

## Влияние модернизации сети федеральных автодорог на рост отдельных макропоказателей регионов<sup>1)</sup>

Петроневич М.В.

Проблематика влияния развития сети федеральных автодорог на экономический рост является достаточно молодой, что обуславливает существование определенного информационного вакуума в отечественной науке. В зарубежных работах применялись разные подходы к анализу вопроса, но по ряду причин эти методы не могут быть применены к анализу российской действительности. В работе предлагается новый межрегиональный подход.

Этот подход базируется на анализе интенсивности межрегионального товарооборота, в результате чего был предложен новый показатель транспортной доступности, который значимо коррелирует с приростами основных макроэкономических показателей (ВРП, товарооборот, инвестиции) за последнее время. С использованием этого показателя в работе была оценена малоразмерная региональная экономическая модель.

Модель подтверждает значительное влияние развития автодорог на экономический рост в среднесрочном периоде. Модельные расчеты свидетельствуют о том, что модернизация дорог может обеспечить прироста 10,3 п.п. *дополнительного*<sup>2)</sup> прироста ВВП в случае сохранения текущего уровня конкурентоспособности отечественных товаров, что несколько ниже результатов американских исследователей по экономике США. В случае улучшения конкурентоспособности до уровня зарубежных товаров дополнительный прирост может составить до 14%.

Расчеты не опровергают гипотезу, что модернизация автодорог будет усиливать дифференциацию между центральными и восточносибирскими регионами страны.

---

<sup>1)</sup> В статье использованы материалы проекта «Оценка влияния развития федеральных автомобильных дорог на экономическое развитие Российской Федерации» (научный руководитель М.В. Петроневич), выполненного научном фондом Центр развития для НИПИ территориального развития и транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербург в рамках проекта «Оценка влияния автомобильных дорог на социально-экономическое развитие Российской Федерации» для Федерального дорожного агентства. Автор благодарит за участие в обсуждении работы и ценные замечания Акиндинову Н.В. (ЦР), Воронцову С.Д. (НИПИ ТРИТИ), Поспелова И.Г., Ершова Э.Б., Лукина М.Ю., Серегину С.Ф., Бессонова В.А. (все Государственного университета – Высшей школы экономики).

<sup>2)</sup> К экзогенному росту, который не зависит от реализации подпрограммы «Автомобильные дороги» федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы Российской Федерации (2010–2015 годы)» по строительству и реконструкции сети федеральных дорог.

**Петроневич М.В.** – преподаватель Государственного университета – Высшей школы экономики, ведущий эксперт фонда экономических исследований Центра развития.

Статья поступила в Редакцию в декабре 2008 г.

**Ключевые слова:** региональное развитие, показатель транспортной доступности, межрегиональный товароборот, автодороги, транспорт, экономический рост, региональная модель.

### Введение

В настоящее время из-за несоответствия уровня развития дорожной сети спросу на автомобильные перевозки экономика и население страны несут значительные потери. Россия отстает даже от сопоставимых по географическим показателям стран, таких как Канада, по показателям подвижности населения, скорости доставки грузов, плотности дорожной сети.

Сохраняется региональная неравномерность в развитии дорожной сети, что сдерживает социально-экономическое развитие субъектов Российской Федерации. Отсутствие связей северных регионов России с опорной сетью дорог общего пользования обуславливает дополнительные затраты на обеспечение северного завоза. Более 40% территории России, на которой проживает 1,3% населения, не имеет выхода на опорную сеть автомобильных дорог. Около трети от общего количества сельских населенных пунктов не имеют круглогодичной связи по дорогам с твердым покрытием. Все это является одной из причин сокращения числа населенных пунктов в России.

Нехватка дорог приводит к снижению конкурентоспособности отечественных производителей, высокой доле транспортной составляющей в себестоимости продукции, сдерживанию роста производительности труда, межрегионального товарооборота и объемов инвестиций и обуславливает необходимость строительства автодорог. В условиях большой региональной дифференциации эффективность модернизации и строительства новых федеральных дорог зависит не только от объема работ, но и от того, в каком регионе эти работы были произведены. Это обосновывает потребность в развитии математических методов комплексной оценки влияния автомобильных дорог на социально-экономическое развитие Российской Федерации.

Данная проблематика является достаточно молодой, что обуславливает существование определенного информационного вакуума в отечественной науке. Это можно объяснить тем, что в большинстве развитых стран строительство дорог рассматривалось в контексте ликвидации последствий экономического роста – т.е. магистрали строились, когда пропускной способности старых не хватало. Как правило, строительство дороги происходило между уже развитыми к моменту строительства регионами, развитие которых в существенной степени зависело от других факторов. Насколько мне известно, только в трех развитых странах – США, Германии и Китае вопрос о развитии автодорог рассматривался в контексте стимулирования роста и развития регионов. В США впервые этот вопрос был поднят при развитии сети федеральных дорог (interstates) и региона Апалачей в 1955–1965 гг., в Германии – при возобновлении строительства сети автобанов (autobahn) в 1950-х гг., в Китае – в настоящее время.

Основная задача работы состояла в том, чтобы оценить влияние строительства и реконструкции сети федеральных дорог на отдельные показатели экономического роста в стране: а именно ВРП, товароборот и инвестиции, а также на изменение региональной дифференциации. Для решения данной задачи в конкретном случае были предложены:

а) показатели транспортных связей, которые характеризуют баланс экономических выгод/потерь для данного региона в зависимости от качества и конфигурации дорог. Эти показатели базируются на анализе межрегионального товарооборота потребительских товаров между регионами Российской Федерации, имеющими выход на сеть федеральных дорог, и представляют собой индексы, положительно зависящие от размеров регионов-соседей, и отрицательно – от времени в дороге между ними;

б) малоразмерная региональная макро модель, описывающая взаимосвязь между изменениями данных показателей (показателей транспортной доступности и инвестиционной привлекательности) и макропоказателей каждого из регионов: товарооборота, инвестиций и ВРП;

в) показатели транспортных связей, региональная макро модель и блок перерасчета средней скорости движения между регионами<sup>3)</sup> образуют систему уравнений, разрешаемую относительно показателей ВРП, товарооборота и инвестиций в зависимости от изменения пропускной способности и конфигурации сети федеральных автодорог.

Применение межрегионального подхода к решению вышеуказанной задачи с использованием предлагаемых показателей транспортных связей является основным новшеством предлагаемой работы.

Отметим, что межрегиональный подход не является единственным способом решения этой задачи. В аналогичных работах, касающихся исследования влияния на экономический рост развития системы федеральных дорог в США (Interstate Highway System), применялись абсолютно разные подходы: предпринимались попытки измерить прямое влияние на такие показатели, как время в поездке и транспортные расходы<sup>4)</sup>, исследовалось влияние на образование заторов на федеральных дорогах<sup>5)</sup>, стимулирование роста в слаборазвитых регионах [17], некоторые исследователи пытались оценить влияние инвестиций в развитие федеральных дорог на масштабы экономики, темпы ее роста и роста производительности в отраслевом разрезе [15]. Тем не менее большинство зарубежных подходов к оценке эффективности строительства дорог, изложенных в работах американских исследователей, не могут быть сколь-либо существенным образом адаптированы к российской экономике по ряду существенных причин.

Во-первых, российская экономика на протяжении последних 20 лет функционировала в различных экономических режимах. Говорить об однородности механизмов спроса на инфраструктурный капитал или его влияния на развитие экономики в подобных условиях не представляется возможным.

Во-вторых, использование отраслевых подходов невозможно в силу отсутствия длинного ретроспективного ряда в экономической классификации ОКВЭД и отсутствия новых данных в системе ОКОНХ.

В-третьих, не представлялось возможным найти данные (по крайней мере, в открытом доступе) о качестве, протяженности и интенсивности движения на дорогах в прошлом – возможно, их нет.

<sup>3)</sup> В зависимости от загруженности автодороги, не является предметом исследования данной статьи, см. Приложение 2.

<sup>4)</sup> FHWA Office of Freight Management and Operations, Public Policy Impacts on Freight Productivity, 2006.

<sup>5)</sup> NCHRP Report 463, Economic Implications of Congestion, 2001.

Кроме того, все изученные подходы в статьях американских исследователей фактически являются историческим *ex post*-анализом конкретной «схемы» магистральных дорог, реализованной в США, и ни в одной из прочитанных работ не ставился вопрос о том, что было бы, будь план автомобильных магистральных дорог иным; соответственно в моделях не рассматривается местоположение дороги как непосредственный фактор. В этом случае моделируемый эффект от строительства дорог является инвариантным относительно местоположения дороги, что неверно ввиду существенной территориальной дифференциации Российской Федерации как в экономическом плане, так и с точки зрения плотности размещения крупных городов и проживания населения.

Региональный подход, использующийся в модели, позволяет разрешать совокупность проблем, связанных с анализом. В нем естественным образом учитывается топология регионов, что дает возможность произвести анализ «наоборот»: влияния развития регионов на загрузку магистральных дорог. Кроме того, это облегчает эконометрический анализ, так как региональная модель (как и макроэкономическая) предполагает поиск устойчивых взаимосвязей между региональными макропоказателями и показателями транспортной инфраструктуры: в этом случае можно не придерживаться микроэкономических основ производственных функций или функций издержек, что снижает требования к виду спецификации системы уравнений и, соответственно, к методам оценки коэффициентов. При этом исключается необходимость использования специфичных для каждой отрасли аспектов производства: различий в капиталоемкости, технологиях и т.д. Кроме того, региональный анализ позволяет решать проблему, связанную с нехваткой данных, поскольку регионы при этом можно трактовать как более или менее однородные<sup>6)</sup> объекты для анализа. Таким образом, общее количество используемых наблюдений автоматически увеличивается в 70–80 раз.

Данная статья базируется на работе [1], в которой подробно изложен вывод одного из показателей (транспортной доступности *iRET*), включая полный анализ первичных данных, сопоставление с эмпирическими региональными оценками американских исследователей и др.

Статья организована следующим образом: в первой части кратко описаны соображения и предпосылки, стоящие за показателями транспортных связей и введен показатель инвестиционной привлекательности, во второй части предложена региональная макро модель, в заключительной части изложены методология и результаты расчетов.

### Описание и анализ данных

Статистика по транспорту и перевозкам в России достаточно ограничена: так, отдельно существует статистика по объему региональных автомобильных перевозок, выраженных в тонно-километрах, без указания пункта прибытия, и отдельно существуют матрицы ввоза-вывоза некоторых товаров и товарных групп, выраженные в рублях или в физических единицах, но без подразделения на виды транспорта. Поэтому дальнейший анализ требует введения упрощающих гипотез.

Во-первых, при анализе матриц ввоза-вывоза продукции в качестве группы товаров, наиболее подходящих для перевозок автомобильным транспортом, была

---

<sup>6)</sup> С точки зрения оценок коэффициентов.

выбрана группа потребительских товаров. Потребительские товары не являются полностью репрезентативной выборкой: на автомобильном транспорте могут перевозиться инвестиционные товары и товары промежуточного спроса, часть потребительских товаров может доставляться морским путем («северный завоз») либо железной дорогой. Тем не менее мы исходим из того, что большая часть этих перевозок осуществляется именно автомобильным транспортом.

Во-вторых, не представляется возможным определить, насколько объемы перевозок потребительских товаров (выраженные в рублях) соответствуют объему автомобильных грузоперевозок, которые выражены в тонно-километрах. Поэтому в качестве упрощающей предпосылки вводится предположение о том, что грузоемкость рубля перевозимой автомобильным транспортом продукции постоянна и не зависит от вида продукции.

В-третьих, мы будем предполагать, что большая часть национального роста таких макропоказателей, как ВВП, торговля, обрабатывающая промышленность, доходы населения, образуется вместе с развитием крупных региональных центров и мегаполисов. В рамках настоящей работы предполагается, что экономические показатели каждого региона формируются в «точках» – центрах<sup>7)</sup> регионов, поэтому расстояние между регионами в данной работе задается расстоянием между их центрами. Влияние остальных населенных пунктов ограничено их размерами относительно национальной экономики и темпами экономического роста. Частично вклад развития малых городов можно учесть через размер придорожной инфраструктуры. Учитывая, что размер этого вклада слабо зависит от топологии дорог, он может быть примерно рассчитан на основании изменения обобщенных (средних) характеристик: пассажиро- и грузопотоков автодороги, ее протяженности и других факторов. Решение этой задачи мы оставляем за пределами данной статьи.

Исходные данные представляют собой таблицы<sup>8)</sup>, размерностью 89×90, движения потребительских товаров всеми видами транспорта. Для иллюстративных целей были сконструированы синтетические таблицы (табл. 1) в разрезе федеральных округов, которые дают представление о движении потребительских товаров. Весь объем перевозимых товаров можно разделить на следующие составляющие:

- перевозки внутри одного региона (выделены в отдельном столбце);
- перевозки (экспорт, вывоз) между различными регионами одного федерального округа (представлены диагональными элементами);
- перевозки (экспорт, вывоз) между различными регионами разных федеральных округов (представлены недиагональными элементами);
- экспорт в другие страны мира (отдельный столбец).

Условные сокращения и состав федеральных округов представлены в Приложении 1.

На структуру межрегиональных перевозок влияют региональные структуры производства и межрегионального распределения доходов, а также расстояние между регионами. Табл. 1 прямо указывает на то, что доля региона-потребителя в общем объеме вывоза потребительских товаров из региона-производителя снижается с увеличением расстояния между ними. Так, доля вывоза продукции в Сибирский фе-

<sup>7)</sup> Столицы республик в составе Российской Федерации или центры краев, областей, автономной области и автономных округов.

<sup>8)</sup> Росстат, ф. 1. «вывоз», ОКП 9600008837 «Потребительские товары, всего».

деральный округ для ЦФО, ЮФО выше, чем в Уральский федеральный округ, что якобы противоречит гипотезе. Однако в данном случае результат объясняется еще и тем фактом, что товароборот в СФО в 2 раза больше, чем в УФО.

Таблица 1.

**Структура вывоза потребительских товаров  
всеми видами транспорта в экономике России в 2006 г.**

Федераль- ные округа	Вывезено продукции									
	Всего	внутри- регио- нальные перевозки	в том числе:							экспорт в дру- гие страны
			экспорт (ввоз) в федеральные округа							
			ЦФО	СЗФО	ЮФО	ПВФО	УФО	СФО	ДВФО	
ЦФО	100,0	38,1	36,2	5,8	3,8	4,8	2,3	4,0	1,1	3,9
СЗФО	100,0	28,6	38,0	11,7	2,5	3,5	2,7	2,4	0,9	9,7
ЮФО	100,0	42,9	26,9	1,8	14,0	4,5	1,8	3,5	0,4	4,2
ПВФО	100,0	37,5	20,9	5,1	6,2	13,8	5,7	3,2	0,4	7,1
УФО	100,0	62,7	5,7	2,5	1,3	6,2	11,4	6,2	0,9	3,1
СФО	100,0	50,1	2,6	1,7	0,7	1,5	7,8	24,2	3,5	7,9
ДВФО	100,0	51,1	3,4	0,2	0,1	0,2	0,1	2,4	17,7	24,9
Всего	100,0	39,3	26,9	5,6	4,6	6,3	3,9	5,3	1,6	6,6

Источники: Росстат (ф. 1. «вывоз», ОКП 9600008837 «Потребительские товары, всего»), расчеты автора.

Тем не менее, если рассмотреть, к примеру, экспорт в регионы Уральского федерального округа, то можно отметить, что Сибирский и Поволжский федеральные округа экспортируют в этот регион 7,8 и 5,7% продукции соответственно. Доля УФО в вывозе продукции из остальных регионов значительно меньше и убывает пропорционально увеличению расстояния между округами. Подобное «сравнение по столбцам» не зависит от масштабов округа-потребителя<sup>9)</sup> и, при схожем анализе других регионов, подтверждает нашу гипотезу о том, что с увеличением расстояния межрегиональный оборот сокращается.

Поскольку модернизация федеральных дорог, прежде всего, способствует «сближению» регионов, то можно ожидать интенсификации межрегиональной торговли. Тогда положительная зависимость межрегионального товарооборота должна наблюдаться от фактической пропускной способности магистрали, ведущей к региону-соседу, а отрицательная – от времени в пути до него. Поскольку фактическая загрузка магистрали и фактическое время в пути до него являются обратно зависимыми величинами (при постоянстве пропускной мощности дороги – а это так в каждый фиксированный момент времени), то в качестве опорного из этих двух показателей было выбрано время в пути<sup>10)</sup>.

<sup>9)</sup> Хотя зависит от размера округа-производителя.

<sup>10)</sup> Действительно, решение о том, куда возить потребительские товары, где располагать производство или соорудить склад, при прочих равных условиях, зависит от времени

Для анализа этой зависимости был построен показатель  $\hat{x}(k)$ , характеризующий долю ввоза продукции в регион, время в пути до которого находится в пределах от  $k$  до  $k + 1$  часов, в общем объеме розничного товарооборота региона-отправителя, включая внутрирегиональные объемы. Для этого были использованы данные Росстата по объемам межрегиональных перевозок потребительских товаров и, одновременно, данные НИПИ ТРИТИ<sup>11)</sup> по загруженности и средние скорости на автодорогах. Зная расстояние между любыми двумя регионами и среднюю скорость движения между ними, можно отыскать время в пути между этими пунктами. Для каждого региона  $i, j = 1..77$ <sup>12)</sup>, имеющего выход на опорную сеть федеральных автодорог, была построена таблица, отражавшая соответствие доли ввоза  $x_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i}$  в регион  $j$  в общем объеме перевозок потребительской продукции из региона  $i$  и времени в пути  $t_{ij}$  между ними (всего 2926 пар регионов). Далее было произведено усреднение всех значений  $x_{ij}$  в рамках каждого временного интервала  $T_k = (k; k + 1)$ , т.е.

$$(1) \quad \hat{x}(k) = \sum_{t_{ij} \in T_k} \frac{x_{ij}}{n_k},$$

где  $n_k$  – количество пар регионов, в которых время в пути между регионами  $t_{ij}$  попадало во временной интервал  $T_k$ . Последовательность полученных значений  $\hat{x}(k)$  приведена на рис. 1 (а, б) (рис. 1б является масштабированной версией рис. 1а в

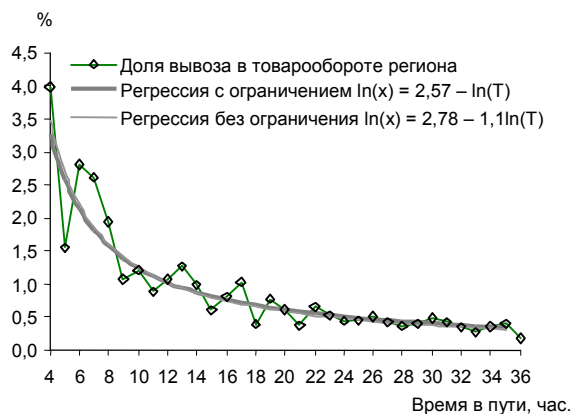
в пути между местом потребления товара и производства, которое является более универсальным показателем, так как имплицитно учитывает в себе не только технические характеристики дороги, ее пропускную способность и уровень ее текущей загрузки, но и такие слабо поддающиеся анализу факторы, как наличие светофоров, наличие и протяженность действия ограничивающих скорость движения или запрещающих обгон знаков, текущее качество покрытия, наличие постов ГИБДД и т.д.

<sup>11)</sup> Научно-исследовательский проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербурга.

<sup>12)</sup> Уточним, что в данной работе не рассматриваются регионы, которые не имеют выхода на опорную сеть федеральных дорог. К таким регионам были отнесены: Ненецкий автономный округ, Калининградская область (так как она является эксклавом Российской Федерации), Коми-Пермяцкий автономный округ (входит в Пермский край), Ямало-Ненецкий автономный округ, Таймырский (Долгано-Ненецкий) и Эвенкийский автономные округа (входят в состав Красноярского края), Камчатская область, Корякский автономный округ, Сахалинская область и Чукотский национальный округ. Города Москва и Санкт-Петербург рассматриваются в объединении с регионами Московской и Ленинградской областей, поскольку они, во-первых, являются анклавами этих областей, а во-вторых, тесно связаны с ними с точки зрения рынков факторов производства и потребления – многие жители Ленинградской и Московской областей имеют постоянную работу в соответствующих городах и регулярно осуществляют там свои расходы, жители Москвы и С.-Петербурга часто обладают загородным жильем и соответственно тратят в этих областях часть своего дохода, а также делают регулярные трансферты родственникам (родителям), проживающим в этих областях.

окрестности  $k = [4; 24]$ ). Заметим, что использование средневзвешенных по объемам товарооборота значений привело бы к сильному искажению зависимости (из-за крупных регионов, таких как г. Москва и Московская область, Краснодарский край, г. Санкт-Петербург и др.).

а)



б)



**Рис. 1.** Доля вывоза потребительских товаров  $\hat{x}(k)$  в другие регионы (в процентах от общих перевозок потребительских товаров, включая внутрирегиональные), в зависимости от времени в пути между административными центрами регионов (в часах  $T_k$ ), на интервалах  $[4; 36]$  и  $[2; \infty]$

Источник: данные Росстата, НИПИ ТРИТИ, расчеты автора.

Предложенную зависимость можно условно разделить на несколько частей:

- $k = [2; 3]$  — нерегулярная зависимость:  $\hat{x}(k)$  равно приблизительно 5 и 12% для двух и трех часов соответственно. Подобная зависимость может быть вызвана



крайне малым объемом наблюдений в данном интервале (порядка 1% всей выборки). Для дальнейшего анализа мы положим, что  $\hat{x}(k) = 10\%$ , при  $k \leq 3$ , где 10% – среднее значение показателя по данному интервалу;

- $k = [4; 35]$  – выраженная обратная экспоненциальная зависимость, требует регрессионного анализа (см. рис. 1а), в данном интервале расположено порядка 40% всех пар регионов;

- $k = [36; \infty]$  – резкое, двукратное, снижение доли перевозок (с 0,35 до 0,18 п.п.) наблюдается при преодолении рубежа времени в 36 часов, и еще раз (с 0,18 до 0,07 п.п.) снижение происходит в том случае, если регионы разделяет более трех суток пути. Характерное поведение может быть вызвано технологическими ограничениями на транспортировку товаров (срок годности и т.д.)

Эконометрический анализ выявленной последовательности на  $k = [4; 35]$  позволил не отвергнуть следующую зависимость: доля экспорта потребительских товаров в другие регионы строго обратно пропорциональна времени в пути. Так, предполагаемая зависимость  $\hat{x}(T_k)$  имеет вид

$$(2) \quad \hat{x}(k) = a + b \ln(T_k) + \varepsilon_k, \text{ где } \varepsilon_k = N(0, \sigma_\varepsilon^2).$$

Оцененное эконометрическое уравнение данной зависимости имеет вид

$$(3) \quad \ln(x) = 2,78 - 1,107 \ln(T) \\ (0,311)(0,121),$$

где 0,311, 0,121 – показатели стандартного отклонения оцениваемых коэффициентов.

Гипотеза о равенстве  $H_0: b = -1$  против  $H_1: b \neq -1$  не может быть отвергнута на 95-процентном уровне доверительной вероятности. Соответствующее значение p-Value равно 0,38. Результирующее уравнение, отвечающее основной гипотезе, выглядит как

$$(3a) \quad \ln(x) = 2,57 - \ln(T).$$

Функция  $\hat{x}(k)$  выглядит следующим образом:

$$(4) \quad \hat{x}(k) = \begin{cases} 0,1, & \text{при } k \leq 3, \\ \frac{0,15}{k} & \text{при } k \in (3; 36), \\ 0,18 & \text{при } k \in [36; 72), \\ 0,07 & \text{при } k \geq 72. \end{cases}$$

Таким образом, если на регионы, находящиеся в четырех часах движения от данного региона, в среднем приходится до 4% всего объема его вывоза; то на регионы, находящиеся в восьми часах пути от него, будет приходиться уже немного менее 2% и т.д. Заметим, что сумма  $\hat{x}(k)$  всем  $k = [2; \infty]$  дает значение 61, что, в целом, совпадает с долей вывоза продукции в другие регионы в среднем по Российской Федерации.

Данная зависимость используется для построения интегрального показателя, характеризующего привлекательность региона с точки зрения показателя товарооборота. Основными характеристиками интегрального показателя должны быть следующие:

- а) положительная зависимость от размера соседних регионов – так, чем богаче регион-сосед, тем значение соответствующего показателя должно быть выше;
- б) однородность показателя первой степени по размеру регионов. Эта предпосылка необходима по двум причинам: во-первых, многие процессы в экономике (особенно макроэкономические) обладают постоянством масштаба (т.е. однородные первой степени); во-вторых, количественная оценка «эффекта масштаба» затруднительна и имела бы недостаточное обоснование применительно к конструируемому показателю;
- в) отрицательная зависимость от времени в пути между регионами.

В общем виде предлагаемый вид показателя можно выразить следующим образом:

$$(5) \quad iRET_i = \sum_{j=1}^{i-1} RET_j g(T_{ij}) + \sum_{j=i+1}^N RET_j g(T_{ij}),$$

где  $iRET_i$  – значение показателя транспортной доступности, рассчитанного на основе показателя товарооборота, для региона;  $RET_j$  – размер товарооборота для региона  $j$ ;  $g(T_{ij})$  – некоторая нестрого убывающая функция, характеризующая убывание влияния региона по мере возрастания времени в пути по автомобильной дороге между регионами  $i$  и  $j$ .

Соотношение результирующих показателей  $iRET_i$  между различными регионами во многом зависит от конкретного выбора вида функции  $g(T)$ . В нашем конкретном случае мы будем использовать  $g(T) = x(T)$ , см. (4). Так, произведение  $RET_j x(T_{ij})$  представляет собой приближение объема вывоза продукции из региона  $j$  в регион  $i$ , а сумма данного показателя по  $j$  – приближение суммарного потребления товаров регионом  $i$ . Таким образом, приводим конкретный вид используемого интегрального показателя для  $T_{ij} \in [4; 35]$ :

$$(6) \quad iRET_i = \sum_{j=1}^{i-1} \frac{RET_j}{T_{ij}} + \sum_{j=i+1}^N \frac{RET_j}{T_{ij}} \quad \text{при } T_{ij} \in [4; 35].$$

Размерность полученного показателя в данном случае имеет размерность руб./ч.

Таким образом, предложенный показатель  $iRET_i$  монотонно положителен по значениям  $RET_j$ , нестрого убывает по показателям  $T_{ij}$  в силу свойств функции  $g(T)$ , а кроме того, является однородным первой степени по  $RET$ .

Значения приведенных индексов были просчитаны на основе данных НИПИ ТРИТИ (по расстоянию между регионами и средней скорости на дороге), а также по региональным данным субъектов Российской Федерации, опубликованным Росстатом за 2005 г. Этот год был выбран потому, что по нему имеется полная информация относительно показателей товарооборота, инвестиций и ВРП и загрузки автодорог.

Данная зависимость согласуется с выводами американских экономистов, в частности [4, 5, 17]. Согласно этим исследованиям, наиболее основательный, продол-

жительный и благоприятный эффект от строительства дорог на совокупный доход наблюдается в местностях, прилегающих к мегаполисам. Облегчая городским жителям доступ к пригородным территориям, дорога способствует децентрализации жилых мест и рассредоточению деловой активности. В этих районах наблюдается значительный рост населения – в основном, за счет притока мигрантов – и, как следствие, лавинообразный положительный эффект в обрабатывающей промышленности, торговле, строительстве и сфере коммунальных услуг, однако, как правило, на более поздних стадиях функционирования дороги (см. [5, 17]). Любопытно также проследить за тем, что в крупных мегаполисах рост заработной платы, как правило, опережает рост доходов жителей мегаполиса, что свидетельствует о росте трансфертных платежей от мегаполиса к его окружению. С развитием автодорог загородные резиденции становятся более привлекательными, что обуславливает переток жителей из мегаполиса на окраины.

Тем не менее необходимо рассмотреть транспортную доступность не только с общепринятой точки зрения межрегионального движения товаров или населения, но и с точки зрения *инвестиций*. Так, улучшение транспортной доступности и рост числа мигрантов приводят к городской и торговой застройке большой площади пригородных угодий. Большой масштаб данный процесс может принять в России, так как помимо роста непосредственно городских территорий происходит интенсивная застройка близлежащих земель дачами и загородными домами. В западных странах культура владения одновременно городской и ближней загородной резиденциями не так распространена. Отчасти это объясняется тем, что транспортная инфраструктура позволяет в разумное время (2–3 часа) добраться до достаточно удаленных от мегаполиса (200–300 км) мест, и поэтому многие предпочитают владеть дальней загородной резиденцией для отдыха и ближней загородной или городской для проживания в рабочие дни. По причине урбанизации производственных территорий под строительство офисов и жилой застройки бизнес также склонен перемещать объекты обрабатывающей промышленности и складские помещения в соседние регионы и прилегающие территории, так называемую зону спилловера<sup>13)</sup>. Так, например, области, которые граничат сразу с несколькими активно развивающимися крупными регионами, могут испытать существенный приток инвестиций сразу со стороны многих из них (особенно при наличии хорошей, в том числе транспортной, инфраструктуры), вслед за чем в этих областях может последовать быстрый экономический подъем.

Поскольку не существует данных по межрегиональному движению инвестиций, то мы будем предполагать, что движение инвестиций осуществляется в направлении регионов – потребителей товаров. Таким образом, для целей настоящего исследования показатель транспортного положения регионов  $iRET_i$  был дополнен показателем привлекательности инвестиции в основной капитал  $iINV_i$ . Соответствующие показатели имеют вид

$$(7) \quad \begin{aligned} iRET_i &= \sum_{j=1}^{i-1} RET_j x(T_{ij}) + \sum_{j=i+1}^N RET_j x(T_{ij}); \\ iINV_i &= \sum_{j=1}^{i-1} INV_j x(T_{ij}) + \sum_{j=i+1}^N INV_j x(T_{ij}). \end{aligned}$$

<sup>13)</sup> От англ. spillover – перелив, избыток.

Конечно, привлекательность инвестиций характеризуется в том числе многими другими факторами, не только транспортным местоположением, но отметим, что влияние данного показателя инвестиционной привлекательности  $iINV_i$  на объем инвестиций значимо (см. далее). Поэтому пусть показатель  $iINV_i$  будет отражать инвестиционную привлекательность региона с точки зрения вовлечения региона в сеть федеральной дорожной инфраструктуры. Расчеты показателя  $iINV_i$  и  $iGDP_i$  выполнены для базового 2005 г. Результаты расчетов представлены в Приложении 1.

### Региональная макро модель

Построение региональной макро модели является необходимым в контексте данного исследования как функции, ставящей в соответствие изменению показателей транспортной доступности и инвестиционной привлекательности изменение региональных макропоказателей. Наиболее логичным и простым вариантом решения данного вопроса была бы модификация соответствующих региональных уравнений по динамике товарооборота и инвестиций в составе существующих макромоделей. Однако соответствующих<sup>14)</sup> региональных макромоделей нет, а число научно-исследовательских работ, посвященных межрегиональному прогнозированию, как и среднесрочных количественных прогнозов, крайне незначительно. По этим причинам автор предлагает в данной работе малоразмерную версию региональной макро модели, которая не претендует на полноту построения ввиду существенных ограничений и на объем используемых данных, и на методы решения поставленной задачи.

Предлагаемая макро модель *должна* являться малоразмерной. Любые дополнительные показатели и параметры, использованные в модели, потребуют в отношении себя введения каких бы то ни было гипотез либо дополнительных уравнений относительно их динамики во временном и региональном разрезе. Эти гипотезы/уравнения в отношении дополнительных показателей и переменных могут служить завуалированными источниками погрешностей, что, в общем случае, затрудняет идентификацию источника ошибки и коррекцию. Поэтому модель на начальном этапе *должна* быть как можно более простой.

В соответствии с вышесказанным все макропоказатели рассмотренной ниже структурной модели региональных экономик используются в сопоставимых ценах 2005 г. Данная предпосылка является очень сильной, учитывая тот факт, что рассматриваемая модель используется для проведения расчетов на длительную перспективу (на время модернизации дорог и далее), когда вероятно существенное изменение структуры цен как внутри регионов, так и между регионами. Тем не менее прогнозирование динамики дефляторов методами векторной панельной авторегрессии<sup>15)</sup> в условиях отсутствия экзогенных переменных<sup>16)</sup> может дать еще большие погрешности на данном интервале.

<sup>14)</sup> Единственная макроэкономическая межотраслевая региональная модель, с которой знаком автор статьи, разрабатывается в ИНП РАН под руководством Узякова М.Н. Тем не менее она обладает рядом свойств, которые затрудняют приложение к ней данного расширения.

<sup>15)</sup> Даже с использованием панельных коинтеграций.

<sup>16)</sup> По причине дефицита количественных среднесрочных региональных прогнозов.

Настоящая модель основывается на счете ВРП методом конечного использования, также известного как ВВП по расходам, согласно которому

$$(8) \quad GRP_{i,t} = Ex_{i,t} + (C_{i,t} + I_{i,t}) + G_{i,t} - Im_{i,t},$$

где  $G$  – объем государственных расходов, включая социальные услуги;  $(C+I)$  – объем конечных расходов домохозяйств и валового накопления основного капитала;  $GRP$  – объем ВРП;  $Ex-Im$  – чистый экспорт;  $i$  – региональный индекс;  $t$  – индекс времени. Динамикой запасов и конечных расходов некоммерческих организаций пренебрегаем.

У региональной версии этого счета есть свои особенности. Так, в соответствии со статистикой Росстата, главным экспортером нефти в стране является Москва, которая ее даже не добывает. Такая ситуация обусловлена статистическими особенностями учета внешнеэкономической деятельности, когда внешнеторговые операции в региональном разрезе, согласно методологии Росстата, регистрируются не в регионе-производителе/потребителе товара, а в регионе-плательщике/получателе денежных средств. В этих условиях получить адекватную информацию по объемам и темпам роста экспорта/импорта в регионах сложно, поэтому мы предполагаем, что динамика экспорта не влияет на темпы роста ВРП. То есть темпы роста экспорта по предположению равны темпам роста ВРП.

Подобную гипотезу мы вводим в отношении и динамики государственных расходов в отдельно взятом регионе, т.е. предполагаем, что их размер пропорционален объему ВРП региона, таким образом,

$$(9) \quad g_{EX_{i,t}} = g_{G_{i,t}} = g_{GRP_{i,t}},$$

где  $g_*$  – оператор темпов роста, значение которого выражено в долях.

Ввести подобную гипотезу о тождестве темпов роста импорта темпам роста ВРП (или ВВП на макроуровне) не является правомерным в силу исторически меньшей конкурентоспособности отечественных товаров по отношению к импортируемым по широкому спектру товаров конечного спроса, что проявляется в устойчиво опережающих темпах внутреннего спроса, темпах роста импорта за исключением кризисных и ближайших посткризисных лет. Поэтому будем предполагать, что динамика внутреннего спроса на отечественные товары определяется динамикой внутреннего спроса с некоторой понижающей эластичностью  $\delta$ , где

$$(10) \quad C_{i,t} + I_{i,t} - Im_{i,t} = A_i (C_{i,t} + I_{i,t})^\delta \quad \text{или}$$

$$(10a) \quad g_{C_{i,t} + I_{i,t} - Im_{i,t}} = (g_{C_{i,t} + I_{i,t}})^\delta.$$

При этом  $\delta$  будет предполагаться постоянной как по времени, так и по регионам, ибо вычисление региональных значений  $\delta$  невозможно в силу того, что импорт регистрируется в регионе-плательщике вне зависимости от фактического региона-потребителя. Увеличение  $\delta$  свидетельствует о росте конкурентоспособности отечественных товаров, в то время как стремление  $\delta$  к нулю будет свидетельствовать о том, что рост внутреннего спроса не вызывает роста спроса на отечественную продукцию. Представляется разумным ограничение  $\delta < 1,3$ <sup>17)</sup>, при на-

17) Это условие верно для текущих (2005–2008 гг.) соотношений объемов внутреннего спроса и импорта.

рушении которого импорт становится инфериорным товаром (рост внутреннего спроса приводит к сокращению импорта). При  $\delta = 1$  рост спроса на товары отечественного и зарубежного производства одинаков.

Таким образом, исходя из темпов роста регионального ВРП можно выразить

$$(11) \quad g_{GRP_{i,t}} = \sum_{k=\{Ex, Im, I, G, C\}} g_{k_{i,t}} \gamma_{k_i},$$

где  $\sum_{k=\{Ex, Im, I, G, C\}} \gamma_{k_i} = 1$ ;  $\gamma_{k_i}$  – доля макропоказателя  $k = \{Ex, Im, I, G, C\}$  в объеме ВРП

по использованию в ценах 2005 г. Учитывая предпосылки (10а) и (9), выражение (11) можно переписать в виде

$$\begin{aligned} g_{GRP_{i,t}} &= g_{EX_{i,t}} \gamma_{EX_i} + g_{G_{i,t}} \gamma_{G_i} + g_{C_{i,t}+I_{i,t}-Im_{i,t}} (\gamma_{C_i} + \gamma_{I_i} - \gamma_{Im_i}) = \\ &= g_{GRP_{i,t}} (\gamma_{EX_i} + \gamma_{G_i}) + (g_{C_{i,t}+I_{i,t}})^\delta (\gamma_{C_i} + \gamma_{I_i} - \gamma_{Im_i}), \end{aligned}$$

откуда

$$(12) \quad \begin{aligned} g_{GRP_{i,t}} (1 - \gamma_{EX_i} - \gamma_{G_i}) &= (g_{C_{i,t}+I_{i,t}})^\delta (\gamma_{C_i} + \gamma_{I_i} - \gamma_{Im_i}) \text{ или} \\ g_{GRP_{i,t}} &= (g_{C_{i,t}+I_{i,t}})^\delta = \left( \frac{g_{C_{i,t}} \gamma_{C_i} + g_{I_{i,t}} \gamma_{I_i}}{\gamma_{C_i} + \gamma_{I_i}} \right)^\delta = (g_{C_{i,t}} \tilde{\gamma}_{C_i} + g_{I_{i,t}} \tilde{\gamma}_{I_i})^\delta, \end{aligned}$$

где  $\tilde{\gamma}_{C_i} = \frac{\gamma_{C_i}}{\gamma_{C_i} + \gamma_{I_i}}$ ;  $\tilde{\gamma}_{I_i} = 1 - \tilde{\gamma}_{C_i}$ .

Оценку роста ВВП экономики в этом случае представим в виде

$$(13) \quad g_{GNP_t} = \sum_{i=1 \dots N} g_{GRP_{i,t}} \gamma_{GRP_i} = \sum_{i=1 \dots N} (g_{C_{i,t}} \tilde{\gamma}_{C_i} + g_{I_{i,t}} \tilde{\gamma}_{I_i})^\delta \gamma_{GRP_i}.$$

Учитывая тот факт, что введенные в начале статьи показатели влияют прежде всего на рост товарооборота и инвестиций, мы будем использовать показатели роста розничного товарооборота и инвестиций в качестве прокси-переменных для показателей конечных расходов домохозяйств и валового накопления основного капитала соответственно, т.е.

$$(13a) \quad g_{GNP_t} = \sum_{i=1 \dots N} g_{GRP_{i,t}} \gamma_{GRP_i} = \sum_{i=1 \dots N} (g_{RET_{i,t}} \tilde{\gamma}_{C_i} + g_{INV_{i,t}} \tilde{\gamma}_{I_i})^\delta \gamma_{GRP_i}.$$

Исходя из (13а), значение показателя  $\delta$  можно рассчитать как

$$\delta = \log_{(g_{RET_{i,t}} \tilde{\gamma}_{C_i} + g_{INV_{i,t}} \tilde{\gamma}_{I_i})} g_{C_{i,t}+I_{i,t}-Im_{i,t}}.$$

В соответствии с предположением, что  $\delta$  – постоянная как по времени, так и по регионам, исторические значения данного параметра начиная с 2004 г. для экономики в целом колеблются в диапазоне 0,75–0,83. Тем не менее значение показателя  $\delta$  на перспективу лучше всего задавать экспертным образом, поскольку на

конкурентоспособность отечественных производителей влияет множество факторов – доступность кредитов для населения и зарубежного кредитования для предприятий, динамика реального валютного курса, рост доходов населения и предприятий, динамика прямых инвестиций, строительство на территории России заводов иностранных компаний и организация сборочных производств автогигантов, – влияние которых в предстоящее время будет существенно отличаться от влияния последних лет. Кроме того, повышение конкурентоспособности российской экономики является одной из главных целей принятой в 2008 г. Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации. Очевидно, что с ростом конкурентоспособности отечественных предприятий влияние развития автодорог на рост экономики будет выше. В качестве инерционного значения параметра  $\delta$  было выбрано среднее значение за 2005–2008 гг., которое составило 0,8.

Динамика показателей товарооборота и инвестиций в общем виде может быть задана в виде

$$X = f(Y, z),$$

где  $Y$  – неотрицательный показатель или вектор показателей, характеризующий в общем случае объем региональной экономики;  $z$  – вектор показателей, так или иначе характеризующий привлекательность данного региона с точки зрения рассматриваемого неотрицательного показателя  $X$ ;  $f$  – функция, монотонно возрастающая по  $Y$ . В соответствии с выбранной парадигмой (использовать минимальное количество показателей) мы использовали показатель объема ВРП и динамику параметров транспортной доступности и инвестиционной привлекательности регионов, которые определяют изменение внешней привлекательности региона. Поскольку полные данные по загрузке автодорог были доступны только за 2005 г., то оценка любой динамической (лаговой) модели была невозможна. Таким образом, специфицируемую модель можно представить в виде

$$(14) \quad \begin{aligned} \ln(RET_{i,t}) &= c_{RET} + \alpha_{RET} \ln(GRP_{i,t}) + \beta_{RET} \ln(iRET_{i,t}) + \varepsilon_{RET_{i,t}}, \\ \ln(INV_{i,t}) &= c_{INV} + \alpha_{INV} \ln(GRP_{i,t}) + \beta_{INV} \ln(iINV_{i,t}) + \varepsilon_{INV_{i,t}}, \end{aligned}$$

где  $\varepsilon_{RET_{i,t}} / GRP_{i,t} = N(0; \sigma_{RET}^2)$  и  $\varepsilon_{INV_{i,t}} / GRP_{i,t} = N(0; \sigma_{INV}^2)$ .

Оценка системы уравнений была произведена для  $t = 2005$ . Заметим, что это автоматически накладывает ограничения на равенство всех значений коэффициентов для разных регионов, и проверить эту гипотезу не представлялось возможным. Таким образом, показатель товарооборота является функцией от объема региональной экономики (ВРП), показателей товарооборота других регионов и времени в пути до них, показатель инвестиций задан аналогично.

Записывая систему уравнений (14) и (12) в динамической форме, получим:

$$(14a) \quad \begin{aligned} g_{RET_{i,t}} &= g_{GRP_{i,t}}^{\alpha_{RET}} g_{iRET_{i,t}}^{\beta_{RET}}, \\ g_{INV_{i,t}} &= g_{GRP_{i,t}}^{\alpha_{INV}} g_{iINV_{i,t}}^{\beta_{INV}}, \\ g_{GRP_{i,t}} &= \left( g_{RET_{i,t}} \tilde{\gamma}_{C_i} + g_{INV_{i,t}} \tilde{\gamma}_{I_i} \right)^\delta. \end{aligned}$$

Заметим, что система (14а), заданная для каждого региона, представляет собой аналог большой авторегрессионной системы уравнений (зависимость параметров от самих себя), только не по времени, а по регионам. Отсутствие авторегрессионных лаговых показателей свидетельствует о том, что данная система уравнений де-факто не является динамической: она имеет единственное<sup>18)</sup> и устойчивое решение относительно наперед заданных значений времени в пути между регионами, используемых при расчете показателей  $g_{iRET,t}$  и  $g_{iINV,t}$ . В том случае, когда изменения значений времени не происходит, решение данной системы уравнений вырождается в тривиальное решение  $g_* = 1$ . Таким образом, модель в данном виде не допускает экзогенный рост показателей (т.е. вызванных не модернизацией автодорог, а прочими факторами). Тем не менее модель можно модернизировать, чтобы она допускала экзогенный рост. Это удобно для оценки влияния модернизации дорог с учетом индивидуальных прогнозов роста регионов, вызванного прочими факторами. В этом случае модель можно переписать в виде

$$\begin{aligned} g_{RET,i} &= g_{GRP,i}^{\alpha_{RET}} g_{iRET,i}^{\beta_{RET}} \nu_{RET,i}, & \text{где } \nu_{RET,i} &= \tilde{g}_{RET,i} / (\tilde{g}_{GRP,i}^{\alpha_{RET}} \tilde{g}_{iRET,i}^{\beta_{RET}}), \\ g_{INV,i} &= g_{GRP,i}^{\alpha_{INV}} g_{iINV,i}^{\beta_{INV}} \nu_{INV,i}, & \nu_{INV,i} &= \tilde{g}_{INV,i} / (\tilde{g}_{GRP,i}^{\alpha_{INV}} \tilde{g}_{iINV,i}^{\beta_{INV}}), \\ g_{GRP,i} &= \left( g_{RET,i} \tilde{\gamma}_{C_i} + g_{INV,i} \tilde{\gamma}_{I_i} \right)^\delta \nu_{GRP,i}, & \nu_{GRP,i} &= \tilde{g}_{GRP,i} / \left( \tilde{g}_{RET,i} \tilde{\gamma}_{C_i} + \tilde{g}_{INV,i} \tilde{\gamma}_{I_i} \right)^\delta, \end{aligned}$$

где  $\tilde{g}$  – прогнозные оценки изменения макропоказателей в регионе под воздействием иных факторов.

Таким образом, значениями показателей  $g_*(t_1)$  являются значения роста макропоказателей в период  $t_1$  по сравнению с периодом  $t_0$ : т.е. до модернизации федеральных дорог ( $t = t_0$ ;  $g_*(t_0) = 1$ ) и после ( $t = t_1$ ). В данной модели рассматриваются только устойчивые состояния экономики, время достижения которых ( $t_1 - t_0$ ) в самой модели не регламентировано.

Оценку необходимого для достижения устойчивого состояния времени можно почерпнуть из американской истории развития автодорог. Так, согласно работам американских экономистов, статистически значимый эффект от строительства федеральных дорог продолжался 20–25 лет. При этом срок основного строительства сети дорог в США сопоставим с российской программой развития автодорог и составил 16 лет (конец 1956–1972 гг.), за время которого было построено 41–42,5 тыс. миль федеральных дорог из 46,7 тыс. миль, существующих на начало 2007 г. Этот период (20–25 лет) рассматривается в данной работе как необходимый для достижения экономикой устойчивого состояния *steady-state* в результате модернизации дорог.

Таким образом, модель представляет собой систему из двух линейных уравнений и одного тождества, заданную для каждого региона. Для оценки параметров системы уравнений мы использовали двухшаговый метод МНК (TSLS), так как один из регрессоров ( $GRP_i$ ), очевидно, зависит от ошибок в обоих уравнениях и его использование в подобных обстоятельствах приведет к смещенным регрессионным оценкам. Поскольку перечень используемых в модели показателей ограничен, то

<sup>18)</sup> При  $\alpha_{RET}\delta + \beta_{RET} < 1$  и  $\alpha_{INV}\delta + \beta_{INV} < 1$ .



в качестве *инструментов*<sup>19)</sup> мы использовали сводные показатели, зависящие от других регионов:  $iRET_i$ ,  $iINV_i$  и показатель  $iGRP_i$ , который по построению аналогичен показателю  $iRET_i$ <sup>20)</sup>:

$$(15) \quad iGRP_i = \sum_{j=1}^{i-1} GRP_j x(T_j) + \sum_{j=i+1}^N GRP_j x(T_j).$$

Общее количество наблюдений составляет 144 (по 77 на уравнение по числу рассматриваемых регионов<sup>21)</sup>). Полученные результаты оценивания приведены в табл. 2, которая является стандартной формой представления результатов для эконометрического пакета *EViews*. Показатели  $iGRP_i$ ,  $iRET_i$ , и  $iINV_i$  рассчитаны по фактическим данным 2005 г. Окончательная спецификация системы уравнений с оцененными коэффициентами примет вид

$$(16) \quad \begin{aligned} g_{RET_{i,t}} &= g_{GRP_{i,t}}^{0,801} g_{iRET_{i,t}}^{0,138}, \\ g_{INV_{i,t}} &= g_{GRP_{i,t}}^{0,852} g_{iINV_{i,t}}^{0,075}, \quad t = \{t_0; t_1\}, \quad g_*(t_0) = 1, \\ g_{GRP_{i,t}} &= \left( g_{RET_{i,t}} \tilde{\gamma}_{C_i} + g_{INV_{i,t}} \tilde{\gamma}_{I_i} \right)^\delta. \end{aligned}$$

Гипотеза о неустойчивости решения системы уравнений  $H_0: (\alpha_{RET} \delta + \beta_{RET} = 1$  и  $\alpha_{INV} \delta + \beta_{INV} = 1)$  против альтернативной гипотезы  $H_1: (\alpha_{RET} \delta + \beta_{RET} < 1$  и  $\alpha_{INV} \delta + \beta_{INV} < 1)$  отвергается на 5-процентном уровне значимости для всех  $\delta < 1,05$ .

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют об адекватности полученных значений параметров: все они статистически отличны от нуля на высоких уровнях значимости, доверительный интервал по каждому из них находится в пределах допустимых значений – от нуля до единицы. Показатели «краткосрочных» эластичностей при показателях транспортной доступности для товарооборота, как и следовало ожидать, практически в 2 раза выше, чем для показателей инвестиций (0,138 против 0,075). Эти значения статистически значимы и существенны для регионального экономического роста. Несмотря на то, что они невысоки<sup>22)</sup>, значения этих эластичностей в долгосрочном периоде с учетом мультипликатора<sup>23)</sup> будут существенно выше (порядка 4 при  $\delta = 0,8$  и порядка 6 при  $\delta = 1$ ), что обуславливает значи-

19) Показатели, которые не зависят напрямую от ошибок  $\varepsilon_{RET,i}$  и  $\varepsilon_{INV,i}$ , но влияют на стохастический регрессор.

20) Заметим, что данный показатель также зависит от  $\varepsilon_{RET,i}$  и  $\varepsilon_{INV,i}$ , но будем считать, что эта зависимость пренебрежимо мала.

21) Напомним, что Москву и Санкт-Петербург мы рассматриваем совместно с регионами Московская и Ленинградская область. Кроме того, не рассматриваются регионы, не имеющие выхода на сеть федеральных дорог.

22) В противном случае развитие региона в большей степени определялось бы экономическими связями с регионами: и наиболее развитые регионы России могли бы находиться в Поволжском федеральном округе.

23) Который возникает из-за того, что развитие дорог воздействует на рост товарооборота и инвестиций, которые влияют на рост ВРП, который, в свою очередь, способствует росту товарооборота и инвестиций.

тельное влияние развития дорог на формирование товарооборота и инвестиций, а следовательно, и ВРП в будущем.

Таблица 2.

**Статистические свойства эконометрической оценки параметров системы регрессионных уравнений**

Система: регионы РФ

Количество наблюдений: 77

Всего наблюдений: 144

2SLS: Инструменты:  $\text{LOG}(iRET_i)$   $\text{LOG}(iINV_i)$   $\text{LOG}(iGRP_i)$   $C$ Уравнение 1:  $\text{LOG}(RET_i) = C(1) + C(2) \cdot \text{LOG}(iRET_i) + C(3) \cdot \text{LOG}(GRP_i)$ Уравнение 2:  $\text{LOG}(INV_i) = C(4) + C(5) \cdot \text{LOG}(iINV_i) + C(6) \cdot \text{LOG}(GRP_i)$ 

	C(i)	s.e.(C(i))	t-статистика	P-value
C(1)	-0,688	0,056	-12,32	0,000
C(2)	0,138	0,008	17,28	0,000
C(3)	0,801	0,012	64,90	0,000
C(4)	-0,613	0,058	-10,52	0,000
C(5)	0,075	0,009	8,33	0,000
C(6)	0,852	0,014	60,86	0,000
Остаточная ковариация остатков				0,0183
			Уравнение 1	Уравнение 2
R2 adj			0,89	0,87
Стандартное отклонение зависимой переменной			1,133	1,106
RSS			837,7	993,8

*Источники:* данные Росстата, Научно-исследовательского и проектного института территориального развития и транспортной инфраструктуры (НИПИ ТРИТИ), расчеты автора.

### Результаты моделирования

Общую идею распространения эффекта от строительства дорог можно сформулировать следующим образом.

а) Модернизация сети федеральных дорог способствует увеличению их пропускной способности (задаваемой экзогенно), что приводит, вначале, к существенному сокращению времени в пути между регионами, сопровождаемому ростом показателей транспортной доступности  $iRET_i$  и инвестиционной привлекательности  $iINV_i$  (сокращение числителей). Заметим, что конечные результаты работы сильно зависят от способа моделирования зависимости средней скорости движения между регионами и загруженности автодороги. В данной работе был использован метод, основанный на так называемой статистической фундаментальной диаграмме движения (fundamental traffic diagram) (см. Приложение 2), используемый в работах западных исследователей. Метод не является предметом изучения данной статьи, но является неотъемлемой частью расчетов.

б) Происходит рост показателей товарооборота и инвестиций в физическом выражении, приводящий к росту ВРП регионов. Рост экономик регионов-соседей приводит к повторному росту показателей  $iRET_i$  и  $iINV_i$  (рост числителей), вызывая дополнительный рост экономики региона, и так далее.

в) В то же время необходимо учитывать не только влияние развития дорог на рост макропоказателей, но и влияние роста макропоказателей на ухудшение транспортной доступности по причине увеличения загруженности дорог. Последнее будет несколько нивелировать эффект от роста пропускной способности автодорог и увеличивать время в пути, ограничивая рост показателей  $iRET_i$  и  $iINV_i$ .

Расчеты по пунктам б) и в) сводятся к единственному решению.

Таким образом, оценка перспективного дополнительного (к экзогенному росту регионов) влияния строительства дорог является решением многомерной одномерной системы уравнений, общее число уравнений порядка 6500. Первым блоком системы из 241 уравнения (77 регионов  $\times$  3 уравнения) является региональная макро модель, второй блок состоит из 241 уравнения расчета показателей  $iRET$ ,  $iINV$  и  $iGRP$ ; третий блок состоит из порядка 6000 уравнений, описывающих время в пути между парами регионов.

Перспективные значения пропускной способности автодорог для настоящей модели были рассчитаны НИПИ ТриТИ, исходя из предусмотренных подпрограммой «Автомобильные дороги» федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы Российской Федерации (2010–2015 годы)» мероприятий по строительству и реконструкции сети федеральных дорог. Используя оценки параметров уравнений и перспективные значения интенсивности, загрузки и качества покрытия дорог, предоставленные НИПИ ТриТИ, можно получить оценку вкладов развития сети федеральных дорог в динамику ВРП, товарооборота и инвестиций в региональном разрезе в постоянных ценах 2005 г.

Расчеты (см. Приложение 1) показывают, что реализация программы развития федеральных дорог может обеспечить дополнительные (к экзогенному росту регионов) 10,3 п.п. прироста ВВП, 10,9 п.п. прироста товарооборота и 9,8 п.п. прироста инвестиций в основной капитал за весь период значимого воздействия модернизации дорог на экономический рост при условии, что уровень конкурентоспособности отечественных товаров не изменится ( $\delta = 0,8$ ). Кроме того, эти оценки не учитывают положительный эффект увеличения связанных с модернизацией дорог государственных расходов. Исходя из сопоставимости программ развития федеральных автодорог в США и России, можно предположить, что данный прирост ВВП произойдет за 20–25 лет.

По расчетам авторов работы [15], результаты которой включены во все последние доклады NCHRP<sup>24)</sup>, дополнительный прирост совокупной факторной производительности в США в 1952–1972 гг. за счет развития федеральных автодорог составил порядка 6,1%, чем обеспечил около 27% прироста совокупной факторной производительности за это время; кроме того, была получена оценка эластичности роста выпуска по объему капитала в федеральных дорогах 0,12–0,127. Используя оценки объема капитала, выполненные в работе [9], получаем еще порядка 5,8% дополнительного роста экономики, который был обеспечен непосредственно увеличением капитала в федеральных дорогах, или 12,2% в сумме. Учиты-

<sup>24)</sup> National Cooperative Highway Research Programme.

вая тот факт, что на конец 1972 г. объем капитала в федеральных дорогах США оценивался в 72 млрд. долл. (или порядка 5,8% ВВП 1972 г.), что сопоставимо с объемом планируемых инвестиций в модернизацию федеральных дорог в России (2,6 трлн. руб. в ценах 2007 г. или порядка 4,5–5,5% в ВВП 2015 г. в ценах 2007 г.), можно сделать вывод о том, что ожидаемые результаты в России несколько ниже.

В то же время в случае параллельного повышения конкурентоспособности отечественных конечных товаров до зарубежного уровня ( $\delta = 1$ ) прирост ВВП может увеличиться до 14% (практически на треть).

Региональные темпы прироста рассматриваемых (в инерционном случае) параметров свидетельствуют об усилении дифференциации между центральными и восточносибирскими регионами: величина прироста ВРП для первых составляет 11–14%, для вторых – 5–8%. Наиболее высокий прирост товарооборота, инвестиций и ВРП наблюдается в регионах, которые либо соседствуют с крупными территориями, либо находятся вдоль основных экономических «осей». Этими осями, по нашему мнению, являются следующие направления:

- северная ось «Москва – Санкт-Петербург», средние темпы прироста ВРП в прилегающих регионах составляют 14 п.п.;
- южная ось «Москва – Краснодар», средние темпы прироста ВРП в прилегающих регионах составляют 15,3 п.п.;
- восточная ось «Москва – Нижний Новгород – Казань – Уфа», средние темпы прироста ВРП в прилегающих регионах составляют 14,3 п.п.

\* \*

\*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петроневиц М.В.* Влияние модернизации сети федеральных дорог на региональную дифференциацию российской экономики // *Экономическая политика*. 2008. Октябрь.
2. Appalachian Regional Commission. Highway Transportation and Appalachian Development: Research Report № 13. Washington, D.C, 1970. P. 1–4.
3. *Barber G.M.* Sequencing Highway Network Improvements: A Case Study of South Sulawesi // *Economic Geography*. 1977. Vol. 53. № 1. P. 55–69.
4. *Berechman J.* Urban and Regional Economic Impacts of Transportation Investment: A Critical Assessment and Proposed Methodology // *Transportation Research*. 1994. Vol. 28. № 4. P. 351–362.
5. *Chandra A., Thompson E.* Does Public Infrastructure Affect Economic Activity? Evidence from the Rural Interstate Highway System // *Regional Science and Urban Economics*. 2000. Vol. 3. P. 457–490.
6. *Clifford W.* Efficient Transportation Infrastructure Policy // *Journal of Perspectives*. 1991. Vol. 5. № 1. P. 113–127.
7. *Cole L.M.* Transport Investment Strategies and Economic Development // *Land Economics*. 1968. Vol. 44. № 3. P. 307–317.
8. COMPASS Model System and Result // Iowa Rail Route Alternative Analysis. Iowa Department of Transportation, 2005.
9. *Fraumeni B.M.* Productive Highway Capital Stock Measures. Under Subcontract to Battelle Memorial Institute. January 1999. URL: <http://www.fhwa.dot.gov/reports/phcsm/phcsm.pdf>

10. *Fromm G.* Approach to Investment Decisions // Transport Investment and Economic Development. Washington, D.C.: The Brookings Institution, 1965. P. 5–6.
11. *Kottke F.E.* An Economic Analysis of Financing an Interstate Highway System // The Journal of Finance. 1962. Vol. 17. № 1. P. 143–144.
12. *Lichter D.T., Fugitt G.V.* Demographic Response to Transportation Innovation: The Case of the Interstate Highway // Social Forces. 1980. Vol. 59. № 2. P. 492–512.
13. *Munnell A.* Policy Watch: Infrastructure Investment and Economic Growth // The Journal of Economic Perspectives. 1992. Vol. 6. № 4. P. 189–198.
14. *Munro J.M.* Planning the Appalachian Development Highway System: Some Critical Questions // Land Economics. 1969. Vol. 45. № 2. P. 150–161.
15. *Nadiri M., Manueas T.* Contribution of Highway Capital to Output and Productivity Growth in the U.S. Economy and Industries: Refereed Report Prepared for the Federal Highway Administration Office of Policy Development, USA, 1996. P. 1–126.
16. *Rabin Y.* Federal Urban Transportation Policy and the Highway Planning Process in Metropolitan Areas // Annals of the American Academy of Political and Social Science. 1980. Vol. 451. P. 21–35.
17. *Rephann T., Isserman A.* New Highways as Economic Development Tools: An Evaluation Using Quasi-Experimental Matching Methods // Regional Science and Urban Economics. 1994. Vol. 24. P. 723–751.
18. *Reynolds D.* Congestion // The Journal of Industrial Economics. 1963. Vol. 11. № 2. P. 132–140.
19. *Small K.A., Winston C.* Efficient Pricing and Investment Solutions to Highway Infrastructure Needs // American Economic Review. 1986. Vol. 76. № 2. P. 165–169.
20. *Widner R.R.* Transport Investment and Appalachian Development // Public Administration Review. 1973. Vol. 33. № 3. P. 225–235.

## Приложение 1.

Таблица П1.

Показатели транспортной доступности (постоянные цены 2005 г., средний уровень РФ = 100) и результаты влияния модернизации сети федеральных дорог на дополнительный прирост ВРП, товарооборота и инвестиций за 20–25 лет, п.п.

	2005 г.			Прогноз на 2025 г.*			Прирост, п.п.		
	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	ВРП	това- ро- оборот	инве- сти- ции
<b>В среднем по Российской Федерации</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>116,9</b>	<b>118,5</b>	<b>117,2</b>	<b>10,3</b>	<b>10,9</b>	<b>9,8</b>
<b>Центральный федеральный округ (ЦФО)</b>	<b>131,2</b>	<b>129,0</b>	<b>135,6</b>	<b>154,5</b>	<b>154,1</b>	<b>159,0</b>	<b>11,9</b>	<b>12,4</b>	<b>11,2</b>
Белгородская область	93,4	94,3	96,8	105,2	107,6	108,9	8,1	8,4	7,8
Брянская область	112,6	112,5	118,4	135,8	137,8	142,6	14,3	14,4	13,6
Владимирская область	163,2	163,8	177,4	178,5	182,8	193,9	6,8	7,0	6,5
Воронежская область	129,2	127,2	138,0	164,5	166,1	176,6	18,6	19,0	17,8
Ивановская область	136,0	131,1	143,7	139,1	132,7	147,5	1,7	1,9	1,6
Калужская область	155,9	160,6	167,8	182,0	190,0	195,3	11,4	11,6	10,8
Костромская область	134,2	124,6	142,7	137,9	127,7	147,3	1,7	1,7	1,6
Курская область	116,4	115,6	123,5	135,5	136,7	143,4	11,1	11,3	10,5
Липецкая область	132,8	140,0	139,9	160,2	170,0	170,2	12,7	13,1	12,4
Московская область	130,3	126,8	132,5	154,6	152,4	157,2	12,2	12,5	11,7
Орловская область	132,4	134,0	138,6	147,6	152,4	153,3	8,3	8,5	7,8
Рязанская область	157,2	160,3	169,4	155,9	157,1	164,8	1,4	1,4	1,3
Смоленская область	103,4	102,9	110,0	122,7	123,0	130,5	12,4	12,6	11,8
Тамбовская область	138,6	137,8	146,8	171,1	173,3	182,0	15,7	16,0	15,0
Тверская область	156,8	159,5	173,4	188,5	192,3	208,1	13,0	13,2	12,5
Тульская область	162,2	168,0	175,6	194,2	203,2	209,7	12,9	13,2	12,4
Ярославская область	134,9	130,8	145,8	149,7	148,0	162,7	7,7	8,0	7,4
г. Москва	130,3	126,8	132,5	154,6	152,4	157,2	12,2	12,5	11,7

\* Учитываются только макроэкономические эффекты, вызванные улучшением федеральных автодорог в результате выполнения работ, предусмотренных подпрограммой «Автомобильные дороги» федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы Российской Федерации (2010–2015 годы)» в части строительства и реконструкции сети федеральных дорог.

Продолжение табл. П1.

	2005 г.			Прогноз на 2025 г.*			Прирост, п.п.		
	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	ВРП	това- ро- оборот	инве- сти- ции
<b>Северо-Западный федеральный округ (СЗФО)</b>	<b>77,7</b>	<b>74,1</b>	<b>83,0</b>	<b>93,0</b>	<b>90,1</b>	<b>99,6</b>	<b>11,5</b>	<b>12,3</b>	<b>11,3</b>
Республика Карелия	61,7	57,2	69,1	71,3	67,1	80,3	10,5	10,8	10,1
Республика Коми	68,5	63,9	70,6	80,0	75,3	82,3	10,3	10,6	9,9
Архангельская область	53,3	49,9	56,1	58,3	55,6	61,5	6,8	7,0	6,4
Вологодская область	101,9	99,2	109,1	114,1	113,3	122,8	7,6	8,1	7,4
Ленинградская область	83,6	81,7	85,9	103,2	101,6	106,3	13,3	13,9	13,0
Мурманская область	37,5	35,0	39,7	42,9	40,7	45,6	10,0	10,3	9,6
Новгородская область	103,6	99,6	121,7	128,7	125,4	150,3	15,1	15,5	14,4
Псковская область	82,4	77,5	95,2	96,2	93,1	105,9	12,3	12,6	11,3
г. Санкт-Петербург	83,6	81,7	85,9	103,2	101,6	106,3	13,3	13,9	13,0
<b>Южный федеральный округ (ЮФО)</b>	<b>85,9</b>	<b>91,5</b>	<b>91,4</b>	<b>103,7</b>	<b>112,3</b>	<b>111,2</b>	<b>13,6</b>	<b>14,0</b>	<b>13,2</b>
Республика Адыгея	100,2	115,1	117,0	122,5	142,4	142,2	14,8	15,1	14,1
Республика Дагестан	61,6	62,1	65,7	68,0	69,7	73,1	7,8	7,9	7,4
Республика Ингушетия	80,4	90,8	85,9	98,8	112,9	105,2	13,7	14,2	13,2
Республика Кабардино-Балкария	76,6	84,7	84,9	94,1	105,6	104,1	15,7	15,9	14,9
Республика Калмыкия	94,6	100,7	100,3	112,3	121,3	119,4	11,8	12,3	11,4
Республика Карачаево-Черкесия	97,8	113,6	107,4	106,1	122,0	116,4	4,8	4,8	4,7
Республика Северная Осетия-Алания	73,5	81,2	82,4	90,1	101,0	100,7	15,2	15,4	14,4
Чеченская Республика	67,1	75,6	73,6	76,7	88,7	84,9	10,0	10,3	9,6
Краснодарский край	80,9	89,6	86,0	101,0	113,5	107,6	15,9	16,3	15,2
Ставропольский край	86,8	94,9	97,0	106,3	118,1	118,9	15,2	15,4	14,5
Астраханская область	78,9	82,6	83,1	89,6	94,6	94,9	8,7	9,0	8,4
Волгоградская область	99,4	103,7	108,7	113,4	120,2	125,0	10,2	10,3	9,7
Ростовская область	95,4	100,4	105,4	119,1	127,2	132,2	16,4	16,7	15,7

Продолжение табл. П1.

	2005 г.			Прогноз на 2025 г.*			Прирост, п.п.		
	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	ВРП	това- ро- оборот	инве- сти- ции
<b>Приволжский федеральный округ (ПФО)</b>	<b>116,0</b>	<b>109,2</b>	<b>121,4</b>	<b>138,3</b>	<b>130,2</b>	<b>144,7</b>	<b>11,8</b>	<b>12,0</b>	<b>11,4</b>
Республика Башкортостан	112,6	101,3	112,0	138,0	124,7	137,0	14,1	14,4	13,6
Республика Марий-Эл	161,7	147,5	177,3	196,4	180,7	214,9	13,4	13,8	12,9
Республика Мордовия	130,8	127,8	136,5	148,5	144,9	154,8	8,0	8,2	7,8
Республика Татарстан	118,4	112,7	120,4	143,7	138,3	146,6	13,2	13,6	12,8
Республика Удмуртия	118,0	109,2	121,5	146,3	136,2	151,0	14,7	15,2	14,3
Республика Чувашия	162,2	149,6	173,8	208,6	193,9	223,5	17,2	17,8	16,7
Пермская область	104,7	93,3	104,9	127,7	114,6	128,2	14,0	14,3	13,4
Кировская область	92,4	86,3	98,5	109,2	103,0	116,4	11,6	11,9	11,2
Нижегородская область	130,2	124,3	139,4	154,9	147,4	166,3	11,6	11,8	11,3
Оренбургская область	96,9	93,1	97,2	109,2	104,8	107,9	7,3	7,6	7,0
Пензенская область	133,4	132,6	138,2	147,5	145,9	151,9	6,2	6,4	6,0
Самарская область	108,6	100,3	113,5	127,5	118,2	132,9	11,3	11,5	10,8
Саратовская область	112,6	112,5	117,8	120,5	119,6	125,4	3,9	4,0	3,9
Ульяновская область	143,0	135,7	151,4	170,9	162,7	180,9	12,3	12,6	11,8
<b>Уральский федеральный округ (УФО)</b>	<b>79,4</b>	<b>86,6</b>	<b>78,8</b>	<b>89,3</b>	<b>96,6</b>	<b>88,5</b>	<b>7,5</b>	<b>7,3</b>	<b>7,1</b>
Курганская область	120,6	98,2	112,9	139,5	114,2	130,6	10,3	10,4	9,9
Свердловская область	112,6	92,5	104,9	123,9	100,6	115,2	5,7	5,8	5,6
Тюменская область	105,1	91,8	101,1	122,5	109,3	118,3	10,8	11,3	10,5
Ханты-Мансийский автономный округ – Югра	50,7	48,3	50,2	56,9	54,7	56,6	7,3	7,6	7,0
Челябинская область	117,9	105,9	115,7	131,4	117,6	128,7	7,0	7,1	6,8
<b>Сибирский федеральный округ (СФО)</b>	<b>62,5</b>	<b>57,1</b>	<b>59,6</b>	<b>66,7</b>	<b>61,7</b>	<b>63,2</b>	<b>5,1</b>	<b>5,4</b>	<b>4,5</b>
Республика Алтай	63,1	58,7	58,8	62,9	57,9	59,3	0,4	0,5	0,3
Республика Бурятия	36,1	31,7	33,7	39,4	34,9	36,8	6,6	6,7	6,2
Республика Тыва	38,9	33,7	37,6	32,9	29,2	32,5	-4,4	-4,5	-4,1
Республика Хакасия	50,0	42,7	46,3	40,0	35,3	38,3	-6,0	-6,4	-5,8



Окончание табл. П1.

	2005 г.			Прогноз на 2025 г.*			Прирост, п.п.		
	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	<i>iGDP</i>	<i>iRET</i>	<i>iINV</i>	ВРП	това- ро- оборот	инве- сти- ции
Алтайский край	74,6	68,7	69,3	80,3	74,8	74,9	5,6	5,8	5,4
Красноярский край	52,7	48,0	51,5	56,8	52,3	55,3	5,3	5,5	5,1
Иркутская область	37,1	32,3	35,1	40,4	35,4	38,1	6,0	6,1	5,7
Усть-Ордынский Бурятский автономный округ	69,9	61,6	57,3	82,4	73,0	66,5	11,1	11,3	10,5
Кемеровская область	75,5	66,5	67,7	80,6	72,2	72,5	5,1	5,3	4,8
Новосибирская область	82,5	73,4	78,7	88,2	79,6	84,5	5,4	5,5	5,1
Омская область	77,6	66,6	73,5	80,3	74,8	74,9	5,6	5,8	5,4
Томская область	77,7	73,4	74,2	77,0	72,2	73,7	3,1	3,1	3,0
Читинская область	29,1	25,7	28,2	32,3	28,8	31,4	7,6	7,8	7,3
Агинский Бурятский АО	31,6	29,2	29,8	35,8	33,5	33,7	8,0	8,4	7,7
<b>Дальневосточный федеральный округ (ДФО)</b>	<b>19,6</b>	<b>17,5</b>	<b>19,4</b>	<b>21,8</b>	<b>19,7</b>	<b>21,6</b>	<b>7,5</b>	<b>7,7</b>	<b>7,1</b>
Республика Саха (Якутия)	18,1	16,2	17,6	20,3	18,3	19,7	7,6	7,8	7,3
Приморский край	18,2	16,0	18,2	20,3	18,1	20,3	8,1	8,3	7,8
Хабаровский край	21,3	19,2	20,7	23,6	21,4	22,8	6,8	7,0	6,5
Амурская область	23,1	20,4	22,5	25,6	22,8	24,9	7,0	7,3	6,8
Магаданская область	13,6	11,9	13,4	15,4	13,7	15,3	8,7	9,0	8,4
Еврейская автономная область	29,1	25,5	28,8	32,1	28,3	31,7	6,5	6,8	6,3

Источники: Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры (НИПИ ТРИТИ), расчеты автора.

## Приложение 2.

Центры регионов  $i$  являются вершинами графа, грани которого показывают наличие федеральной дороги между ними. По любой федеральной дороге, соединяющей два соседних региона  $i$  и  $j$ , проходит не только поток товаров между регионами  $i$  и  $j$ , но и транзитные потоки между другими регионами. Соответственно, товарный поток проходящий из пункта  $i$  в пункт  $j$  равен

$$X_{ij} = \sum_{k \in A}^{m \in B} X_{km},$$

где  $A$  – множество всех регионов-отправителей груза, проходящего по федеральной дороге в направлении из  $i$  в  $j$ ;  $B$  – множество всех регионов-получателей груза, проходящего по федеральной дороге в направлении из пункта  $i$  в пункт  $j$ .

Скорость передвижения товаров из пункта  $i$  в пункт  $j$  зависит от общего объема трафика и пропускной способности дороги  $M_{ij}$ , которая задана экзогенным образом и обусловлена как техническими особенностями дороги, так и ее текущим состоянием. Мы предполагаем, что скорость передвижения падает при возрастании загрузки, причем нелинейным образом, т.е.

$$v_{ij} = v(X_{ij} / M_{ij}) / \frac{dv_{ij}}{d(X_{ij} / M_{ij})} < 0.$$

Динамика зависимости скорости движения потока от загрузки автодороги, в общем случае, описывается так называемой фундаментальной диаграммой (fundamental traffic diagram – FTD). Сама диаграмма состоит из трех уравнений, которые описывают необходимую зависимость в случае движения по «свободной» дороге, дороге с «рабочим» движением и в состоянии затора.

На первом участке эта зависимость выглядит следующим образом:

$$v = v^{\max} - (v^{\max} - v^w) \frac{r}{r^w},$$

где  $v^{\max}$  – максимальная технически допустимая и разрешенная скорость движения по участку автодороги;  $r^w$  и  $v^w$  – уровень загрузки автомобильной дороги (авт./км), при котором начинается «рабочее» движение и соответствующая этому уровню скорость.

На втором участке, описывающем «рабочее» движение, уравнение скорости имеет вид

$$v = v^w \left[ \frac{\frac{1}{r} - \frac{1}{r^{\max}}}{\frac{1}{r^w} - \frac{1}{r^{\max}}} \right]^\lambda, \text{ при } r \leq r^{tr},$$

где  $r^{\max}$  – теоретический максимальный уровень загрузки;  $r^{tr}$  – уровень загрузки, при котором начинается затор;  $\lambda$  – параметр кривизны кривой. Как правило, отношение  $r^{tr}$  к  $r^w$  колеблется от 5 до 7 и зависит от качества автодороги.

Третий участок предполагает постоянную скорость передвижения

$$v = v^w \left[ \frac{\frac{1}{r^{tr}} - \frac{1}{r^{\max}}}{\frac{1}{r^w} - \frac{1}{r^{\max}}} \right]^\lambda \quad \text{при } r \geq r^{tr}.$$

Непосредственное использование данных уравнений затруднительно ввиду отсутствия статистики по всем показателям. В статистике, предоставленной НИИ ТриТИ, есть данные о средней скорости передвижения и коэффициенте загрузки, который рассчитывается как отношение интенсивности движения (авт./час) к нормативной. При этом значения загрузки могут превышать единицу. Учитывая тот факт, что максимальная и нормативная интенсивности в этом случае очевидно не совпадают, мы делаем предпосылку об их линейной взаимосвязи, что

$$M = \theta X^N,$$

где  $M$  и  $X^N$  – показатели максимальной и нормативной интенсивности.

Для оценки коэффициента  $\theta$  будем использовать максимальное значение коэффициента загрузки из дорожной статистики, которое равно двум.

Таким образом, используя  $X = vr$ , коэффициент «реальной» загрузки автодорог  $i_M$  может быть представлен в виде

$$i_M = \frac{X}{M} = \frac{X}{\theta X^N} = \frac{vr}{\theta X^N} \quad \text{или} \quad r = \frac{i_M \theta X^N}{v}.$$

Ввиду временных данных для каждого отрезка дорог мы будем предполагать, что значения коэффициентов не изменяются во времени и не зависят от конкретной дороги. Используемые для моделирования изменения скорости от изменения нормативной пропускной способности значения коэффициентов являются экспертными.

Таблица П2.

**Значения параметров федеральных дорог  
для моделирования скорости передвижения**

$v^{\max}$	100 км/ч
$v^w$	80 км/ч
$r^{tr}/r^w$	6
$\lambda$	0,25
$r^w = \frac{i_M \theta X^N}{v^w} = \frac{0,4 \theta X^N}{v^w} = \frac{X^N}{100}$	
$\theta$	2

Таким образом, время доставки груза  $T_{km}$  из пункта  $k$  в пункт  $m$  складывается из времени, затраченного на преодоление каждого участка пути, лежащего между этими пунктами, т.е.

$$T_{km} = \sum_{i,j \in D} T_{ij} = \sum_{i,j \in D} \frac{S_{ij}}{v_j} = \sum_{i,j \in D} \frac{S_{ij}}{v(X_{ij}/M_{ij})},$$

где  $D$  – цепочка участков пути между различными соседними пунктами  $i$  и  $j$ , через которые проходит дорога из пункта  $k$  в пункт  $m$ ;  $S_{ij}$  – длина каждого из участков пути, т.е.  $S_{km} = \sum_{i,j \in D} S_{ij}$ .