кондратьева [14] вкупе с теорией управляемой динамической системы, имеющей задержку в контуре обратной связи: такая система колеблется с периодом, равным четырехкратной задержке, что приблизительно соответствует длительности больших циклов конъюнктуры<sup>2</sup>. Было установлено, что данные о протяженности сухопутных транспортных сетей США за период 1871–2013 гг. находятся в согласии с тестируемой теоретической моделью при годовом лаге, а вариант с длительным лагом отклонен. Однако спецификации [23] и результаты их параметрической идентификации поднимают ряд вопросов, без ответа на которые вывод о соответствии развития сухопутных транспортных сетей США предложенной модели остается ненадежным. В данном

<sup>1</sup> Проверяемая в [23] теоретическая модель классом объектов в сравнении с представленной соотносится с более широким в данной статье, однако различия не затрагивают сути модели.

<sup>2</sup> В рядах протяженности транспортных сетей США полувековые периодические колебания не прослеживаются, но причина этого может крыться в эффектах взаимодействия сетей разных видов. Подъем цикла может сопровождаться ускорением роста одной сети, а спад — замедлением роста или даже сокращением протяженности другой.

разделе статьи рассмотрена методика, направленная на изучение этих вопросов.

1. Проблема адекватности выбранных аппроксиматоров. Во-первых, в качестве аппроксиматора потребностей в перевозке в эмпирической спецификации [23] использована численность населения, хотя на деле по мере экономического развития объективная потребность в перевозках в расчете на одного человека возрастает. Во-вторых, ВВП отражает не только ресурсную базу развития транспортных сетей, но и потребность в перевозках.

Прежде всего отметим, что грузооборот не может служить подходящим аппроксиматором потребности в перевозке. В самом деле, малая протяженность транспортной сети имеет следствием малый грузооборот вне зависимости от реальной потребности в нем. Аппроксиматор потребности должен отражать *потенциальный* грузооборот, который стремится к фактическому только по мере развития сети.

Для изучения адекватности аппроксиматоров предложено сравнить результаты исходной модели со спецификацией, где потребность аппроксимирована выпуклой линейной комбинацией численности населения и ВВП (в сопоставимых ценах). Ее параметры, в сумме равные единице, оцениваются. Поскольку в моделях [23] ВВП использован в качестве аппроксиматора агрегированного ресурса, в новой спецификации его в этой роли заменили валовые внутренние инвестиции (далее ВВИ), полученные из источников [40, с. 231] (1897–1928 гг.) и [29, табл. 5.1] (1929–2013 гг.). Если ВВП — более подходящий аппроксиматор потребности в перевозке, то следует ожидать, что параметр линейной комбинации при численности населения будет равен нулю. В противном случае нулю будет равен параметр при ВВП. Возможно также ненулевое значение обоих параметров, что означало бы существенность вклада обоих показателей в формирование потребности в перевозках.

2. Модель не различает экстенсивные и интенсивные факторы роста валовой пропускной способности транспортных сетей. В частности, она не учитывает в явном виде различие пропускной способности (и ресурсоемкости) железных дорог, различающихся числом путей, особенностями путевого развития, используемым подвижным составом; автодорог, различающихся числом полос, наличием и типом транспортных развязок, способами регулирования движения и т. д.

Естественно предположить, что темпы роста пропускной способности транспортной

сети коррелируют с темпами роста ее протяженности. В этом случае указанная причина не проявит себя ухудшением детерминации эндогенных переменных, но повлияет на смысл оцениваемых параметров: потребность в агрегированном ресурсе будет включать в себя ресурсы, расходуемые на повышение пропускной способности существующих сетей, зато каждая миля сети будет удовлетворять с течением времени все большую потребность в перевозках. Этот эффект можно попытаться уловить с помощью спецификации, предусматривающей эндогенную классификацию моментов времени: он проявит себя, во-первых, различием соответствующего оцениваемого параметра для разных классов лет ряда динамики, во-вторых, закономерной временной последовательностью смены классов, то есть наличием тренда в зависимости номера класса от времени. Если же упомянутая корреляция отсутствует (что может быть характерно, например, для периода, когда протяженность сети железных дорог приблизилась к максимальной), то между классами можно ожидать различия не только по продуктивности сети, но и по затратам агрегированного ресурса.

3. Модель не учитывает конкуренцию с другими видами транспорта за некоторые категории груза и направления перевозок.

Конкуренция с другими видами транспорта — далеко не единственный фактор развития транспортной сети, которым пренебрегает модель. Поэтому для тестирования теоретической модели в [23] выбрана архитектура неполной эконометрической модели и соответствующий метод параметрической идентификации. Тем не менее, нельзя исключать, что влияние со стороны конкурирующих сетей может быть частично отнесено процедурой параметрической идентификации на счет вариации экзогенных переменных модели, коррелирующих с масштабом этого влияния. Однако параметрическая идентификация по методу максимальной энтропии в этой ситуации должна привести к возникновению соответствующего тренда в остатках уравнений регрессии, направленного одинаково для всех сетей. По его наличию можно будет судить об изменении действия скрытых факторов с течением времени. Появление этого эффекта следует ожидать в спецификациях, не предусматривающих эндогенную классификацию моментов времени: при ее наличии классы могут быть выделены в соответствии с трендом остатков и, таким образом, замаскируют его.



4. Модель, используя в качестве аппроксиматора агрегированного ресурса ВВП, не учитывает изменение его структуры в течение моделируемого периода — в частности, рост вклада сферы услуг в его динамику. Кроме того, приводимые в [40] данные о ВВП США за годы, предшествующие началу статистических наблюдений, по современной методологии могут быть ненадежными.

Этот эффект проверяется так же, как и влияние конкурирующих транспортных сетей. Мы не предлагаем способ различения этих двух эффектов, если они себя проявят: без привлечения дополнительных данных это представляется невозможным.

5. Согласно оценкам, полученным в [23], сети разных типов, изначально предназначенные для транспортных средств, относящихся к разным технологическим укладам, демонстрируют различия в затратах ресурсов на единицу удовлетворяемой ими потребности, не согласующиеся с различиями в технологических укладах, становление которых стимулировало их развитие.

Данный результат не вполне согласуется с представлениями, на которых основана тестируемая модель. Если этот феномен статистически надежен и не находит убедительной интерпретации в ее рамках, то встанет вопрос о ее пересмотре. В данной статье тестируется предположение, согласно которому решающее значение имеет не тот уклад, которому принадлежал подвижной состав, под нужды которого формировалась транспортная сеть, а тот, которому соответствует подвижной состав, фактически эксплуатируемый в данный период. Если данное предположение верно, то следует ожидать различий между сетями по затратам ресурсов на единицу потребности при применении модели с эндогенной классификацией моментов времени в пределах отдельных классов: в частности, в классе, соответствующем периоду, когда на железных дорогах эксплуатировались преимущественно паровые локомотивы, а на автомобильных дорогах — автомобили с двигателями внутреннего сгорания.

6. В [23] действие длительного инвестиционного лага себя не обнаружило: оказалось, что адекватной оказывается модель с однолетним лагом.

Этот результат не противоречит теоретической модели, но отклоняет соображения, по которым выбрана конкретная продолжительность лага — 13 лет. В связи с этим следует выяснить, не проявится ли действие длительного лага в случае, когда эффект годового лага также

будет учтен. Если проявится — это означало бы, что динамика развития транспортных сетей определяется одновременным действием коротких и длинных лагов, а приращение транспортных сетей обусловлено реализацией проектов с разными сроками освоения инвестиций. Такая возможность не предусмотрена проверяемой теоретической моделью, и ее подтверждение стало бы основанием для придания ей более общей формы.

Для этой цели мы предлагаем спецификацию, в которой эндогенные переменные зависят от экзогенных с двумя лагами: 1 год и 13 лет. Если проекты развития транспортных сетей действительно различаются длительностью освоения инвестиций, то можно ожидать значимых оценок параметров модели для обоих лагов. В противном случае параметры, относящиеся к длительному лагу, окажутся незначимыми, а один из аргументов Н.Д. Кондратьева о природе больших циклов конъюнктуры, связанный с длительностью освоения инвестиций, — неприменимым к динамике развития сухопутных транспортных сетей (по крайней мере, в США).

## 5. Результаты

В таблице 1 представлены обобщенные результаты параметрической идентификации пяти вариантов эмпирической спецификации предложенной теоретической модели. Первые два варианта представлены в [23]. Они включали автомагистрали как самостоятельный вид транспортной сети. Из последующих спецификаций они исключены в связи с тем, что правила отнесения автодорог к категории автомагистралей неоднократно менялись. Вариант 5 оппонирует изучаемой теоретической модели: в нем не предполагается постоянство параметров  $a_k$  и  $b_k$  в течение моделируемого периода, то есть не действует предположение 5.

Во всех спецификациях, за исключением вариантов 3 и 5 в части параметров, относящихся к 13-летнему лагу, оценки параметров  $a_k$  и  $b_k$  существенно отличаются при  $\alpha = 0,01$  как от нуля, так и от значений, характеризующих другие сети (процедура тестирования описана в [23]). Параметры зависимости темпов прироста сетей от расчетной рентабельности [Там же] существенно отличаются от нуля, кроме параметров варианта 3, относящихся к длительному лагу. Для варианта 5 зависимость номера класса от времени не имела тренда, что позволило отклонить гипотезу о неоднородности параметров  $a_k$  и  $b_k$  во времени, не прибегая к тестированию нулевых гипотез о них.

Таблица 1

## Варианты эконометрической модели протяженности сухопутных транспортных сетей США

№	Особенности спецификации	Результат	Выводы
1	Базовый вариант с лагом продолжительностью 1 год	Согласие с данными	Теоретическая модель в целом поддержана Принадлежность сетей разным технологическим укладам не выявлена
2	Базовый вариант с лагом продолжительностью 13 лет	Отклонен в пользу варианта 1	Длительный инвестиционный лаг не является фактором, определяющим темпы роста транспортных сетей
3	Вариант с лагами 1 и 13 лет	Отклонен в пользу варианта 1	Параметры, относящиеся к лагу продолжительностью 13 лет, незначимы. Подтверждено отсутствие влияния длительного инвестиционного лага на динамику роста транспортных сетей
4	Альтернативные аппроксиматоры агрегированного ресурса и потребности на базе варианта 3	Отклонен в пользу варианта 1	Параметры, относящиеся к лагу продолжительностью 13 лет, значимы. Вероятное объяснение — присутствие длительного цикла в выбранном аппроксиматоре агрегированного ресурса на фоне его отсутствия в динамике развития транспортных сетей. ВВП отклонен в качестве аппроксиматора потребности в пользу численности населения
5	Эндогенная классификация моментов времени на базе варианта 3	Отклонен в пользу варианта 1	Разница между выделенными классами незначительна. Таким образом, предположение 5-й теоретической модели подтверждено. Параметры потребности в агрегированном ресурсе и производительности сети устойчивы во времени и не подвержены влиянию технологических изменений

Таблица 2

Показатель «услуги на ресурс» ( $a_k / b_k$ ) в изученных вариантах эконометрической модели протяженности сухопутных транспортных сетей США (чел./тыс. долл. США)

Вариант	Железные дороги	Автомагистрали	Автодороги с твердым покрытием	Автодороги с облегченным покрытием	Автодороги без покрытия
1	0,117	0,118	0,118	0,117	0,111
2	0,121	0,128	0,196	0,125	0,119
3	0,289	×	0,357	0,318	0,268
4*	1,177	×	4,551	1,961	1,055
5**	1,891 ... 1,968	×	1,920 ... 1,999	1,904 ... 1,983	1,883 ... 1,960

\* Ресурс аппроксимируется валовыми внутренними инвестициями, в отличие от остальных вариантов, где он аппроксимируется валовым внутренним продуктом.

\*\* Наименьшая и наибольшая оценки среди трех классов моментов времени.

Коэффициенты детерминации фактических десяти- и двадцатилетних темпов прироста транспортных сетей статистически значимы при  $\alpha = 0,01$  во всех спецификациях за следующими исключениями: в десятилетнем горизонте времени незначима детерминация приростов суммарной протяженности автодорог с покрытием в варианте 1, суммарной протяженности автодорог всех типов в вариантах 2 и 4. В двадцатилетнем горизонте времени незначима детерминация приростов суммарной протяженности автодорог всех типов только в варианте 4.

В таблице 2 приведены показатели способности сетей разного типа конвертировать ресурс в услуги. Обращает на себя внимание значительный разброс этих показателей в зависимости от вариантов модели (за исключением варианта 4, где показатели имеют единицу измерения, отличную от других вариантов). Причина заключается в слабой детерминации эмпирической моделью доли агрегированного ресурса, связываемой сухопутными транспортными сетями. Поскольку, согласно теоретической модели, на темпы прироста транспортных сетей влияет не сама доля исполь-

зуемого агрегируемого ресурса, а различие в этих долях между годами, данный недостаток не вызывает сомнений в результатах проверки гипотез. Но показатели «услуги на ресурс», если бы модель определяла их надежно, могли бы найти полезные применения в стратегическом планировании, в связи с чем стоит задача улучшения методики в этом отношении.

Отмеченная проблема не препятствует сравнению данного показателя для сетей разных видов в пределах одного и того же варианта модели. Если оставить в стороне вариант 4, анализ которого требует особого внимания, то оказывается, что сети разных типов слабо различаются по способности конвертировать ресурс в услугу. Этот феномен находит объяснение в терминах длительной конкуренции между сетями в условиях значительных локальных различий внутри каждой из них по данному показателю: например, там, где грузопотоки низкие, преимущество по этому показателю имеют сети с минимальной ресурсоемкостью. В связи с этим по каждому потенциальному маршруту перевозки прокладывается, как правило, такой путь сообщения, который имеет преимущество именно на данном маршруте. В конечном счете это приводит к оптимизации протяженности сетей разных видов по критерию  $a_k / b_k$ , равенство которого между сетями, в соответствии с [2], выступает признаком оптимальности. Данный вывод представляется тривиальным (на что авторам было указано д. э. н. В.Г. Гребенниковым), однако следует указать, что вероятный эффект специфических активов (например, непригодность некоторых грузов к перевозке по определенным видам сетей) мог бы послужить причиной дифференциации транспортных сетей по данному показателю. Принимая аргумент В.Г. Гребенникова и подтверждая его результатами проведенного исследования, мы на указанном основании допускаем получение иного результата применительно к развитию всей совокупности транспортных сетей, не ограничиваясь сухопутными.

Рассмотрим полученные результаты применительно к гипотезам, сформулированным в п. 4 статьи.

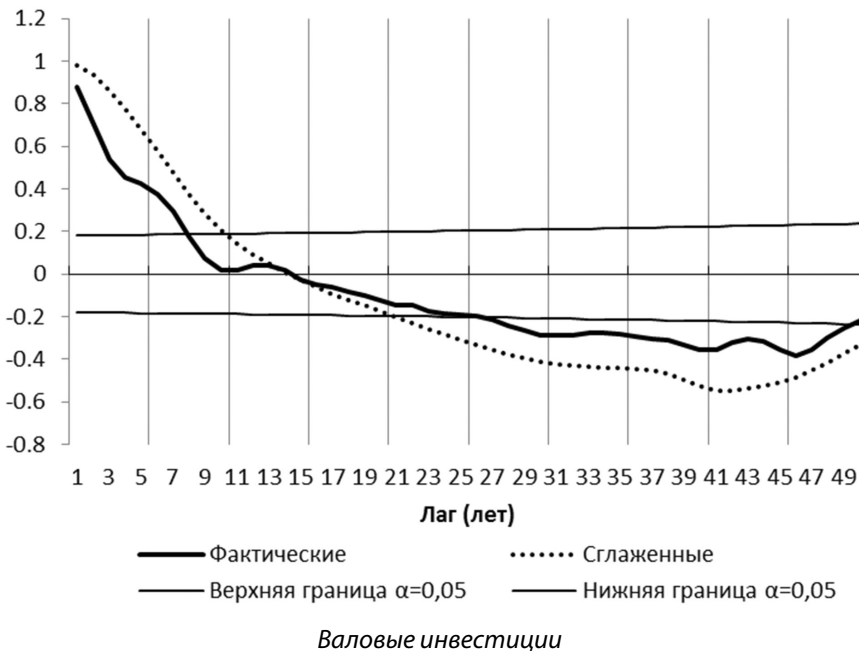
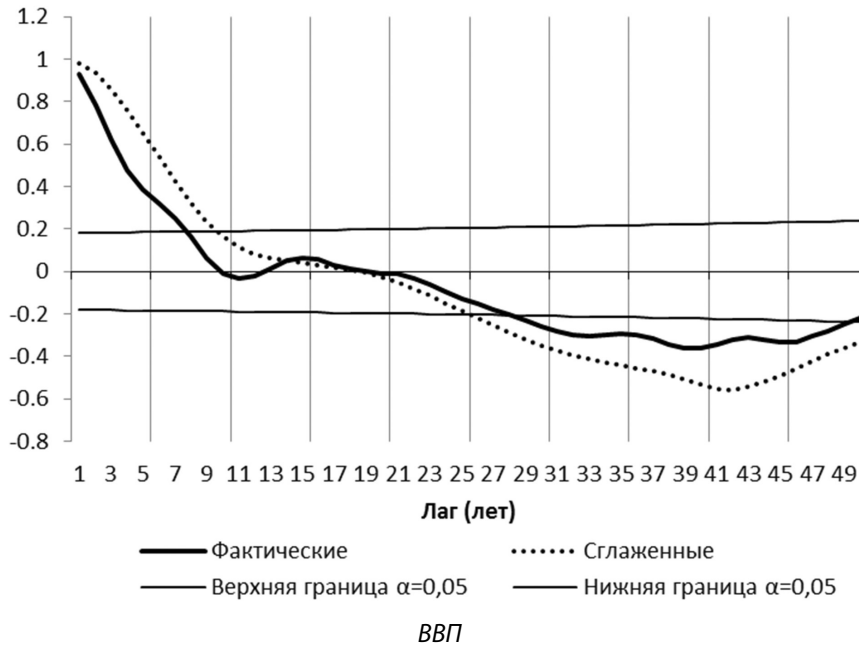
*Гипотеза об адекватности выбранных аппроксиматоров нестрогая.* Само понятие «аппроксиматор» предполагает резервы улучшения модели. Тем более так обстоит дело в ситуации, когда аппроксимируемая переменная — агрегированный ресурс — не имеет строгого определения: правила агрегирования могут быть разными, а от их выбора может зави-

сеть успех теоретической модели. На данном этапе проверены лишь наиболее естественные альтернативы аппроксиматорам, использованным во всех вариантах модели, кроме четвертого. Параметрическая идентификация с достаточной уверенностью отклонила эти альтернативы худшей детерминацией темпов приростов транспортных сетей и тем обстоятельством, что ВВП получил нулевой вес в линейной комбинации с численностью населения в роли аппроксиматора потребности. Однако два обстоятельства говорят о том, что этот вопрос еще не решен окончательно: во-первых, ряд ВВИ, имеющийся в нашем распоряжении, короче ряда ВВП, в связи с чем естественно ожидать несколько худшей детерминации; во-вторых, эта спецификация оказалась единственной, в которой длительный лаг оказался существенным. Учитывая то влияние, которое оказала теория больших циклов конъюнктуры на проверяемую теоретическую модель, этот результат требует внимательного изучения.

Результат изучения, однако, оказался не в пользу варианта 4. Согласно рисунку значимая отрицательная автокорреляция ряда сглаженных относительных отклонений ВВП от тренда возникает при лаге 26 лет и дольше, а аналогичного ряда для ВВИ — 21 год и дольше. Таким образом, квазипериодичность ВВП составляет не менее 52 лет, в то время как ВВИ — не менее 42 лет. В силу этого 13-летний лаг, теоретически генерирующий 52-летний цикл, в модели, фактором которой выступает ВВП, оказывается на пределе значимости, а при учете в той же модели годового лага будет заведомо незначимым в отсутствие скрытой периодичности в динамике транспортных сетей. Если же в качестве фактора используются ВВИ, то 13-летний лаг при тех же условиях вполне может оказаться значимым.

Итак, ВВИ в роли аппроксиматора агрегированного ресурса вследствие особенностей их динамики искажают результаты моделирования, а ВВП не годится для аппроксимации потребности в перевозках — по крайней мере, в том случае, когда агрегированный ресурс аппроксимирован через ВВИ.

*Гипотеза о существенности различия между экстенсивными и интенсивными факторами роста пропускной способности транспортных сетей,* то есть, по сути, о непостоянстве параметров  $a_k$  во времени, отклонена пятым вариантом модели, поскольку тренд в зависимости номера класса момента времени от номера года не обнаружен. Этот результат говорит о том, что принятая в модели классификация су-



**Рис.** Коэффициенты автокорреляции относительных отклонений ВВП и валовых инвестиций США от экспоненциального тренда

хопутных транспортных сетей адекватна и не требует дальнейшей детализации для достижения соответствия теоретической модели их развития эмпирическим данным.

*Гипотеза об изменяющемся во времени систематическом влиянии неучтенных факторов* — в том числе транспортных сетей, конкурирующих с железнодорожными и автомобильными, и изменения структуры аппроксиматора агрегированного ресурса с течением времени — отклонена тем обстоятельством, что статистически значимые тренды в остатках либо от-

сутствуют (вариант 4), либо разнонаправлены (вариант 1), либо обнаруживаются только для самых коротких рядов протяженности транспортных сетей (двух в варианте 2, одного в вариантах 3 и 5). Этот результат не гарантирует независимости динамики сухопутных транспортных сетей от указанных факторов: возможно, они, влияя на эту динамику, тесно коррелируют с агрегированным ресурсом и (или) потребностью, в связи с чем в их отсутствие детерминация модели двумя последними факторами была бы выше или ниже выявленной

существующим вариантом модели. Он лишь означает отсутствие существенных изменений этого влияния с течением времени и, следовательно, смещения оценок параметров по этой причине, которое могло бы привести к ошибочным отклонениям нулевых гипотез. Вопрос же о том, как повлияет учет конкуренции со стороны других сетей и со стороны изменения структуры ВВП на детерминацию эндогенных переменных, может получить ответ только после явного отражения этих факторов в модели. Это вопрос предстоящих исследований.

Отклонена гипотеза о том, что технологический уклад, к которому относится подвижной состав, эксплуатируемый в данный период времени на сети каждого вида, существенно влияет на динамику развития сети. Действие данного фактора должно было бы иметь следствием отнесение в пятом варианте модели длительных периодов, для которых характерно преобладание технологически однотипного подвижного состава, к одному и тому же классу моментов времени, чего не произошло.

Наконец, гипотеза о значимости длительного лага отклонена всеми вариантами эконометрической модели, кроме четвертого, результат которого мы подвергаем сомнению по причинам, изложенным выше. Таким образом, мы делаем вывод, что временной лаг между принятием решения о сооружении нового пути сообщения и вводом этого пути в строй, как правило, непродолжителен. Это означает, что сеть по преимуществу прирастает сравнительно небольшими участками, каждый из которых может быть завершен строительством в пределах одного-двух лет, то есть развитие сухопутной транспортной инфраструктуры принимает форму мегапроектов лишь как исключение. Этот результат имеет два важных последствия. Во-первых, он исключает сухопутные транспортные сети из числа вероятных генераторов больших циклов конъюнктуры, так как длительность характерного для них инвестиционного лага недостаточна для этого. Во-вторых, он укрепляет позиции представлений М. Хироока, которые не предполагают явной или скрытой периодичности инфратраекторий.

## 6. Выводы и дискуссия

Изложенные в статье основания, по которым мы предложили новую модель развития транспортных сетей, выдержали проведенную эмпирическую проверку. Исследование на данных о сухопутных транспортных сетях США за период 1871–2013 гг. показало, что развитие

этих сетей в целом происходит в согласии с предложенной моделью. Отклонены альтернативные гипотезы, которые могли бы оказаться причиной согласия эмпирической модели с данными в предположении, что теоретическая модель неверна. Поддержка предложенной модели данными означает принятие ее следствия: на длительных периодах времени краткосрочные факторы развития транспортных сетей, в том числе управляемые, закономерно компенсируют друг друга. Факторы, ускоряющие развитие сети в сравнении с моделью, увеличивают использование ресурса и степень удовлетворения потребности в транспортных услугах, отчего возрастает вероятность последующей актуализации факторов противоположной направленности.

Постоянство во времени численности населения, чьи потребности в транспортных услугах удовлетворяются километром транспортной сети, мы объясняем тем, что грузопотоки по сетям возрастают пропорционально росту объема перевозок на душу населения. Вероятно, в основе этого явления лежат закономерности развития сети: она реагирует на рост населения преимущественно ростом протяженности, обеспечивая транспортную доступность растущему числу узлов с высокой плотностью населения. Напротив, на рост грузопотоков сеть, как правило, отвечает ростом пропускной способности.

Поскольку еще в [23] была отклонена гипотеза об обусловленности эффективности преобразования ресурса в транспортную услугу первоначальным технологическим уровнем сети, а в данном исследовании — еще и технологическим уровнем подвижного состава, использовавшегося на конкретном отрезке времени, мы принимаем альтернативное объяснение выравнивания уровня данного показателя условиями конкуренции между сетями разного вида. Именно, на любом конкретном маршруте создается, как правило, путь сообщения того вида, который обеспечивает достижение нормального для всех сетей значения этого показателя в местных условиях. Однако это объяснение неполное: требует дальнейшего изучения отсутствие тенденции к возрастанию этой нормы с течением времени под влиянием технологических усовершенствований, продемонстрированное вариантом 5 и согласующееся с результатами [6, 9, 16]. По-видимому, здесь мы выходим на более фундаментальные процессы, регулирующие согласование темпов развития различных секторов экономики: ресурсы, высвобождаемые инновацией, на-

правляются на рост индивидуального и общественного потребления или поглощаются растущими транзакционными издержками, что восстанавливает прежний уровень показателя конвертации ресурса в услугу. Для будущих исследований представляет интерес разработка способов проверки этого предположения и, в случае подтверждения, детальное изучение процессов, поддерживающих данный показатель на примерно постоянном уровне.

Отсутствие эмпирического подтверждения действия длительного инвестиционного лага на развитие сухопутных транспортных сетей служит критическим результатом для различения следствий двух теоретических картин формирования больших циклов конъюнктуры. Одна картина предполагает наличие периодического закона, общего для всех процессов роста — тогда этому закону должен был бы подчиняться рост инфраструктуры. Другая, поддерживаемая М. Хироока и находящаяся в хорошем согласии с идеями К. Перес, подчиняет периодическому закону временные рамки, благоприятные для смены инфраструктур. Такая периодичность связана не с длительным инвестиционным лагом, а с характерным жизненным циклом базисных технологий. Исследование, представленное в данной статье, дает дополнительные аргументы в пользу второго подхода. При этом, однако, возникают основания не признавать инвариантом темп распространения инновации: он оказывается зависимой величиной, а освободившуюся вакансию инварианта занимает параметр конвертации ресурса в услугу. Кроме того, отклоняется интерпретация теории К. Перес, допускающая проявление действия периодических финансовых процессов в длительной динамике развития транспортных сетей.

Авторы не связывают прикладное значение полученных результатов с экстраполяцией на основе разработанных эмпирических моделей. В самом деле, решающее значение для будущей динамики транспортных сетей имеет вовсе не параметр конвертации ресурса в услугу, обладающий заманчивой устойчивостью на вековых горизонтах времени, а вероятность появления сетей принципиально новых типов. Однако на основании проведенного исследования мы вправе предположить, что упомянутый показатель будет иметь для сети нового типа примерно то же значение, что и для существующих сетей. Парадокс примененной методики заключается в том, что мы достаточно надежно установили устойчивость этого показателя во времени, так и не научившись опре-

делять его величину с приемлемой точностью. Устранение этого недостатка позволит предвидеть (довольно грубо) темпы распространения новой сети, выделяя маршруты, на которых может быть достигнуто значение данного показателя, соизмеримое с существующими сетями. В России это относится, например, к росту сети скоростных железных дорог. На той же основе можно в первом приближении сформулировать технические требования к новым транспортным технологиям. Оценка их достижимости может быть критерием выделения ресурсов на соответствующие опытно-конструкторские работы. Далее, нам представляются обещающими перспективы использования предложенной и апробированной нами теоретической модели в рамках методологии форсайта, существенный аспект которой составляет оценка достижимости и выявление возможностей достижения желаемых образов отдаленного будущего.

Предложенная теоретическая модель вносит — в отношении сухопутных транспортных сетей — вклад в отыскание уровня причинной обусловленности длительных экономических процессов, первичного по отношению к проявлениям свободы человеческой воли в экономической деятельности и заключающего эти проявления в предсказуемые границы. Эта модель, на наш взгляд, имеет важные последствия для уточнения оценки управляемости и предсказуемости подобных процессов. Вывод о том, что длительные экономические процессы не поддаются управлению, вовсе не нов: горизонты планирования долгосрочных хозяйственных программ редко превышают четверть века, а степень их реализуемости оставляет желать лучшего. Многие такие программы либо сворачиваются, либо реализуются лишь частично. Существенным представляется другой результат: отбросив фактор управления, удается отыскать ему замену — объективные факторы, которые определяют темпы долгосрочных процессов развития. Таким образом, в таких процессах целенаправленное волевое начало не тонет в хаосе непредсказуемо меняющихся случайных условий, а повинуетя действию объективных факторов согласно устойчивым закономерностям. Структурная стабильность причинно-следственных связей долгосрочной динамики сухопутных транспортных сетей в условиях технологических и институциональных перемен — вот тот удивительный результат, к которому привело проведенное исследование.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акаев А. А. Математические основы инновационно-циклической теории экономического развития Шумпетера — Кондратьева // Кондратьевские волны: аспекты и перспективы: ежегодник. — Волгоград: Учитель, 2012. — С. 314–341.
2. Багриновский К. А. Основы согласования плановых решений. — М.: Наука, 1977. — 303 с.
3. Багриновский К. А., Исаева М. К. Анализ и моделирование механизмов инвестирования в инновационное развитие // Экономика и математические методы. — 2005. — № 4. — С. 3–13.
4. Бельный В. З. Оптимизационные модели экономической динамики: понятийный аппарат; одномерные модели. — М.: Наука, 2007. — 259 с.
5. Бушанский С. П. Модели эффективного развития сети автомобильных дорог // Экономика и математические методы. — 2002. — № 4. — С. 70–77.
6. Вол М., Мартин Б. Анализ транспортных систем: пер. с англ. — М.: Транспорт, 1981. — 516 с.
7. Воронцова С. Д. Приоритетные направления развития автомобильных дорог в РФ // Проблемы современной экономики. — 2009. — № 4. — С. 357–361.
8. Глазьев С. Ю. Теория долгосрочного социально-экономического развития. — М.: ВлаДар, 1993. — 310 с.
9. Гольц Г. А. Транспорт и расселение. — М.: Наука, 1981. — 248 с.
10. Горелов Н. А., Кораблева О. Н., Синов В. В., Литун В. В. Методологический аспект исследования экономической системы в контексте формирования новой индустриализации России // Форсайт «Россия»: дизайн новой промышленной политики: материалы Санкт-Петербургского экономического конгресса (СПЭК-2015). — М.: Культурная революция, 2015. — С. 99–108.
11. Деметьев В. Е. Технологическая неоднородность производства и цикличность экономического развития // Журнал экономической теории. — 2016. — № 3. — С. 39–49.
12. Деметьев В. Е. Финансовые пузыри на длинных волнах экономического развития // Экономика и математические методы. — 2011. — № 1. — С. 47–54.
13. Исаев А. Г. Транспортная инфраструктура и экономический рост: пространственные эффекты // Пространственная экономика. — 2015. — № 3. — С. 57–73.
14. Кондратьев Н. Д. Большие циклы экономической конъюнктуры // Большие циклы экономической конъюнктуры и теория предвидения: Избранные труды. — М., 2002. — С. 341–400.
15. Литовский В. В. Теория потока и некоторые ее приложения к экономической теории и проблемам размещения производительных сил // Журнал экономической теории. — 2011. — № 2. — С. 94–104.
16. Мани Л. Транспорт, энергетика и будущее: пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — 155 с.
17. Мезоэкономика развития / под ред. Г. Б. Клейнера. — М.: Наука, 2011. — 805 с.
18. Меньшикова-Клименко Л. А. Современные трансформации экономических циклов и кризисов // Вопросы политической экономии. — 2016. — № 3. — С. 33–52.
19. Павлов Р. Н. Влияет ли процесс динамики технологических укладов на эволюцию транспортных сетей? // Молодая экономика: экономическая наука глазами молодых учёных: материалы 3-й научно-практической конференции / под ред. Р. Н. Павлова. — М.: ЦЭМИ РАН, 2017. — С. 123–132.
20. Перес К. Технологические революции и финансовый капитал. Динамика пузырей и периодов процветания. — М.: Дело, АНХ, 2011. — 232 с.
21. Позамантур Э. И., Тищенко Т. И. Оценка народнохозяйственного эффекта модернизации и развития сети автомобильных дорог России // Экономика и математические методы. — 2005. — № 1. — С. 65–79.
22. Решетова Е. М. Механизмы финансирования дорожной инфраструктуры в России и в мире. История развития, современное состояние, лучшие мировые практики. — М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2015. — 551 с.
23. Светлов Н. М. Эконометрический анализ развития сухопутных транспортных сетей // Экономика и математические методы. — 2016. — № 2. — С. 60–74.
24. Хайек Ф. Конкуренция как процедура открытия // Мировая экономика и международные отношения. — 1989. — № 12. — С. 6–14.
25. Шумпетер Й. А. Теория экономического развития. — М.: Директмедиа Паблишинг, 2008. — 435 с.
26. Amsteus M. Managerial foresight: concept and measurement // Foresight: the journal for future studies, strategic thinking and policy. — 2008. — Vol. 10. — No.1. — P. 53–66.
27. Arman S. A., Manesh A. S., Izady A. T. Design of a CGE model to evaluate investment in transport infrastructures: an application for Iran // Asian Economic and Financial Review. — 2015. — No. 5(3). — P. 532–545.
28. Aschauer D. Is public Expenditure Productive? // Journal of monetary economics. — 1989. — Vol. 23. — P. 177–200.
29. BEA Download NIPA Tables / US Department of Commerce: Bureau of Economic Analysis. 2016 [Electronic resource]. URL: <http://bea.gov/national/nipaweb/DownSS2.asp> (дата обращения: 29.01.2015 г.).
30. Boarnet M. G. Highway and Economic productivity: Interpreting Recent Evidence: Working paper UCTC No.291 / The University of California Transportation Center. — Berkeley, CA 94720. 1995.
31. Cohen I., Freiling T., Robinson E. The economic impact and financing of infrastructure spending. Williamsburg, VA, USA, 2012 [Electronic resource]. URL: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1138658> (дата обращения: 12.11.2016 г.).
32. Fair R. C., Jaffee D. M. Methods of Estimation for Markets in Disequilibrium // Econometrica. — 1972. — Vol. 40. — P. 497–514.

33. *Fogel R. W.* Railroads and American Economic Growth: Essays in Econometric History. — Baltimore: Johns Hopkins Press, 1964. — 296 p.
34. *Hirooka M.* Nonlinear dynamism of innovation and business cycles // Entrepreneurship, the new economy and public policy. — Berlin, Germany: Springer, 2005. — P. 289–316.
35. *Lucas R.* Econometric Policy Evaluation: A Critique // Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy. — 1976. — No. 1. — P. 19–46.
36. *Lucas R.* On the mechanics of economic development // Journal of Monetary Economics. — 1988. — Vol. 22. — Issue 1. — P. 3–42.
37. *Ng Y.-K.* Meso-economics: Introduction and application // Economic Highlights. — 2002. — Mar. 4. — No. 378.
38. *Solow R.* A contribution to the theory of economic growth // The Quarterly Journal of Economics. — 1956. — No. 1. — P. 65–94.
39. *Wattenberg B. J.* The Statistical History of the United States from Colonial Times to the Present. — Basic Book Inc. Publ, 1976. — 1235 p.
40. *Xie F., Levinson D.* Modeling the Growth of Transportation Networks: A Comprehensive Review // Networks and Spatial Economics. — 2009. — No. 9. — P. 291–307.