Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»
(РАНХиГС)

Разработка подхода к анализу детерминант пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте в России

Авторы:
Борзых К.А., Центр пространственной экономики ИПЭИ РАНХиГС, младший научный сотрудник, ORCID: 0000-0003-4692-8149, borzykh-ka@ranepa.ru
Пономарев Ю.Ю., Центр пространственной экономики ИПЭИ РАНХиГС, заведующий, к.э.н., ORCID: 0000-0002-1188-9293, ponomarev@ranepa.ru
Радченко Д.М., Центр пространственной экономики ИПЭИ РАНХиГС, младший научный сотрудник, ORCID: 0000-0002-7457-5179, radchenko-dm@ranepa.ru
Салимова Д.Р., Центр пространственной экономики ИПЭИ РАНХиГС, младший научный сотрудник, ORCID: 0000-0003-3440-9982, salimova-dr@ranepa.ru

Москва 2021

Аннотация. По пассажирообороту внутренние авиаперевозки занимают первую позицию в структуре пассажирских перевозок и имеют ключевое значение для России. Поставленные стратегические цели по развитию аэропортовой сети, зафиксированные Указами Президента РФ №204 2018 г. и №474 2020 г., а также недавний экзогенный шок в виде пандемии коронавируса, который привел к снижению внутренних авиаперевозок на 85%, обуславливают **актуальность** изучения факторов, влияющих на развитие региональных рынков пассажирских авиаперевозок. **Целью исследования** является анализ детерминант пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте в России. В работе использовались такие научные **методы** как синтез, анализ, индукция, дедукция обобщения и др., был проведен анализ релевантной литературы и открытых статистических источников, а также были применены модели пространственной эконометрики для учета распределения пассажирских потоков в пространстве. **Результатами исследования** являются выводы о влиянии на объемы воздушных перевозок пассажиров между парами регионов их социально-экономических характеристик и пространственных взаимосвязей. Определено, что фактическое распределение региональных авиаперевозок подчиняется гравитационному механизму; подтверждена пространственная неоднородность распределения пассажиропотоков. Особенностью текущей конфигурации воздушной сети в России является выраженная звездообразная структура авиаперевозок: в 2009-2018 гг. до 95% совокупного пассажиропотока из регионов проходило через Московский узел, при этом возможности регионов генерировать потоки пассажиров в обход Москвы ограничены. Сценарный анализ потенциальных эффектов от стимулирования объемов пассажирских перевозок показывает, что, наиболее сильный эффект на объемы авиаперевозок оказывает стабильный региональный рост. Эффект становится более выраженным при комбинации мер поддержки авиаперевозчиков за счет снижения их издержек на обслуживание полетов и стимулирования спроса с помощью субсидий. Главным направлением дальнейшей работы является сценарный анализ возможных эффектов от оптимизации аэропортовой сети на более детализированном уровне.

Ключевые слова: авиаперевозки, пространственный анализ, гравитационное моделирование, региональные потоки, пассажирские перевозки

Коды JEL: L93, R41, C21

Federal state-funded institution of higher education
“RUSSIAN PRESIDENTIAL ACADEMY OF NATIONAL ECONOMY AND PUBLIC ADMINISTRATION”

Developing the Approach to Spatial Analysis of the Distribution of Air Passenger Traffic in Russia

Borzykh K.A., Centre for Infrastructure and Spatial Studies, Institute of Applied Economic Research, junior researcher, ORCID: 0000-0003-4692-8149, borzykh-ka@ranepa.ru
Ponomarev Y.Y., Centre for Infrastructure and Spatial Studies, Institute of Applied Economic Research, centre head, PhD in Economic sciences, ORCID: 0000-0002-1188-9293, ponomarev@ranepa.ru
Radchenko D.M., Centre for Infrastructure and Spatial Studies, Institute of Applied Economic Research, junior researcher, ORCID: 0000-0002-7457-5179, radchenko-dm@ranepa.ru
Salimova D.R., Centre for Infrastructure and Spatial Studies, Institute of Applied Economic Research, junior researcher, ORCID: 0000-0003-3440-9982, salimova-dr@ranepa.ru

Moscow 2021

Abstract. Air transport accounts for the largest share of passenger turnover compared to other modes of transport, which makes it of particular importance in Russia. The strategic goals to develop the regional airport network, which are fixed by Presidential Decrees No.204 of 2018 and No.474 of 2020, as well as the recent external shock – the spread of the coronavirus pandemic, which resulted in an 85% decrease of domestic air traffic – explain the **relevance** of studying the factors which affect the development of regional markets for air passenger traffic. **The aim of the study** is to analyze the determinants of the spatial distribution of air passenger flows in Russia. This research applies a number of scientific **methods**, such as synthesis, analysis, induction, deduction, etc. It also entails the analysis of relevant literature and open statistical sources, and applies spatial econometrics models to take into account the geographical distribution of air passenger flows. **The results of the study** are conclusions about the impact of regional socio-economic characteristics as well as spatial interdependence on the volume of air passenger traffic. The model estimates indicate that the actual distribution of regional air traffic is subject to a gravity mechanism. What is more, the spatial heterogeneity of the passenger traffic distribution has been confirmed. One of the major characteristics of the current network configuration in Russia is the pronounced star-shaped structure of air traffic: in 2009-2018 up to 95% of the total passenger traffic from the Russian regions passed through the Moscow hub, whereas the regional opportunities to generate passenger flows bypassing Moscow were limited. According to the scenario analysis, which was carried out to estimate the potential effects resulting from stimulation of air passenger traffic, the strongest effect on the air traffic is provided by stable regional economic growth. This effect becomes even more pronounced if the measure is combined with the support of air carriers through reduction of flight service costs and stimulation of consumers' demand through subsidies. **Further research** is aimed at a more detailed scenario analysis of possible effects resulting from the optimization of the regional airport network in Russia.

Key words: air traffic, spatial analysis, gravity modeling, regional flows, passenger traffic

JEL: L93, R41, C21

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5
1 Обзор текущего состояния и ретроспективы развития воздушной отрасли в России и в мире 8
1.1 Влияние пандемии на динамику и развитие воздушной отрасли 8
1.2 Текущая конфигурация и особенности развития аэропортовой сети.....13
2 Анализ и систематизация существующих теоретических и эмпирических подходов к анализу пространственного распределения потоков пассажиров на воздушном транспорте, анализ и выявление ключевых детерминант их пространственного распределения 14
2.1 Теоретические и эмпирические подходы к анализу распределения потоков пассажиров и спроса на пассажирские перевозки воздушным транспортом 14
2.2 Ключевые детерминанты пространственного распределения потоков авиапассажиров 16
3 Анализ пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте в России 20
3.1 Разработка теоретической и эмпирической модели пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте 20
3.2 Эмпирический анализ пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте с учетом взаимосвязей и характеристик аэропортовой сети в России 24
3.3 Анализ особенностей полученных оценок влияния факторов на объемы воздушных перевозок 27
3.4 Построение имитационной модели потоков воздушных перевозок пассажиров на внутренних воздушных линиях в России.....40
3.5 Анализ возможных эффектов от имплементации мер государственного регулирования или поддержки авиационной отрасли на распределение пассажиропотоков между регионами России 42
3.6 Сценарный анализ возможных эффектов от оптимизации аэропортовой сети в России 49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....52
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 56

ВВЕДЕНИЕ

Анализ текущего состояния воздушной отрасли и рынка пассажирских авиаперевозок в России и мире показывает значимую роль воздушного транспорта в перевозках пассажиров: до кризисных событий в экономике в 2020 г. отрасль отмечала устойчивый рост объемов

перевозок и пассажирооборота на внутренних и международных рынках. Особую актуальность для России имеет развитие воздушной инфраструктуры авиасообщения и внутренней сети перевозок воздушным транспортом: Указами Президента РФ №204 от 07 мая 2018 г. и №474 от 21 июля 2020 г. поставлена задача по проведению реконструкции инфраструктуры региональных аэропортов и расширению сети межрегиональных авиационных маршрутов минуя Москву до 50 процентов от общего количества внутренних регулярных пассажирских маршрутов.

Поставленные стратегические цели и мощный экзогенный шок, вызванный эпидемиологическими вызовами и приведший к падению объемов межрегиональных авиаперевозок, обуславливают необходимость изучения факторов, критически влияющих на развитие региональных рынков пассажирских авиаперевозок. При этом хотя существует пул зарубежных исследований по схожей тематике, анализ факторов пространственного распределения пассажирских авиаперевозок в России слабо проработан в отечественной литературе, что подчеркивает актуальность выполнения НИР. Таким образом, научная новизна и практическая значимость НИР обусловлены детальной проработкой ключевых детерминант, характеризующих регионы России и значимо влияющих на распределение пассажирских потоков, а также учетом межрегионального взаимодействия в пространстве.

Целью исследования является выявление детерминант региональных пассажирских авиаперевозок в России с учетом наличия пространственной автокорреляции. Наличие данной цели предопределяет выполнение следующих задач:

— На основе открытых источников статистических данных, а также отчетов о состоянии отрасли проанализировать текущее и ретроспективное состояние воздушной отрасли в России и мире;

— Проанализировать, систематизировать и обобщить существующие теоретические и эмпирические подходы к анализу пространственного распределения потоков пассажиров на воздушном транспорте, систематизировать основные факторы региональных пассажирских авиаперевозок;

— Разработать эконометрическую модель пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте, оценить ее с учетом пространственных региональных взаимодействий и характеристик аэропортовой сети в России;

— Построить имитационную модель потоков воздушных перевозок пассажиров на внутренних воздушных линиях в России;

— Провести сценарный анализ возможных эффектов от совершенствования межрегиональной аэропортовой сети, а также от имплементации мер государственного регулирования или поддержки авиационной отрасли на распределение пассажиропотоков между регионами России.

При анализе статистических данных, а также на основе обобщенного опыта, выявленного в эмпирической и теоретической литературе по тематике исследования, были выдвинуты следующие гипотезы:

— Пространственное распределение региональных пассажирских потоков, перевозимых воздушным транспортом в России, можно описать с помощью гравитационной модели;

— Интенсивность пассажирских перевозок снижается на маршрутах средней протяженности в связи с переключением на альтернативные виды транспорта;

— Рост стоимости услуг авиаперевозок в регионе отправления и регионе назначения отрицательно ассоциируется с объемом пассажиропотока с учетом дальности перелета;

— Издержки, связанные с авиаперевозками (в частности издержки по аэронавигационному обслуживанию), находятся в отрицательной взаимосвязи с объемом пассажиропотоков;

— Присутствие компании-лоукостера на направлении (авиакомпании «Победа») ассоциируется с ростом пассажиропотока по данному направлению;

— Интенсивность перевозок зависит от отраслевой специализации региона, его близости к северу, а также условий на рынке труда;

— Пространственные эффекты играют значимую роль при распределении пассажирских потоков, перевозимых воздушным транспортом, между регионами в пространстве.

В исследовании применяются такие общенаучные методы, как анализ, систематизация, обобщение, дедукция, индукция. В качестве эконометрического метода анализа использован класс моделей с пространственной автокорреляцией, оцененных на панельных данных.

В рамках исследования получены статистические выводы о влиянии факторов на объемы воздушных перевозок пассажиров между парами регионов с учетом их пространственных взаимосвязей и социально-экономических характеристик, что ранее не было представлено в отечественных исследованиях. Приведены результаты сценарного анализа возможных эффектов от имплементации мер государственного регулирования и поддержки авиационной отрасли, а также оптимизации аэропортовой сети на распределение пассажиропотоков между регионами России.

Результаты эмпирического и сценарного анализа, а также построенный прототип имитационной модели в перспективе могут быть использованы в интересах Министерства экономического развития Российской Федерации, Министерства транспорта Российской Федерации и Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиация) для разработки конкретных направлений, мер и механизмов проведения экономической политики в России, а

также для определения степени влияния, которое могут оказывать целевые показатели, заложенные в стратегических документах развития различных областей, на показатели пространственного развития, в частности, рост региональных экономик.

1 Обзор текущего состояния и ретроспективы развития воздушной отрасли в России и в мире

Воздушный транспорт является третьим по популярности видом транспорта при междугородной перевозке пассажиров в России. По объему перевозок с учетом дальности – пассажирообороту – воздушный транспорт занимает первую позицию в структуре пассажирских перевозок видами транспорта. До кризисных событий в экономике в 2020 г. отрасль отмечала «суперцикл» – устойчивый рост объемов перевозок на внутренних и международных рынках.

1.1 Влияние пандемии на динамику и развитие воздушной отрасли

Экономические последствия пандемии коронавируса в мире и в России, в частности, оказали наибольшее влияние на транспортно-логистический комплекс: ограничения международного сообщения и снижение деловой активности вызвали значительное сокращение объемов внутренних пассажирских перевозок. По оценкам, долгосрочными последствиями пандемии могут стать изменение конфигурации воздушной сети и переход от звездообразной (веерной) модели перевозок с единым авиаузлом к линейной [1].

При исследовании мирового рынка воздушной отрасли можно прийти к выводу, что до кризиса 2020 года, связанного с распространением коронавирусной инфекции COVID-19, грузовые и пассажирские авиаперевозки являлись динамично развивающейся индустрией. Серьезность воздействия COVID-19 на авиаперевозки четко проявляется при отслеживании мирового выполненного пассажирооборота, который упал на 65,6% за период с января по ноябрь 2020 года по сравнению с показателями 2019 года (*рисунок 1*). По данным IATA [2], внутренние перевозки начали восстанавливаться раньше, чем международные, поскольку границы оставались закрытыми, а карантинные меры ужесточались для международных пассажиров. На текущий момент большинство ограничений на международное сообщение сохраняется.

Средний коэффициент пассажирской загрузки за год до ноября 2020 года составил 65,5%, что является безусловным улучшением по сравнению с самым низким показателем в 36,6% в апреле, когда большая часть мира находилась в полной изоляции. Столь рекордно низкий уровень авиаперелетов демонстрирует, что перед авиакомпаниями стоит серьезная задача — оставаться платежеспособными сейчас и во время восстановления.

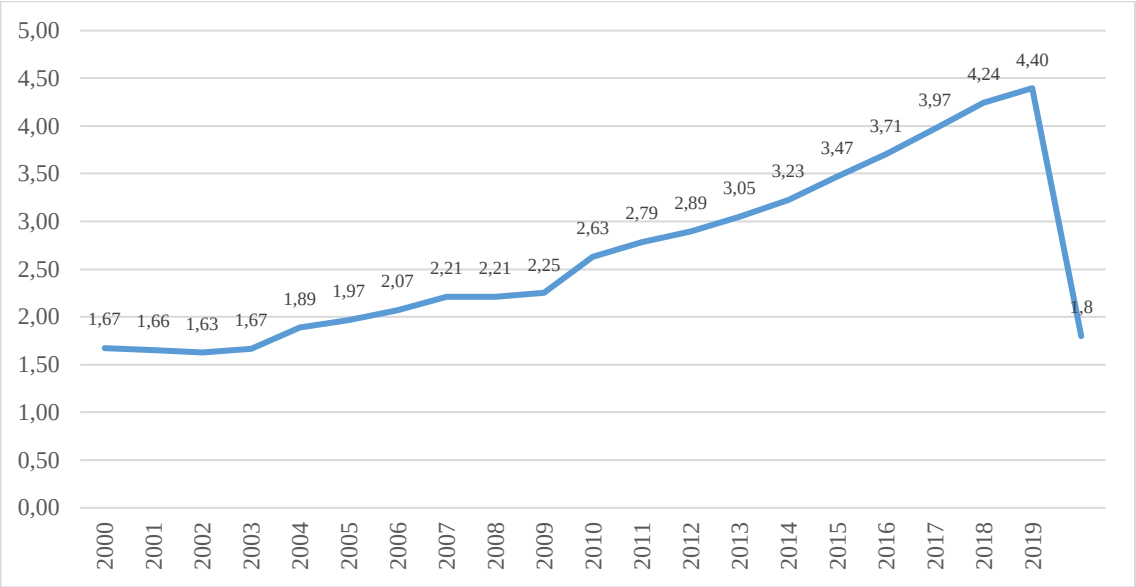

Рисунок 1. Динамика мирового объема перевозок пассажиров воздушного транспорта, млрд чел. Источник: World Bank [3].

Кризисные события 2020 года также затронули российские отрасли авиационной промышленности и авиатранспорта. Согласно статистическим данным Росавиации по структуре и динамике пассажирских и грузовых перевозок, объемам работ с [4]; [5] в 2020 году пассажиропоток российских аэропортов упал на 41% по сравнению с 2019 годом и составил 129,6 млн человек. На внутренних воздушных линиях было обслужено 112,4 млн пассажиров (87% от общего объема), на международных воздушных линиях — 17,2 млн человек (13%). Общий объем работ отечественных авиакомпаний за 10 месяцев 2020 года по отношению к соответствующему периоду 2019 года сократился на 48,2% и составил 17,6 млрд тонно-километров [6]. Грузовые перевозки в период пандемии оказались в лучшем положении, чем пассажирские перевозки. В условиях пандемии, напротив, отмечался рост спроса на грузовые авиаперевозки, включая перевозку различных средств для эпидемиологической защиты. На грузовые авиаперевозки не накладывались ограничительные меры. За 10 месяцев 2020 года перевозки грузов и почты сократились на 1,2%. Общее количество грузовых перевозок составило 913,8 тыс. тонн. Пассажирские авиакомпании переоборудовали часть авиапарка своих пассажирских воздушных судов под перевозки негабаритных партий грузов: «Уральские авиалинии» нарастили перевозки груза и багажа на 8,2%, «Северный ветер» увеличил грузовые перевозки на 65.8%, «Полярные авиалинии» — на 57,5%. «Ред Вингс» — на 22,4% [5].

Общий пассажиропоток отечественных авиакомпаний на внутренних и международных линиях за период январь 2020 года — октябрь 2020 года составил 59,5 млн чел. (*рисунок 2*). В 2019 году за аналогичный период пассажиропоток составлял 110,3 млн человек. Произошло сокращение пассажиропотока на 46,1%. На внутренних воздушных линиях (ВВЛ) произошло снижение перевозок на 87% и 84,5% в апреле и мае.

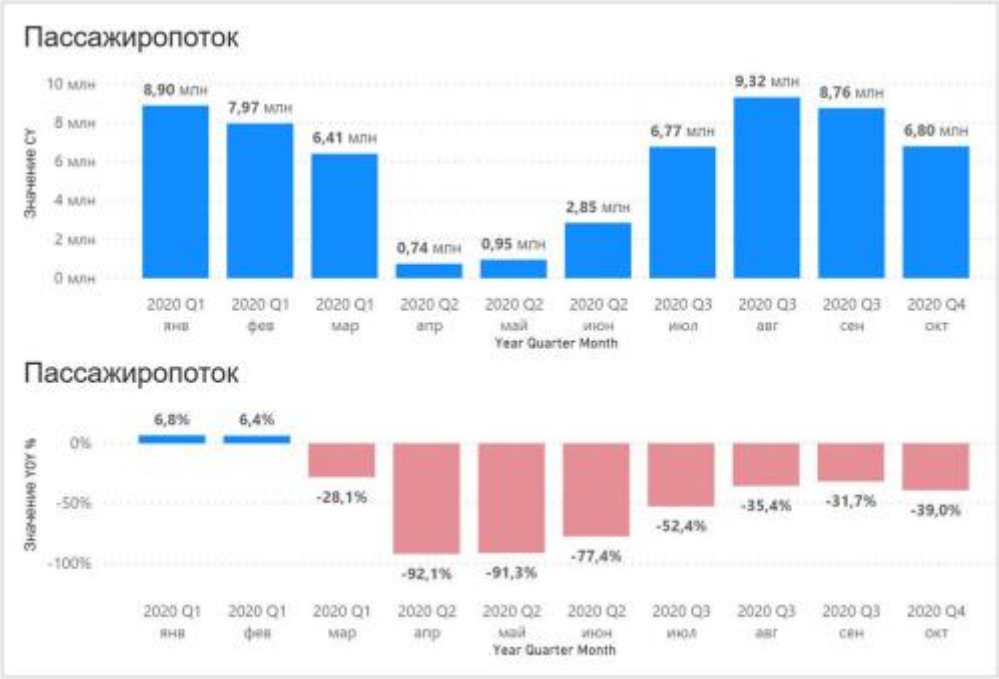

Рисунок 2. Совокупный пассажиропоток в 2020 г. по месяцам. Источник: АЭВТ, 2021 [5].

Из-за карантинных ограничений, наложенных на международные воздушные авиалинии (МВЛ) в Италию и КНР, в первом квартале 2020 года наблюдалось снижение пассажиропотока на 5,9%. Во втором квартале 2020 года, государство ввело дополнительные ограничения: введение режима нерабочих дней в апреле, карантинные ограничения по всей территории Российской Федерации. Эти меры привели к падению совокупного пассажиропотока на 86,2%: в апреле спрос упал на 92,1%, в мае на 91,3%, в июне на 77,4% (*рисунок 3*). Летом 2020 года произошел постепенный рост пассажиропотока из-за постепенного снятия карантинных ограничений в мае-июне. За 10 мес. 2020 г. пассажиропоток на международных линиях составил 12,04 млн человек, снизившись к соответствующему периоду 2019 года на 74,9%.

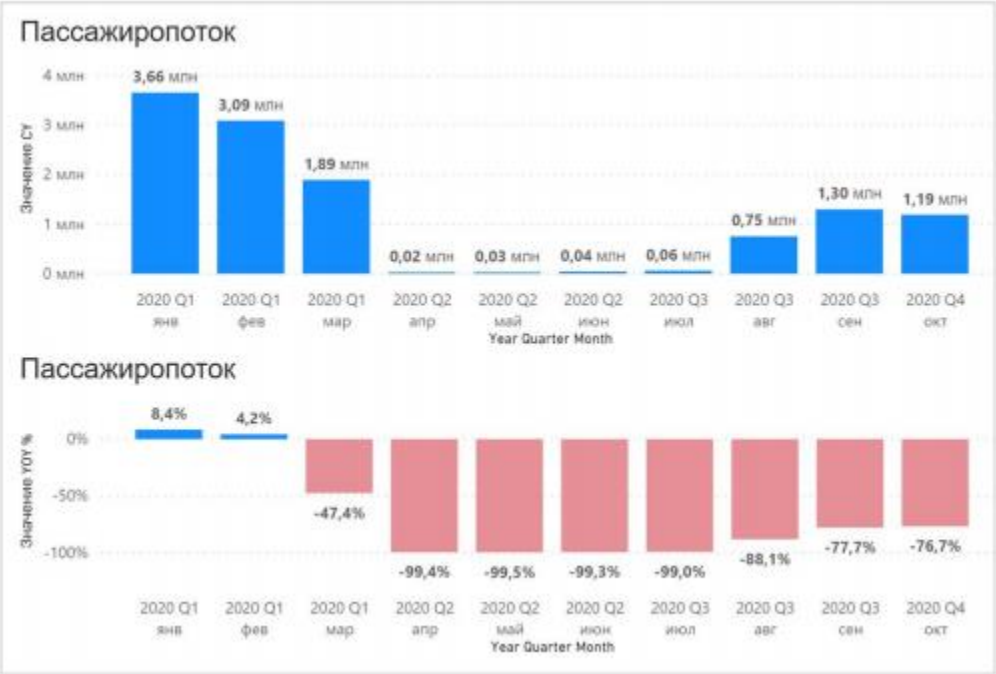

Рисунок 3. Пассажиропоток на МВЛ в 2020 г. по месяцам. Источник: АЭВТ, 2021 [5].

В августе и сентябре 2020 года, показатели на внутренних линиях превысили соответствующие показатели 2019 года на 5,7% и 6,8% (*рисунок 4*). Это произошло из-за частичной отмены карантинных мер, а также переориентации части международного туристического потока на внутренние направления летнего отдыха. В четвертом квартале 2020 года пассажирские перевозки на внутренних линиях снова снизились: в октябре произошло снижение на 7,1%. Меры государственной поддержки внутреннего туризма способствовали поддержанию потребительского спроса на авиаперелеты внутри страны и позволили избежать более резкого снижения: в аэропортах Сочи и Симферополя был отмечен значительный рост количества обслуженных пассажиров на прилет и вылет относительно соответствующих месяцев 2019 года (*рисунок 5*).

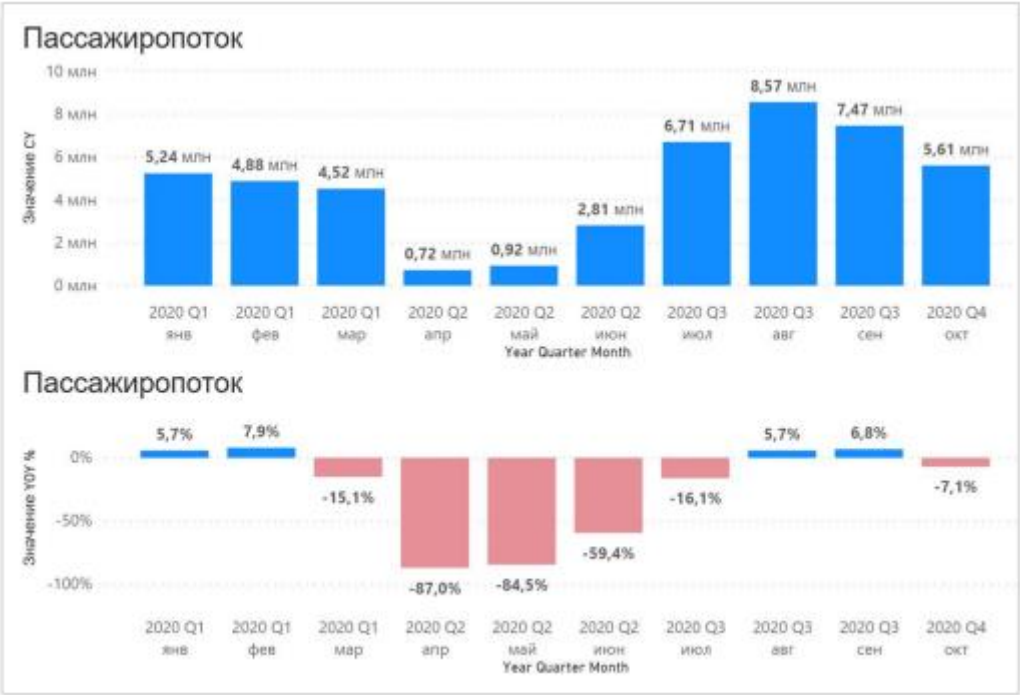

Рисунок 4. Пассажиропоток на ВВЛ 2020 г. по месяцам. Источник: АЭВТ, 2021 [5].

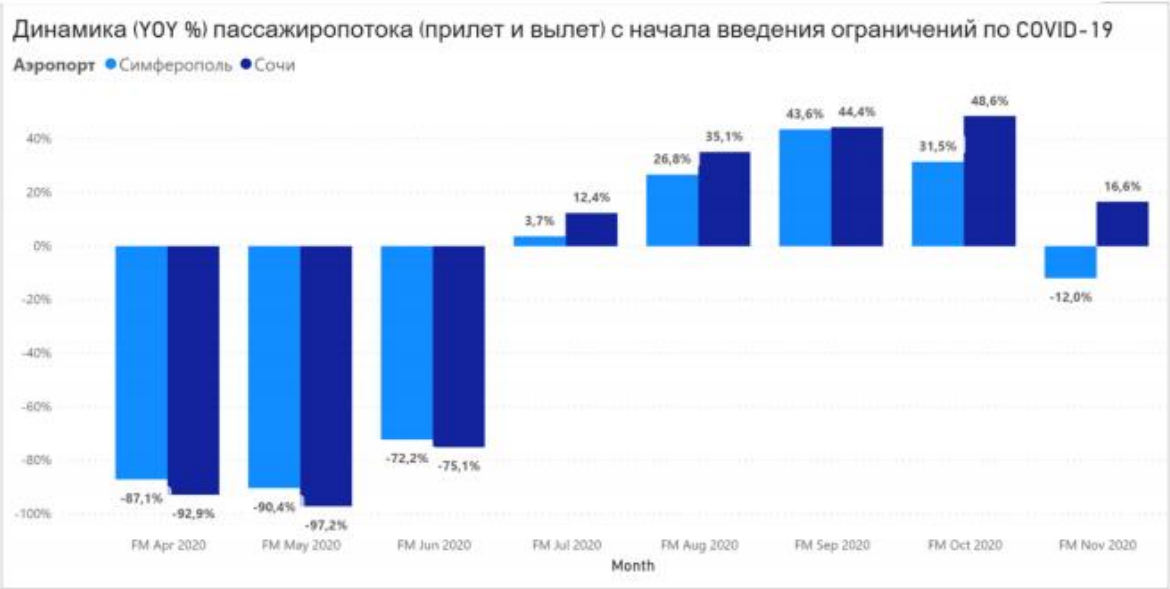

Рисунок 5. Динамика пассажиропотока в аэропортах Сочи и Симферополя с начала введения ограничений по Covid-19. Источник: АЭВТ, 2021 [5].

Воздушная отрасль, включающая авиакомпании, аэропорты, была внесена Правительством РФ в список отраслей экономики, наиболее пострадавших от распространения новой коронавирусной инфекции [7]. Государством были введены меры поддержки:

– введение моратория на подачу заявлений о банкротстве;

– предоставление организациям отсрочки по уплате налогов и страховых взносов, лизинговых платежей за воздушные суда;

– продление действий разрешительных документов;

– выделение субсидий из резервного фонда Правительства Российской Федерации на частичную компенсацию расходов авиакомпаний и аэропортов в связи со снижением доходов в результате падения объемов пассажирских воздушных перевозок. Размер предоставленных субсидий авиакомпаниям составил 20,953 млрд рублей и 10,605 млрд рублей – аэропортам.

1.2 Текущая конфигурация и особенности развития аэропортовой сети

На 2020 г. в государственном реестре гражданской авиации зарегистрировано 228 аэродромов: 170 аэропортов с искусственными взлетно-посадочными полосами. 173 аэродрома оборудовано светосигнальными системами (ССО) (76%). Также зарегистрировано 2057 посадочных площадок (*рисунок 6*) [8].

Рисунок 6. Аэродромы на территории РФ (2020 г.). Источник: ТехИнформ, 2019 [8].

В контексте российского рынка авиаперевозок значимую роль в распределении и стимулировании объемов пассажиропотоков играют меры государственного регулирования, в частности программа субсидирования внутренних авиаперевозок. Программа предусматривает круглогодичное обслуживание субсидируемых направлений, расширение перечня, а также увеличение максимальной протяженности субсидируемых маршрутов, в том числе в удаленные федеральные округа, как Дальневосточный и Сибирский [9]. Кроме того, по инициативе Минпромторга предлагаются программы субсидирования летного часа — предоставления бюджетных субсидий для выплаты лизинговых платежей авиакомпаниям, эксплуатирующим отечественные воздушные суда SuperJet 100, обслуживающие

ближнемагистральные направления [10], что может поддержать конкурентоспособность перевозок пассажиров воздушным транспортом на маршрутах малой и средней дальности.

Актуальным для России является также развитие альтернативных высокоскоростных способов сообщения между крупными городами. По оценкам Центра экономики инфраструктуры, запуск маршрута высокоскоростной магистрали по маршруту Москва-Казань создаст предпосылки для переключения около 40% текущего пассажиропотока на воздушном транспорте, что может определенным образом сказаться на объеме авиаперевозок пассажиров и повлечь снижение прибыльности авиаперевозчиков на данном и смежных направлениях [11].

Существуют региональные различия в себестоимости перевозок воздушным транспортом, объясняемые помимо прочего отличиями в стоимости услуг аэропортов, расположенных в разных климатических зонах [12]. В целом, можно выделить такие положительные факторы развития отрасли гражданской авиации в России, как рост ВВП, модернизация авиапарка, консолидация отрасли, выгодное географическое положение, развитие туризма, рост среднего уровня доходов граждан, развитие авиакомпаний и сети аэропортов, и отрицательные факторы – рост стоимости авиационного топлива и ГСМ, парк ВС с высокой степенью износа, запретительные пошлины на ввоз ВС, неразвитая сеть перевозок, высокая стоимость авиаперевозок к уровню прожиточного минимума [13].

К числу основных барьеров к развитию воздушной отрасли в настоящее время относят ее зарегулированность, износ региональной инфраструктуры воздушного транспорта и парка воздушных судов, а также высокие операционные убытки отрасли, связанные с ростом топливных и лизинговых затрат эксплуатантов и авиапредприятий. Рынок внутренних перевозок в России является конкурентным, но низкоприбыльным для авиаперевозчиков: средняя операционная рентабельность их деятельности в течение десятилетия остается отрицательной, что усугубилось пандемией и приостановкой международного сообщения и деятельности авиаперевозчиков на международных воздушных линиях.

2 Анализ и систематизация существующих теоретических и эмпирических подходов к анализу пространственного распределения потоков пассажиров на воздушном транспорте, анализ и выявление ключевых детерминант их пространственного распределения

2.1 Теоретические и эмпирические подходы к анализу распределения потоков пассажиров и спроса на пассажирские перевозки воздушным транспортом

Основным подходом к анализу пассажирских потоков на воздушном транспорте является гравитационное моделирование. Впервые гравитационные модели внешней торговли в приложении к воздушным потокам как одной из форм пространственного взаимодействия

между парами городов были представлены в работах Harvey (1951) [14] и Taaffe (1962) [15]. Данный класс моделей описывает функциональные зависимости интенсивности пассажирских потоков от расстояния и экономических индикаторов «масс» регионов отправления и назначения. Современные работы используют гравитационные модели для прогнозирования спроса на авиаперевозки и определения ключевых факторов, объясняющих интенсивность грузовых и пассажирских потоков.

В основе построения гравитационной модели лежит предположение о прямой пропорциональной зависимости между количеством авиапассажиров и произведением экономических масс (численностью населения) городов назначения и отправления (origin-destination flows) и обратной зависимости воздушных потоков и расстояния между городами ($\frac{P_1 P_2}{D_{1,2}}$). Мотивацией применения служит допущение о том, что любая модель, предполагающая, что на интенсивность взаимодействия между двумя точками оказывают силы или комплекс сил притяжения, а расстояние в той или иной форме оказывает эффект «отталкивания», может быть аналогична модели гравитации. Гравитационная модель значительно упрощает реальную ситуацию с воздушным движением. Между группами городов может существовать значительная разница в способности к созданию (генерации) потоков авиапассажиров, в связи с чем может быть необходимо включение взвешенного показателя в числитель. Интенсивность взаимодействия между парами городов также может быть неоднородной, что требует модификации функции расстояния, например, квадратичное преобразование, определение точки отсечения для ограничения степени влияния и другие. По результатам эмпирических калибровок был определен показатель расстояния, наилучшим образом описывающий реальные взаимозависимости между потоками пассажиров на воздушном транспорте. Несмотря на допущения модели, именно её упрощенная формулировка обеспечивает количественную оценку очевидных взаимосвязей и позволяет обнаружить менее очевидные связи между объектами наблюдения.

Гравитационная модель авиаперевозок может быть уточнена исходя из предпосылки о наличии пространственной зависимости между потоками, что позволяет избежать смещения в оценках объемов потоков пассажиров на воздушном транспорте. Как правило, выводы, основанные на оценках линейных моделей, игнорирующих пространственную зависимость потоков, оказываются ненадежными для формулирования мер экономической политики в отношении конфигурации аэропортовой сети, интенсивности авиасообщения, объемов и частоты рейсов между парами городов, запуска новых маршрутов и расширения транспортной сети и других направлений деятельности [16]. В работах по пространственному моделированию потоков, подтверждается, что пространственная спецификация модели лучше описывает потоки авиапассажиров, чем линейная гравитационная модель. В качестве базовой статьи для моделирования пространственного распределения потоков авиапассажиров

рассматривается работа Margaretic et al. (2017) [16], первая из существующих работ по пространственному эконометрическому анализу двусторонних потоков пассажирских перевозок воздушным транспортом. В рамках моделирования объемов пассажирских перевозок в глобальной сети воздушного движения между парами 279 городов авторы оценивают пространственную модель потоков Дарбина (spatial Durbin flow model), включив показатели реального ВВП, численности населения, расстояния между парой городов и тариф на авиабилет, а также географические индикаторы местоположения в качестве объясняющих переменных. Авторы исследования проверяют устойчивость оценок, применяя две спецификации матрицы весов, а именно – матрицы 4 и 5 ближайших соседей. Результаты показывают, что значимость эффектов эндогенного взаимодействия (глобальных вторичных эффектов) подразумевает прямое влияние потоков авиапассажиров между парами городов на объемы и интенсивность потоков авиапассажиров по другим направлениям, соседство которых определяется весовой матрицей, основанной на характеристиках соседства для городов назначения и отправления. Эффекты экзогенного пространственного взаимодействия предполагают, что на потоки между данной парой городов оказывает влияние изменение тарифа по другим направлениям. Значимость индикаторных переменных для регионов происхождения и назначения подтверждает наличие пространственной неоднородности распределения потоков авиапассажиров.

2.2 Ключевые детерминанты пространственного распределения потоков авиапассажиров

В литературе, посвященной пассажирским авиаперевозкам, набор основных характеристик, влияющих на интенсивность и пространственное распределение потоков пассажиров на воздушном транспорте, рассматривается отдельно для межстрановых и внутристрановых (межрегиональных) потоков. На более агрегированном – страновом уровне большое значение уделяется исследованию мер государственного регулирования авиационной отрасли, в частности, индексов зарегулированности отрасли и либерализации воздушного пространства (см. Grosso и Shepherd (2011) [17], Grosso (2012), Cristea и др. (2015) [18]), вступления в международные договоры и соглашения, например, договор по открытому небу (Endo (2007) [19], Hwang и Shiao (2011) [20]), доли присутствия иностранных перевозчиков на рынке и частных национальных компаний, обслуживающих международные перелеты (Zhang и Findlay (2014) [21]). Кроме того, в исследованиях по авиаперевозкам пассажиров анализируется влияние на спрос альтернативных видов транспорта, а именно — высокоскоростных железных и автомобильных дорог, степень конкуренции на рынке авиаперевозок и эффект присутствия бюджетных авиакомпаний (лоукостеров), обслуживающих направления, что отражает легкость входа на рынок для новых компаний [21].

Общим для внутренних и международных перевозок фактором, определяющим интенсивность спроса и, как следствие, объемы перевозок пассажиров, является тарифная политика: меры государственной политики, регулирующие повышение тарифов через налоговые сборы и дополнительные экологические и туристические сборы, а также закладываемые в стоимость авиаперевозок топливный сбор и ставка аэронавигационного обслуживания. На ближнемагистральных маршрутах эластичность тарифов, как правило, выше, чем на дальнемагистральных, что связано с возможностью переключения между альтернативными видами транспорта (автомобильным или железнодорожным) на маршрутах короткой протяженности в ответ на повышение тарифов на авиабилеты. Эластичность также дифференцирована по группам потребителей: авиапассажиры, пользующиеся услугами по перевозке в деловых целях, менее чувствительны к изменениям тарифов в отличие от туристов. При этом положительное влияние на объемы пассажирских перевозок воздушным транспортом оказывает рост располагаемых доходов потребителей услуг: эластичность спроса по доходу превышает единицу, что говорит о том, что спрос на авиаперелеты опережает рост доходов, что характерно для товаров роскоши [22].

Основными факторами, определяющими распределение потоков внутри страны, являются расстояние между городами и численность населения в них, что объясняется применением логики гравитационного механизма к моделированию потоков пассажиров на воздушном транспорте. Детерминанты пространственного распределения потоков пассажиров подразделяются также на геоэкономические факторы, описывающие географические характеристики городов и их социально-экономическую активность, и характеристики авиатранспортной системы и качества услуг по перевозке пассажиров, как, например, представлено в работе Jorge-Calderón [23]. Социально-экономические факторы оказывают влияние на формирование воздушной сети, что объясняется стремлением авиакомпаний к максимизации прибыли за счет предоставления услуг по перевозке в местах сосредоточения экономической и деловой активности с высоким демографическим потенциалом и оптимизации сети перевозок в отдаленных регионах [24]. Определенная структура производства региона может объяснять миграционные потоки рабочей силы внутри страны, что оказывает непосредственное влияние на пассажиропотоки [25]. Еще одним фактором пассажирских перевозок является туризм [21]. В работах также зачастую анализируется зависимость пассажиропотока от наличия конкурирующих видов транспорта: высокоскоростных поездов и лоукостеров [26]; [27]; [28]; [29]. Фактором, определяющим пространственное распределение пассажиропотоков, является встраиваемость конкретного аэропорта в общую сеть, их связность [28]; [30]; [29]. Hsiao и Hansen [31] подразделяют факторы генерации и распределения потоков пассажиров на характеристики спроса и предложения рынка авиаперевозок. Так, со стороны спроса объясняющими переменными

являются численность и доходы населения, расстояние и различные показатели привлекательности направления, например, фиктивные переменные для туристических направлений, со стороны предложения – стоимость (тариф) перевозки, время в пути и задержки в расписании, частота рейсов [31].

На основе анализа эмпирической литературы по моделированию пассажирских авиаперевозок могут быть выделены следующие группы детерминант потоков пассажиров между городами на внутренних направлениях, представленные в таблице ниже (*таблица 1*).

Таблица 1

Детерминанты пассажирских перевозок воздушным транспортом.

Детерминанты	Статистические показатели	Гипотеза
Со стороны спроса (потребителей услуг)		
Население, его богатство, платежеспособность и качество жизни	Численность населения в городах или странах; ВРП/ВВП и доход на душу населения (в т.ч. с учетом индекса покупательной способности, индекса потребительских цен)	Степень экономической активности региона и размер рынка – величина потенциального спроса, а также его покупательная способность положительно влияют на пассажиропоток (+) Эффект дохода: рост доходов населения повышает доступность и объемы авиаперелетов (нормальное благо) (+)
Издержки транспортного сообщения	Тарифы на авиаперелеты (средняя стоимость перелета); время в пути	Спрос потребителей чувствителен к цене авиабилетов: увеличение тарифа на авиаперевозки влечет к снижению количества пассажиров и переключению на другие виды транспорта (-) Эффект замещения: высокая экономия времени по сравнению с другими способами передвижения и ценность низких издержек времени в пути (+)
Общие культурные, финансовые, экономические и исторические связи между регионами или странами	Дамми-переменные для стран, население которых говорит на одном языке, дамми-переменные для стран, гражданам которых нужна виза при пересечении границы, дамми-переменные для стран с общей границей, объем торговли между странами	Пассажиропотоки интенсивнее между активно торгующими странами и регионами, имеющими исторические и культурные связи (+)
Альтернативные виды транспорта	Наличие высокоскоростных железных дорог, развитой сети автомобильных дорог; цена бензина и топлива на АЗС и стоимость личного автомобиля; конкуренция на рынке авиаперевозок; присутствие лоукостеров	Наличие субститутов, т.е. альтернативных видов транспорта, отрицательно влияет на численность пассажиров, перевозимых воздушным транспортом (-) Снижение цен на бензин и транспортных средств влияют на относительную стоимость авиаперелетов (-) Высокая степень конкуренции на рынке авиаперевозок и присутствие лоукостеров снижает стоимость авиаперевозок и делает услуги более доступными (+)
Отраслевая специфика региона, рынок труда и образования	Уровень безработицы; структура занятости, в т.ч. в производственном секторе; доля населения с высшим образованием; доля занятых,	Развитый рынок труда и образовательный сектор положительно влияет на степень экономической активности региона,

	работающих полный рабочий день; дамми-переменные для туристических направлений, дамми-переменные для южных и северных городов, количество гостиниц	размер рынка авиаперевозок и покупательную способность спроса (+), а также определяет его структуру (путешествующие в деловых, образовательных, туристических целях или в целях заработков вахтовым методом). Пассажиропоток выше в наиболее популярные среди туристов места (+).
Сезонность	Дамми-переменные для кварталов	Сезонные колебания спроса на авиаперевозки пассажиров: рост во втором и третьем кварталах (+), сменяющийся снижением в четвертом и первом кварталах (-)
Со стороны предложения (авиаперевозчиков)		
Конкуренция в отрасли	Количество авиакомпаний, обслуживающих регулярные рейсы по направлению; количество государственных и частных авиакомпаний; количество конкурирующих аэропортов в одном регионе и расстояние между такими аэропортами	Низкоконцентрированный рынок региональных авиаперевозок и большое количество конкурирующих перевозчиков свидетельствует о развитой сети и стимулированию объема перевозок благодаря установлению конкурентной цены(+)
Издержки	Стоимость авиатоплива; стоимость аэронавигационного обслуживания; экологические и туристические сборы; топливный сбор; летные затраты по типам ВС — стоимость летного часа или единицы авиатранспортной работы; ставка заработной платы и штат сотрудников	Эффект переноса в цену авиабилета: высокие тарифы и сборы отрицательно влияют на объем транспортных работ (-)
Качество предоставления услуги перевозчиками	Частота рейсов; тип ВС; задержки в расписании отправления; время обслуживания в аэропорту и контроля безопасности; тип маршрута (прямой/стыковочный)	Характеристики качества услуг по перевозке пассажиров: высокая частота рейсов (+-) повышает доступность перевозок, но ведет к перенасыщению рынка; любые улучшения сервиса ведут к повышению привлекательности авиаперевозок (+)
Характеристики авиатранспортной сети	Расстояние между аэропортами; средняя длительность полета; центральность аэропорта в общей сети; зона обслуживания (покрытия) аэропорта; типы маршрутизации — модель звездообразной (веерной) сети и линейная модель унимодальной сети	Пассажиропоток выше среди аэропортов, близко расположенных друг к другу, а также являющихся пересадочными узлами и имеющих выгодное расположение в сети — высокий показатель центральности (+); функционирование лоукостеров на унимодальной сети перевозок
Протяженность маршрута	Удаленность регионов или стран друг от друга; разграничение маршрутов на ближнемагистральные, среднемагистральные и дальнемагистральные рейсы	На коротких маршрутах сравнительные преимущества авиатранспорта из-за экономии времени пассажиров в пути, но высокая степень взаимозаменяемости наземным транспортом (+-), на длинных маршрутах срабатывает эффект снижения взаимодействия между городами (-)
Регулирование авиационной отрасли	Индекс либерализации отрасли воздушных перевозок; договор по открытому небу; дамми-переменные, характеризующие введение мер, направленных на поддержку отрасли (субсидирование отдельных направлений)	Меры государства, направленные на сокращение издержек авиакомпаний и/или потребителей, а также упрощению режима полетов над странами-подписантами договора об открытом небе, способствуют увеличению пассажиропотока (+).

Источник: составлено авторами на основе указанных исследований.

Согласно отечественным исследованиям, вышерассмотренные факторы значимы для описания и прогнозирования динамики внутреннего рынка авиаперевозок в России. В ходе регрессионного анализа пассажирских отправок из аэропорта г. Хабаровска определена значимость таких факторов, как численность населения, валовой региональный продукт и число поездок в целях туризма [32], для аэропорта г. Екатеринбурга – пропускная способность и транспортная доступность, уровень тарифов и сборов, отражающие рыночное и конкурентное положение аэропорта на рынке авиаперевозок [33]. Исследования показывают, что на динамику авиационной отрасли влияют существующие конъюнктурные колебания и кризисные явления: ухудшение экономической конъюнктуры сопряжено с сокращением расходов на авиаперевозки со стороны наиболее подвижных групп населения и снижением платежеспособного спроса [34], при этом связь с ростом доходов населения в явном виде не наблюдаема [35]. Также на спрос на авиаперевозки внутри страны влияют факторы экономической и социальной среды, как изменение стиля потребления в пользу компаний-лоукостеров и программы субсидирования. Кроме того, динамика региональных авиаперевозок выше в регионах, где слабо развита наземная инфраструктура и широко представлен соцкластер госслужащих [36].

В целом в отечественных работах основное внимание уделяется построению прогнозных моделей спроса на авиаперевозки для некоторой маршрутной сети или региона [33]. Ключевые детерминанты и особенности пространственного распределения агрегированных потоков авиапассажиров между парами регионов не изучены, что, однако, имеет исследовательскую ценность при исторически сложившейся в России звездообразной структуре воздушной сети, региональных различиях в себестоимости перевозок воздушным транспортом и государственной поддержке отдельных направлений [9].

3 Анализ пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте в России

3.1 Разработка теоретической и эмпирической модели пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте

3.1.1 Методология

В любой период времени qy (квартал и год) матрица пассажирских потоков между парами регионов может быть представлена в виде:

$$p_{ijqy} = \begin{pmatrix} o_1 \to d_1 & o_2 \to d_1 & \dots & o_n \to d_1 \\ o_2 \to d_2 & o_2 \to d_2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & o_n \to d_{n-1} \\ \dots & \dots & \dots & o_n \to d_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где p_{ijqy}— матрица пассажирских потоков размерности $n \times n$;

столбцы и строки матрицы — регионы отправления (o_i) и назначения (d_j) от 1 до n.

Квадратная матрица потоков может быть преобразована в вектор p_{qy} размерностью $n^2 \times 1$, при этом наблюдения упорядочены по регионам отправления: $p_{qy}^o = vec(p_{ijqy})$ [16].

Матрица расстояний между каждой парой регионов отправления и назначения $dist_{ij}$ имеет размерность $n \times n$, матрица объясняющих переменных X, содержащая k-характеристик n-регионов, – размерность $n \times k$, матрица l-индикаторных переменных D – размерность $n \times l$. Для представления в итоговом виде размерностью $N \times N$, $N \times k$ и $N \times l$ соответственно матрицы умножаются на n. Тогда матрицы характеристик могут быть рассчитаны для городов назначения и городов отправления соответственно:

$$X_d = i_n \otimes X, \tag{2}$$

$$X_o = X \otimes i_n, \tag{3}$$

где i_n – единичный вектор размерности $n \times 1$;

$\otimes$ — произведение Кронекера.

В качестве эмпирической модели авиаперевозок выбрана аддитивная логарифмическая гравитационная модель с пространственной компонентой (4). В обобщенном виде модель включает класс пространственных эконометрических моделей с эндогенной ($W\, ln\, p_{ijqy}$) и экзогенной ($W\, ln\, X_{iqy}$) формами пространственного взаимодействия, а также пространственной зависимостью случайной величины (Wu). Обобщенная модель может быть усечена до спецификации с пространственным лагом зависимой переменной, SAR ($\theta_o = \lambda_0 = 0$), с пространственным лагом зависимой и объясняющей переменных, SDM ($\lambda_0 = 0$) либо с пространственной ошибкой, SEM ($\rho_o = \theta_o = 0$).

$$\begin{aligned} ln\, p_{ijqy} = \alpha I_n &+ \sum_{k \in K} g_k\, ln\, X_{kiqy} + \sum_{k \in K} \beta_k\, ln\, X_{kjqy} - \xi dist_{kij} + \rho_o W\, ln\, p_{ijqy} \\ &+ \sum_{k \in K} \theta_o W\, ln\, X_{kiqy} + \sum_{l \in L} \nu_l D_{li} + \sum_{l \in L} \mu_l D_{lj} + \sum_{qy \in T} \delta_{qy} period_{qy} \\ &+ u, \end{aligned} \tag{4}$$

$$u = \lambda_0 W u + \varepsilon_{ijqy}, \tag{5}$$

где αI_n – вектор констант размерности $n^2 \times 1$;

X_{iqy} и X_{jqy} – характеристики регионов отправления i и назначения j;

$dist_{ij}$ – расстояние между i и j;

W – матрица пространственных весов;

D_i и D_j – индикаторные переменные;

ρ_o – коэффициент пространственной авторегрессии;

u – пространственная ошибка.

Для интерпретации оценок влияния детерминант на объем пассажирских потоков рассчитаны прямые, косвенные (пространственные) и общие эффекты [37].

Для проверки устойчивости полученных результатов влияния факторов эмпирическая модель последовательно оценивается на весовых матрицах, построенных по трем различным спецификациям пространственных связей между регионами: на основе графа фактической авиатранспортной сети, критерия 5 ближайших соседей (англ. nearest neighbors) и сферы влияния (англ. sphere of influence) [38]. Элементы матрицы ненулевые: $w_{ij} > 0$, если i входит в число m-ближайших соседей j, если i входит в число ближайших соседей j, согласно алгоритму триангуляции Делоне с удалением нерелевантных и слабых связей, либо, если i и j связаны фактическим рейсом и ненулевым потоком пассажиров. Из двух мер соседства, основанного на географической близости, наиболее близкое представление о числе реальных связей в отличие от матрицы пяти ближайших соседей дает более гибкий критерий соседства по сфере влияния, согласно которой каждый регион имеет по крайней мере одного соседа, но общее число соседей не является установленной величиной. Однако и та, и другая меры пространственного взаимодействия в отличие от графа авиатранспортной сети не отражают фактически наблюдаемые связи между регионами исходя из текущей конфигурации воздушной сети пассажирских перевозок и их объемов.

Пространственные весовые матрицы для потоковых данных рассчитываются согласно методологии LeSage и Pace (2009) [37]:

$$W_o = W \otimes I_n = \begin{pmatrix} W & 0_n & \cdots & 0_n \\ 0_n & W & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0_n \\ 0_n & \cdots & 0_n & W \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$W_d = I_n \otimes W, \quad (7)$$

где W_o и W_d – нормализованные по строкам весовые матрицы, основанные на характеристиках соседства для регионов отправления (origin-based) и регионов назначения (destination-based) соответственно;

W – неотрицательная разреженная матрица весов размерности $n \times n$, построенная по методу нахождения m-ближайших соседей ($w_{ij} > 0$, если i входит в число m-ближайших соседей j), либо по графу авиатранспортной сети ($w_{ij} > 0$, если i и j связаны фактическим рейсом и ненулевым потоком пассажиров), либо по критерию сферы влияния с нефиксированным числом соседей ($w_{ij} > 0$, если i входит в число ближайших соседей j, согласно алгоритму триангуляции Делоне с удалением нерелевантных и слабых связей), сумма строковых элементов матрицы W равна единице, а диагональные элементы – нулю;

I_n – единичная матрица размерности $n \times n$;

0_n – нулевая матрица размерности $n \times n$;

$\otimes$ — произведение Кронекера.

Вектор $W_o y$ содержит данные о перевозках, усредненных по ближайшим (соседним) наблюдениям, а именно – перевозках между парами городов из всех соседних пунктов отправления в каждый пункт назначения. Симметрично вектор $W_d y$ содержит усредненные по ближайшим (соседним) наблюдениям, а именно – перевозкам между парами городов из всех соседних пунктов назначения в каждый пункт отправления.

3.1.2 Описание набора данных

Данные по совокупным объемам пассажирских перевозок воздушным транспортом между парами регионов предоставлены Транспортной клиринговой палатой (ТКП) и содержат в себе сведения о 100 крупнейших с точки зрения трафика направлений для каждого квартала 2009-2018 гг., по которым осуществляются внутренние регулярные рейсы российскими авиакомпаниями [39]. Сравнение объемов перевозок ТОП-100 направлений с общим количеством перевезенных внутренними воздушными линиями пассажиров показывает, что данные ТКП охватывают 70% всего объема внутренних перевозок в России. Конечный набор данных включает 3 913 наблюдений о совокупных пассажиропотоках в разрезе аэропортов (привязка аэропорта осуществлена к городу его нахождения). Ограничением данного агрегированного набора данных является отсутствие детализации о типе маршруте (стыковочный или прямой), что не позволяет определить, являются ли аэропорты назначения конечными пунктами пассажиропотоков.

Основной массив открытых социально-экономических данных, включая данные о численности и динамике населения, индексах валового регионального продукта и промышленного производства, потребительских ценах, занятых в отраслях экономики и числе туристов, размещенных в коллективных средствах размещения, находится в ведении

Федеральной службы государственной статистики (Росстат). Данные по совокупным объемам перевозок пассажиров через региональные аэропорты и аэродромы публикуются Федеральным агентством воздушного транспорта (Росавиация). Информация о ставках тарифов и сборов предоставляется Федеральной антимонопольной службой (ФАС).

Ввиду того, что частотность данных является поквартальной, статистические данные были приведены к данному уровню агрегации. Квартальная численность населения в регионах рассчитана с учетом месячной динамики естественного прироста населения. Для использования показателя ВРП в качестве переменной, характеризующей экономическую активность регионов, проведены действия по преобразованию показателя в годовой разбивке в квартальную с учетом квартальной темпов роста региональных индексов промышленного производства. В отношении таких показателей, как ставка сбора за аэронавигационное обслуживание в районах аэродромов отправления и объем перевозок пассажиров через аэропорты, были применены методы усреднения и/или агрегации по всем городам (аэропортам), входящих в состав региона и принимающих/отправляющих потоки пассажиров.

Для анализа факторов распределения пассажирских перевозок воздушным транспортом использовалось расстояние между аэропортами, рассчитанное как геометрическое расстояние между двумя точками на эллипсе по формуле гаверсинусов.

3.2 Эмпирический анализ пространственного распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте с учетом взаимосвязей и характеристик аэропортовой сети в России

Внутрироссийская маршрутная сеть авиаперевозок имеет выраженную звездообразную (веерную) структуру: пассажиропотоки из региональных центров проходят через единый транспортно-логистический узел Москву, характеризующуюся центральным расположением относительно других аэропортов (*рисунок 7*). За весь период наблюдения в московском авиационном узле было сконцентрировано 95% совокупного воздушного пассажирского трафика, объясняется высокой частотностью полетов через Москву[1] и свидетельствует о большой нагрузке на инфраструктуру воздушного транспорта в московском авиаузле. Текущая конфигурация воздушной сети пассажирских перевозок обладает низкой вариативностью маршрутов: из 147 направлений только 16 не включают Москву или Санкт-Петербург в качестве региона отправления или назначения. Средняя интенсивность по рейсам в обход Москвы или Санкт-Петербурга, например, в другие крупные региональные центры, как Новосибирская область, Красноярский край соразмерна с потоками в Москву (из Москвы) и в Санкт-Петербург (из Санкт-Петербурга).

[1] Частота полетов через Москву в 7 раз выше, чем через Санкт-Петербург, и в 18 раз выше, чем через Краснодарский край.

Рисунок 7. Граф пассажироперевозок на воздушном транспорте.
Источник: составлено авторами на основе данных ТКП [39].

Граф авиаперевозок на основе текущей конфигурации воздушной сети перевозок пассажиров, представленный на рисунке 7, описывает фактические взаимосвязи между парами регионов: пространственными соседями являются регионы, напрямую связанные рейсом в маршрутной сети вне зависимости от их географического расположения относительно друг друга. Наиболее связанным в структуре пассажирских перевозок регионом является Москва, имеющая прямые маршруты со всеми остальными регионами, входящими в выборку. Большинство регионов имеет прямую связь только с Москвой.

Согласно анализу ключевых детерминант распределения пассажиропотоков на воздушном транспорте в эмпирической и теоретической литературе, сформулированы гипотезы исследования.

– Гипотеза 1. Распределение пассажиропотоков на воздушном транспорте в России подчиняется гравитационному механизму и может быть описано с помощью моделей гравитационного типа

Социально-экономические показатели «массы» регионов отправления и назначения (ВРП) характеризуют экономическую активность и размер рынка авиаперевозок. Альтернативным показателем потенциального спроса на авиаперевозки выступает показатель силы авиаузла (меры тяготения населения к воздушному транспорту), рассчитанный как отношение объема перевозок пассажиров через аэропорты региона к численности населения. Расстояние, ассоциирующееся с издержками на перемещение для потребителей и авиакомпаний, выступает в качестве отталкивающего потоки механизма.

– Гипотеза 2. На маршрутах средней протяженности снижается интенсивность пассажирских потоков, что связано с переключением на альтернативные виды транспорта

С ростом протяженности маршрута снижается интенсивность пассажиропотоков на воздушном транспорте: на коротких и средних расстояниях сравнительные преимущества авиатранспорта из-за экономии времени в пути могут перекрываться высокой степенью взаимозаменяемости наземным транспортом, на дальних расстояниях срабатывает эффект снижения взаимодействия между городами. Для учета возможного разнонаправленного влияния расстояния целесообразно разграничивать маршруты по степени дальности, вводя индикаторные переменные для направлений малой, средней и большой протяженности.

– Гипотеза 3. Рост стоимости услуг авиаперевозок в регионе отправления и в регионе назначения с учетом дальности уменьшает поток авиапассажиров на направлении

Спрос потребителей чувствителен к цене авиабилетов: увеличение средней стоимости авиаперевозок в регионах снижает поток авиапассажиров, что может быть связано с уменьшением доступности воздушного транспорта для потребителей и переключением на альтернативные виды транспорта.

– Гипотеза 4. Рост тарифов и сборов, включая ставку аэронавигационного обслуживания в региональных аэропортах, ассоциируется с ростом издержек для авиакомпаний и снижением интенсивности перевозок на направлении

Изменения тарифной политики, регулирующей топливные, экологические и туристические сборы и ставки, в сторону их повышения отрицательно влияют на объем пассажирских перевозок между регионами, что связано с ростом издержек для перевозчиков, а также возникновением эффекта переноса издержек в цену авиабилета, оказывающего негативное влияние на спрос. Кроме того, тарифная политика влияет на организацию маршрутной сети: аэропорты со сравнительно низкими ставками имеют преимущества в обслуживании внутренних рейсов, в том числе стыковочных.

– Гипотеза 5. Обслуживание направления бюджетной авиакомпанией (лоукостером) стимулирует рост пассажиропотока

Присутствие лоукостера на направлении способствует повышению доступности полетов, в том числе по туристическим направлениям, для потребителей разного уровня доходов, снижению концентрации рынка, увеличению частоты рейсов на направлении.

– Гипотеза 6. Интенсивность перевозок пассажиров определяется отраслевой специализацией регионов и характеристиками региональных рынков труда

Интенсивность туристических потоков по отдельным направлениям стимулирует рост авиаперевозок пассажиров, путешествующих в целях досуга и туризма между парами регионов. Характеристикой спроса на пассажирские авиаперевозки также является платежеспособность населения – средний уровень заработной платы, скорректированный на индекс стоимости жизни в регионах.

Северные и приравненные к ним регионы с высокой долей занятых в добывающей промышленности играют роль локальных центров притяжения потоков трудовой межрегиональной миграции, обслуживаемых авиатранспортом в связи с географической удаленностью и неразвитой автодорожной инфраструктурой.

– Гипотеза 7. Значимость пространственных эффектов – пространственной зависимости потоков между регионами

Потоки пассажиров воздушным транспортом могут быть взаимосвязаны и коррелированы в пространстве, что объясняется влиянием на интенсивность потоков и объемов перевозок по смежным направлениям, характеристик соседних регионов (влияние внутри одного макрорегиона) либо ненаблюдаемых/неучтенных в модели коррелирующих в пространстве факторов, определяющих конфигурацию региональной маршрутной сети.

3.3 Анализ особенностей полученных оценок влияния факторов на объемы воздушных перевозок

3.3.1 Оценки эмпирической модели

Линейные непространственные модели

В таблице ниже приведены результаты оценок панельной регрессии без учета пространственной компоненты (*таблица 2*). Столбец (1) в таблице представляет оценки сквозной панельной регрессии, оцененной на исходной несбалансированной выборке, столбец (3) – панельную регрессию с фиксированными временными и индивидуальными эффектами для исходной выборки. Вторая и четвертая спецификации модели (сквозная и с фиксированными эффектами регрессии соответственно) оценены на выборке с дозаполненными пропусками, полученной в ходе решения задачи восстановления регрессии алгоритмом случайного леса.

Согласно коэффициенту детерминации, модели обладают хорошей объясняющей способностью описывать данные. Линейная модель лучше описывает исходные наблюдения, на что указывают оценки информационного критерия Акаике и логарифм функции

правдоподобия. Направление влияния, полученное в ходе оценивания регрессионного уравнения без пространственной компоненты на разных выборках, совпадает.

Для учета косвенного влияния качественных (сопутствующих) факторов введены дамми-переменные, отвечающие за сезонность, географию и дальность авиаперевозок, а также обслуживание направления бюджетной авиакомпанией (лоукостером).

Таблица 2

Оценки линейной модели и модели с фиксированными временными эффектами.

Объем пассажироперевозок (лог)				
Переменная	(1)	(2)	(3)	(4)
Константа	13,917 ***	6,882 ***		
	(0,612)	(0,598)		
ВРП_отпр (лог)	0,051 ***	0,101 ***	0,073 ***	0,106 ***
	(0,011)	(0,009)	(0,012)	(0,010)
ВРП_назн (лог)	0,053 ***	0,103 ***	0,074 ***	0,111 ***
	(0,011)	(0,009)	(0,012)	(0,010)
Сила узла_отпр (лог)	0,753 ***	0,428 ***	0,785 ***	0,409 ***
	(0,015)	(0,013)	(0,016)	(0,013)
Сила узла_назн (лог)	0,731 ***	0,436 ***	0,763 ***	0,410 ***
	(0,015)	(0,013)	(0,016)	(0,014)
Расстояние (лог)	-0,512 ***	-0,620 ***	-0,487 ***	-0,662 ***
	(0,055)	(0,054)	(0,053)	(0,053)
Аэросбор на 1 км пути_отпр (лог)	-0,048	-0,257 ***	-0,008	-0,254 ***
	(0,033)	(0,033)	(0,032)	(0,033)
Аэросбор на 1 км пути_назн (лог)	-0,095 **	-0,198 ***	-0,056	-0,200 ***
	(0,033)	(0,033)	(0,033)	(0,032)
Стоимость перелета_отпр (лог)	-0,290 ***	-0,097 **	-0,340 ***	-0,166 ***
	(0,037)	(0,037)	(0,038)	(0,037)
Стоимость перелета_назн (лог)	-0,277 ***	-0,067	-0,326 ***	-0,131 ***
	(0,037)	(0,038)	(0,038)	(0,037)
ЗП на душу_отпр (лог)	0,433 ***	0,097	0,548 ***	0,313 ***
	(0,080)	(0,079)	(0,086)	(0,081)
ЗП на душу_назн (лог)	0,398 ***	0,067	0,512 ***	0,283 ***
	(0,080)	(0,079)	(0,086)	(0,081)
Стоимость перелета_отпр (лог) * ЗП_отпр (лог)	-0,091 ***	-0,036 ***	-0,103 ***	-0,053 ***
	(0,008)	(0,008)	(0,009)	(0,008)
Стоимость перелета_назн (лог) * ЗП_назн (лог)	-0,088 ***	-0,036 ***	-0,100 ***	-0,052 ***
	(0,008)	(0,008)	(0,009)	(0,008)
Турпоток_отпр (лог)	0,069 ***	0,197 ***	0,064 ***	0,259 ***
	(0,011)	(0,009)	(0,014)	(0,010)
Турпоток_назн (лог)	0,064 ***	0,191 ***	0,058 ***	0,255 ***
	(0,011)	(0,009)	(0,014)	(0,010)
Доля занятых добпром_отпр (лог)	0,009	0,037 ***	0,004	0,041 ***
	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)
Доля занятых добпром_назн (лог)	0,004	0,039 ***	-0,001	0,041 ***
	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)
2 квартал	-0,263 ***	-0,125 ***		
	(0,017)	(0,016)		
3 квартал	-0,504 ***	-0,238 ***		
	(0,019)	(0,018)		

4 квартал	-0,157 ***	-0,099 ***		
	(0,016)	(0,015)		
Ближнемагистральный (1000 км - 2500 км)	0,008	-0,006	0,016	0,014
	(0,021)	(0,021)	(0,021)	(0,020)
Среднемагистральный (2500 км - 6000 км)	-0,084 *	-0,240 ***	-0,038	-0,215 ***
	(0,042)	(0,041)	(0,043)	(0,041)
Дальнемагистральный (свыше 6000 км)	-0,073	-0,105	-0,027	-0,064
	(0,056)	(0,055)	(0,055)	(0,053)
Лоукостер	0,037 *	0,054 **	0,003	0,062 **
	(0,018)	(0,019)	(0,018)	(0,019)
Москва	0,797 ***	0,462 ***	0,762 ***	0,504 ***
	(0,030)	(0,024)	(0,030)	(0,024)
Северный регион_отпр	0,549 ***	0,555 ***	0,536 ***	0,524 ***
	(0,039)	(0,031)	(0,039)	(0,030)
Северный регион_назн	0,585 ***	0,540 ***	0,579 ***	0,515 ***
	(0,039)	(0,030)	(0,039)	(0,029)
Север_отпр * Москва	-0,831 ***	-0,655 ***	-0,821 ***	-0,658 ***
	(0,040)	(0,035)	(0,039)	(0,034)
Москва * Север_назн	-0,876 ***	-0,656 ***	-0,872 ***	-0,666 ***
	(0,041)	(0,035)	(0,040)	(0,034)
Период (T)	T=40, 2009Q1 - 2018Q4			
Кол-во наблюдений (N)	3036	4880	3036	4880
AIC	1209,376	4130,293	928,9404	3752,257
Log-Lik	-573,6882	-2034,15	-437,4702	-1849,13
R^2	0,873	0,746	0,859	0,718

Источник: составлено авторами.

Пространственные модели

В таблице ниже приведены результаты оценок панельной регрессии с учетом пространственной компоненты в трех спецификациях – с пространственным лагом зависимой переменной SAR (1), с пространственным лагом зависимой и объясняющей переменных SDM (2) и с пространственной ошибкой SEM (3) (*таблица 3*). Модели оценены на матрицах с разной пространственной зависимостью: по критерию пяти ближайших соседей, по сфере влияния, по графу фактической воздушной сети.

Рассмотрена пространственная зависимость между объемами и распределением пассажирских потоков, связанная с соседством для регионов отправления (origin-dependence). Согласно данному механизму, увеличение потоков между пунктом отправления А и пунктом назначения Б связано с увеличением потоков из региона С, соседнего к региону А, в регион Б (обозначено синей линией, *рисунок 8*). В контексте географических матриц весовых коэффициентов под соседними понимаются смежные регионы. В матрице, построенной по графу авиаперевозок, соседние регионы связаны прямым рейсом: объем потоков по данному направлению зависит от потока по направлению с пересадкой в другом регионе.

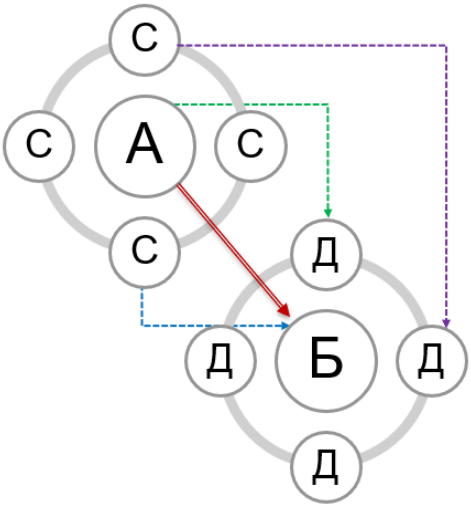

Рисунок 8. Механизм пространственного взаимодействия пассажирских потоков между пространственными единицами (регионами). Источник: составлено авторами.

Полученные результаты иллюстрируют наличие пространственной зависимости в данных. Согласно коэффициенту детерминации, пространственные модели обладают сравнительно лучшей объясняющей способностью, чем линейная модель без пространственной компоненты. При этом наиболее высокая доля объясненной дисперсии наблюдается для модели с пространственной ошибкой. Модели с пространственным лагом переменных лучше описывают наблюдения, на что указывают оценки информационного критерия Акаике и логарифм функции правдоподобия. Направление влияния, полученное в ходе оценивания регрессионных уравнений с пространственной компонентой разного типа, совпадает.

Таблица 3

Оценки пространственной модели SAR (1), SDM (2), SEM (3)

Объем перевозок (лог)									
Переменная\Тип весовой матрицы	Граф			Сфера влияния			5 ближайших соседей		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Константа	7,339***	5,351***	6,841***	4,901***	5,074***	6,865***	5,563***	5,469***	6,908***
	(0,579)	(0,631)	(0,588)	(0,578)	(0,588)	(0,594)	(0,586)	(0,597)	(0,595)
λ	0,025***	-0,040***		0,032***	0,039***		0,021***	0,024*	
	(0,002)	(0,009)		(0,002)	(0,011)		(0,002)	(0,012)	
ρ			0,135***			0,083***			-0,026
			(0,020)			(0,021)			(0,021)
ВРП_отпр (лог)	0,095***	0,087***	0,104***	0,107***	0,119***	0,097***	0,103***	0,096***	0,101***
	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)
ВРП_назн (лог)	0,104***	0,098***	0,110***	0,110***	0,106***	0,101***	0,110***	0,110***	0,104***
	(0,009)	(0,009)	(0,010)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)
Лаг (лог) ВРП_отпр		0,064***			-0,011***			0,000	
		(0,002)			(0,002)			(0,002)	
Сила узла_отпр (лог)	0,368***	0,386***	0,418***	0,457***	0,470***	0,436***	0,451***	0,447***	0,428***
	(0,012)	(0,013)	(0,013)	(0,012)	(0,013)	(0,013)	(0,013)	(0,013)	(0,013)
Сила узла_назн (лог)	0,376***	0,387***	0,432***	0,371***	0,367***	0,442***	0,388***	0,390***	0,434***
	(0,013)	(0,013)	(0,014)	(0,013)	(0,013)	(0,014)	(0,013)	(0,014)	(0,013)
Лаг (лог) сила узла_отпр		0,100***			-0,072***			0,039*	
		(0,017)			(0,015)			(0,016)	
Расстояние (лог)	-0,276***	-0,269***	-0,547***	-0,335***	-0,361***	-0,587***	-0,486***	-0,480***	-0,625***
	(0,053)	(0,056)	(0,056)	(0,053)	(0,055)	(0,055)	(0,053)	(0,055)	(0,054)
Аэросбор на 1 км пути_отпр (лог)	-0,067*	-0,096**	-0,227***	-0,089**	-0,141***	-0,223***	-0,171***	-0,156***	-0,263***
	(0,032)	(0,034)	(0,033)	(0,032)	(0,035)	(0,034)	(0,033)	(0,034)	(0,033)
Аэросбор на 1 км пути_назн (лог)	-0,051	-0,087**	-0,179***	-0,140***	-0,122***	-0,184***	-0,202***	-0,208***	-0,201***
	(0,032)	(0,033)	(0,035)	(0,032)	(0,032)	(0,034)	(0,032)	(0,032)	(0,032)

Стоимость перелета_отпр (лог)	-0,188***	-0,114**	-0,088*	-0,092*	-0,086*	-0,100**	-0,088*	-0,086*	-0,100**
	(0,036)	(0,038)	(0,036)	(0,036)	(0,036)	(0,037)	(0,037)	(0,037)	(0,037)
Стоимость перелета_назн (лог)	-0,192***	-0,086*	-0,141***	-0,042	-0,055	-0,080*	-0,041	-0,030	-0,063.
	(0,036)	(0,038)	(0,038)	(0,036)	(0,036)	(0,038)	(0,037)	(0,037)	(0,037)
ЗП на душу_отпр (лог)	0,302***	0,127	0,053	0,093	0,096	0,092	0,072	0,062	0,103
	(0,076)	(0,082)	(0,078)	(0,076)	(0,076)	(0,078)	(0,077)	(0,077)	(0,078)
ЗП на душу_назн (лог)	0,337***	0,027	0,225**	-0,071	-0,042	0,077	-0,035	-0,064	0,064
	(0,076)	(0,083)	(0,079)	(0,076)	(0,077)	(0,080)	(0,077)	(0,079)	(0,078)
Стоимость перелета_отпр (лог) * ЗП_отпр (лог)	-0,054***	-0,037***	-0,031***	-0,039***	-0,037***	-0,036***	-0,036***	-0,036***	-0,037***
	(0,008)	(0,009)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)
Стоимость перелета_назн (лог) * ЗП_назн (лог)	-0,059***	-0,029***	-0,051***	-0,020*	-0,023**	-0,038***	-0,024**	-0,021*	-0,035***
	(0,008)	(0,009)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)	(0,008)
Турпоток_отпр (лог)	0,192***	0,192***	0,204***	0,208***	0,201***	0,199***	0,207***	0,209***	0,196***
	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)	(0,009)
Турпоток_назн (лог)	0,180***	0,179***	0,192***	0,164***	0,170***	0,192***	0,175***	0,172***	0,190***
	(0,009)	(0,009)	(0,010)	(0,009)	(0,009)	(0,010)	(0,009)	(0,009)	(0,009)
Доля занятых добпром_отпр (лог)	0,019**	0,023***	0,039***	0,053***	0,046***	0,038***	0,046***	0,050***	0,037***
	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)
Доля занятых добпром_назн (лог)	0,022***	0,021**	0,030***	0,059***	0,061***	0,041***	0,049***	0,049***	0,039***
	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)	(0,007)
2 квартал	-0,092***	-0,107***	-0,118***	-0,114***	-0,104***	-0,129***	-0,118***	-0,124***	-0,125***
	(0,015)	(0,016)	(0,017)	(0,015)	(0,015)	(0,016)	(0,016)	(0,016)	(0,016)
3 квартал	-0,173***	-0,204***	-0,223***	-0,217***	-0,199***	-0,243***	-0,224***	-0,235***	-0,236***
	(0,017)	(0,018)	(0,019)	(0,017)	(0,018)	(0,018)	(0,018)	(0,018)	(0,018)
4 квартал	-0,075***	-0,087***	-0,095***	-0,091***	-0,085***	-0,099***	-0,094***	-0,098***	-0,099***
	(0,015)	(0,015)	(0,016)	(0,015)	(0,015)	(0,016)	(0,015)	(0,015)	(0,015)
Ближнемагистральный (1000 км - 2500 км)	-0,012	-0,015	-0,012	-0,007	0,005	0,001	-0,008	-0,013	-0,009
	(0,020)	(0,020)	(0,021)	(0,020)	(0,020)	(0,021)	(0,021)	(0,021)	(0,021)
Среднемагистральный (2500 км - 6000 км)	-0,129**	-0,158***	-0,257***	-0,196***	-0,197***	-0,221***	-0,235***	-0,233***	-0,247***
	(0,040)	(0,041)	(0,041)	(0,040)	(0,040)	(0,041)	(0,040)	(0,040)	(0,041)
Дальнемагистральный (свыше 6000 км)	-0,139**	-0,184***	-0,124*	-0,058	-0,051	-0,077	-0,095.	-0,095.	-0,115*
	(0,053)	(0,054)	(0,054)	(0,053)	(0,053)	(0,054)	(0,054)	(0,054)	(0,055)

Лоукостер	0,049**	0,040*	0,051**	0,047**	0,052**	0,053**	0,047**	0,046*	0,054**
	(0,018)	(0,018)	(0,019)	(0,018)	(0,018)	(0,019)	(0,018)	(0,018)	(0,019)
Москва	0,699***	0,812***	0,499***	0,556***	0,483***	0,484***	0,546***	0,581***	0,455***
	(0,024)	(0,031)	(0,024)	(0,023)	(0,028)	(0,024)	(0,024)	(0,029)	(0,024)
Север_отпр	0,419***	0,442***	0,534***	0,691***	0,660***	0,569***	0,653***	0,664***	0,550***
	(0,030)	(0,031)	(0,030)	(0,030)	(0,031)	(0,031)	(0,030)	(0,031)	(0,030)
Север_назн	0,434***	0,425***	0,619***	0,527***	0,521***	0,560***	0,572***	0,578***	0,535***
	(0,029)	(0,030)	(0,030)	(0,029)	(0,029)	(0,030)	(0,029)	(0,029)	(0,029)
Москва * Север_отпр	-0,625***	-0,612***	-0,664***	-0,834***	-0,804***	-0,659***	-0,774***	-0,777***	-0,651***
	(0,034)	(0,034)	(0,034)	(0,034)	(0,036)	(0,036)	(0,035)	(0,036)	(0,035)
Москва * Север_назн	-0,623***	-0,601***	-0,697***	-0,703***	-0,701***	-0,643***	-0,730***	-0,733***	-0,661***
	(0,034)	(0,034)	(0,033)	(0,034)	(0,034)	(0,034)	(0,034)	(0,035)	(0,035)
Период	2009Q1 - 2018Q4								
Кол-во наблюдений	4880								
AIC	3 858	3 777	4 088	3 828	3 809	4 115	3 975	3 973	4 129
Log-Lik	-1 898	-1 856	-2 013	-1 883	-1 872	-2 026	-1 957	-1 953	-2 034
R^2	0,68	0,57	0,74	0,62	0,56	0,75	0,69	0,68	0,75

Источник: составлено авторами.

Оценки прямых и косвенных (пространственных) эффектов

Для сравнения с результатами линейной модели были получены оценки прямых, косвенных, общих эффектов, которые представлены в таблице ниже (*таблица 4*). По оценкам общих эффектов можно сказать, что для пространственных моделей эффекты влияния отдельных факторов на объемы авиаперевозок ниже. Так, например, линейная модель переоценивала влияние таких факторов, как сила узла в регионе назначения, расстояние, ставка сбора за аэронавигационное обслуживание, но недооценивала влияние маршрутизации через московский авиационный узел на объем пассажирских перевозок. Для разных типов пространственных матриц весовых коэффициентов величина эффектов разнится, однако, направление влияния сохраняется.

Пространственные гравитационные модели фиксируют влияние дальности перевозок на объемы, стоимости перелета и заработной платы (оценки линейной модели были незначимы). Величина косвенных эффектов относительно мала: непосредственные показатели соседних регионов оказывают слабое влияние на интенсивность и объемы по заданному направлению.

Таблица 4

Оценки эффектов для модели с авторегрессионным пространственным лагом.

Переменная\Тип весовой матрицы	Средний прямой эффект			Средний косвенный эффект			Средний общий эффект		
	Граф	Сфера влияния	5 ближ. соседей	Граф	Сфера влияния	5 ближ. соседей	Граф	Сфера влияния	5 ближ. соседей
Константа	7,340	4,902	5,563	0,094	0,093	0,070	7,434	4,995	5,633
ВРП_отпр (лог)	0,095	0,107	0,103	0,001	0,002	0,001	0,096	0,109	0,104
ВРП_назн (лог)	0,104	0,110	0,110	0,001	0,002	0,001	0,105	0,112	0,111
Сила узла_отпр (лог)	0,368	0,458	0,451	0,005	0,009	0,006	0,373	0,466	0,457
Сила узла_назн (лог)	0,376	0,371	0,388	0,005	0,007	0,005	0,381	0,378	0,393
Расстояние (лог)	-0,276	-0,335	-0,486	-0,004	-0,006	-0,006	-0,28	-0,342	-0,492
Аэросбор на 1 км пути_отпр (лог)	-0,067	-0,089	-0,171	-0,001	-0,002	-0,002	-0,068	-0,091	-0,173
Аэросбор на 1 км пути_назн (лог)	-0,051	-0,140	-0,202	-0,001	-0,003	-0,003	-0,052	-0,142	-0,205
Стоимость перелета_отпр (лог)	-0,188	-0,092	-0,088	-0,002	-0,002	-0,001	-0,19	-0,094	-0,089
ЗП на душу_отпр (лог)	0,302	0,093	0,072	0,004	0,002	0,001	0,306	0,095	0,073
Стоимость перелета_назн (лог)	-0,192	-0,042	-0,041	-0,002	-0,001	-0,001	-0,194	-0,043	-0,042
ЗП на душу_назн (лог)	0,337	-0,071	-0,035	0,004	-0,001	0,000	0,341	-0,073	-0,036
Турпоток_отпр (лог)	0,192	0,208	0,207	0,002	0,004	0,003	0,194	0,212	0,210
Турпоток_назн (лог)	0,179	0,164	0,175	0,002	0,003	0,002	0,181	0,167	0,177
Доля занятых добпром_отпр (лог)	0,019	0,053	0,046	0,0002	0,001	0,001	0,0192	0,054	0,046

Доля занятых добпром_назн (лог)	0,022	0,059	0,049	0,0003	0,001	0,001	0,0223	0,060	0,050
2 квартал	-0,092	-0,114	-0,118	-0,001	-0,002	-0,001	-0,093	-0,116	-0,119
3 квартал	-0,173	-0,217	-0,224	-0,002	-0,004	-0,003	-0,175	-0,221	-0,227
4 квартал	-0,075	-0,091	-0,094	-0,001	-0,002	-0,001	-0,076	-0,093	-0,095
Ближнемагистральный (1000 км - 2500 км)	-0,012	-0,007	-0,008	-0,0002	0,000	0,000	-0,0122	-0,007	-0,009
Среднемагистральный (2500 км - 6000 км)	-0,129	-0,196	-0,235	-0,002	-0,004	-0,003	-0,131	-0,199	-0,238
Дальнемагистральный (свыше 6000 км)	-0,139	-0,058	-0,095	-0,002	-0,001	-0,001	-0,141	-0,059	-0,097
Лоукостер	0,049	0,047	0,047	0,001	0,001	0,001	0,05	0,048	0,048
Москва	0,699	0,556	0,546	0,009	0,011	0,007	0,708	0,566	0,553
Северный регион_отпр	0,434	0,691	0,653	0,006	0,013	0,008	0,44	0,704	0,661
Северный регион_назн	0,419	0,528	0,572	0,005	0,010	0,007	0,424	0,538	0,579
Стоимость перелета_отпр (лог) * ЗП_отпр (лог)	-0,054	-0,039	-0,036	-0,001	-0,001	0,000	-0,055	-0,039	-0,036
Стоимость перелета_назн (лог) * ЗП_назн (лог)	-0,059	-0,020	-0,024	-0,001	0,000	0,000	-0,06	-0,021	-0,024
Москва * Север_отпр	-0,623	-0,834	-0,774	-0,008	-0,016	-0,010	-0,631	-0,850	-0,784
Москва * Север_назн	-0,625	-0,704	-0,730	-0,008	-0,013	-0,009	-0,633	-0,717	-0,739

Источник: составлено авторами.

3.3.2 Анализ и интерпретация оценок влияния

Согласно результатам регрессионного анализа (*таблицы 2-4*), гипотезы о влиянии ключевых детерминант могут быть приняты. Ключевыми детерминантами текущей конфигурации межрегиональных пассажирских потоков воздушным транспортом являются социально-экономические факторы, как валовой региональный продукт и показатель меры тяготения населения к воздушному транспорту (сила авиаузла), отраслевая специализация и характеристики региональных рынков труда, тарифная и ценовая политика, протяженность маршрута, обслуживание направления бюджетной авиакомпанией, интенсивность туристических потоков и сезонность. Факторы, за исключением расстояния и стоимостной величины издержек для потребителей и авиакомпаний, положительно влияют на интенсивность и объемы пассажиропотоков между парами регионов.

Влияние ключевых факторов на объемы воздушных перевозок в России может быть представлено тезисно. Согласно оценкам общего эффекта, полученного в ходе оценивания пространственной модели с авторегрессионным лагом для разных спецификаций матриц весовых коэффициентов:

- рост валового регионального выпуска на 10% в регионе отправления (в регионе назначения) ассоциируется с повышением пассажирского потока на 0,91-1,04%[2] (1-1,07%);
- рост силы узла на 10% в регионе отправления (в регионе назначения) ассоциируется с повышением пассажирского потока на 3,61-4,45% (3,66-3,81%);
- рост протяженности маршрута между регионами снижает интенсивность потоков на 2,63-4,58%;
- рост аэронавигационного сбора на 10% в регионе отправления (в регионе назначения) ассоциируется со снижением пассажирского потока на 0,64-1,63% (1,34-1,93%);
- рост стоимости перелета на 10% в регионе отправления (в регионе назначения) при неизменности заработной платы в регионе отправления (в регионе назначения) ассоциируется со снижением пассажирского потока на 1,18-2,31% (2,4%);
- рост заработной платы на 10% в регионе отправления (в регионе назначения) при неизменности стоимости перелета в регионе отправления (в регионе назначения) ассоциируется с повышением пассажирского потока на 2,43% (2,73%);
- рост числа туристов, размещенных в регионе отправления (в регионе назначения), ассоциируется с повышением пассажирского потока на 1,86-2,04% (1,6-1,74%);
- рост доли занятых в отрасли добывающей промышленности в регионе отправления (в регионе назначения) ассоциируется с повышением пассажирского потока на 0,18-0,51% (0,21-0,57%);
- для второго, третьего и четвертого кварталов отмечено снижение пассажирского потока по отношению к базовому первому кварталу[3]: на 7,31-9,06% меньше пассажиропоток в 4 квартале, на 16,05-20,3% в 3 квартале, на 8,88-11,21% во 2 квартале;
- объемы потоков снижаются на 12,27-21,17% на рейсах средней дальности (2,5-6 тыс. км) и на 13,15% – на дальнемагистральных рейсах (свыше 6 тыс. км) по сравнению с базовой категорией (до 1 тыс. км);
- обслуживание направления бюджетной авиакомпанией увеличивает пассажирский поток на 4,91-5,12%;
- объемы пассажиропотока, проходящего через Московский авиационный узел, выше, чем в обход: поток из Москвы или в Москву для текущей конфигурации

[2] Эффект влияния роста объясняющей переменной на 10% на зависимую переменную в случае, если они обе преобразованы в логарифмы, рассчитан по формуле: (1,10^β – 1) * 100%, где β – оценка регрессионного уравнения.

[3] Эффект влияния объясняющей индикаторной переменной на зависимую переменную в случае, если она преобразована в логарифм, рассчитан по формуле: (exp(β) – 1) * 100%, где β – оценка регрессионного уравнения.

авиаперевозок в среднем на 103% выше (на 56%, если поток исходит или направляется в северные регионы);

– объемы пассажиропотока из северных регионов в Москву для текущей конфигурации авиаперевозок в среднем выше на 8,47% (в обход Москвы – на 55,27%), объемы пассажиропотока в северные регионы из Москвы – выше на 5,90% (в обход Москвы – на 52,8%).

Положительный знак перед показателями ВРП и силы узла как в регионе отправления, так и в регионе назначения указывает на то, что фактическое распределение авиаперевозок внутри страны подчиняется гравитационному механизму: объемы потенциального рынка и спроса сонаправлены с ростом авиапотоков пассажиров между ними. При этом интенсивность потоков, как и в классической гравитационной модели внешней торговли, снижается с увеличением расстояния между регионами.

Разбиение по дальности перелета позволяет увидеть (нелинейный) эффект увеличения расстояния: в среднем более чем на 12% объемы потоков снижаются на рейсах средней дальности (2500-6000 км) по сравнению с базовой категорией (до 1000 км), что, вероятно, связано с замещением альтернативными видами транспорта. На дальнемагистральных рейсах отрицательный эффект сохраняется, но он ниже, что в целом подтверждает действие гравитационного механизма и снижения интенсивности пространственного взаимодействия между парами городов на больших расстояниях.

Особый интерес представляют переменные, по оценкам которых можно формировать экономические рекомендации. Одна из таких детерминант – тарифная и ценовая политика в регионах отправления и назначения. Повышение ставки аэронавигационных сборов в аэропортах и удорожание стоимости авиабилетов ассоциируется с низкими объемами и интенсивностью потоков пассажиров воздушным транспортом. Статистически значимое влияние оказывает присутствие лоукостера преимущественно на туристических направлениях. Межрегиональное направление, обслуживаемое бюджетной авиакомпанией, привлекает в среднем больше объема пассажирских потоков. Согласно оценкам модели, объемы пассажиропотока, проходящего через московский авиаузел, в среднем выше, чем в обход. При этом для матрицы авиаперевозок в отличие от матриц географической смежности оценка пассажиропотока завышена: в 2,5-3 раза, если поток направляется в северные регионы или исходит из них, и в 1,5 раза – по иным направлениям из Москвы и в Москву, что отражает фактическую нагрузку на Москву в текущей конфигурации сети.

Подтверждена пространственная неоднородность распределения потоков пассажиров на воздушном транспорте и значимость пространственных эффектов. Оценка авторегрессионного параметра зависимой переменной и ряда объясняющих, как ВРП и сила узла, указывает на то, что объем потоков по маршруту положительно зависит от потоков на

соседних направлениях, а также на генерацию потоков внутри одного макрорегиона. В контексте матрицы, составленной по графу авиаперевозок и учитывающей пространственную зависимость для регионов отправления, это может означать значимое влияние альтернативных перевозок по данному направлению со стыковкой в других (соседних) городах. С учетом высокой связанности Москвы со всеми другими регионами в текущей конфигурации сети пространственные эффекты отражают доминирующую роль перевозок, в том числе стыковочных рейсов, через единый авиаузел. В контексте других матриц также подтверждена значимость пространственной зависимости в данных по авиаперевозкам.

Оценка пространственной ошибки означает, что пассажиропоток положительно зависит от других неучтенных явно в модели пространственно коррелируемых факторов. Такими факторами могут быть, например, меры государственного регулирования и механизмов субсидирования отдельных маршрутов и перевозчиков, недостаточный спрос на прямые рейсы на короткие расстояния в обход Москвы, конкуренция воздушного транспорта с другими видами транспорта.

Однако величина пространственных (косвенных) эффектов составляет относительно небольшую долю общего эффекта влияния факторов авиаперевозок (см. таблицу 4). В контексте весовой матрицы, учитывающей пространственную зависимость для регионов отправления, влияние характеристик направлений из соседних к пункту отправления регионов в пункт назначения, на объемы авиаперевозок по данному маршруту мало. С учетом доминирования в текущей конфигурации полетов через московский авиаузел, являющегося крупным пунктом отправления, это говорит об ограниченной возможности регионов генерировать потоки пассажиров в обход Москвы, а также о слабо развитой региональной сети авиаперевозок. Это подтверждает результаты дескриптивного анализа в разделе 3.1 о малой доле линейных авиаперевозок в обход Москвы в общем объеме пассажирского трафика.

В контексте матрицы географической смежности величина косвенных эффектов говорит о том, что регионы не конкурируют за потоки. В контексте матрицы весовых коэффициентов, полученных из графа авиаперевозок, все потоки являются конечными, и текущей конфигурации воздушной сети соответствует модель множества линейных перевозок. Например, для маршрута Москва – Санкт-Петербург влияние характеристик рейса из региона, связанного с Москвой прямым рейсом, в Москву (например, Калининград – Москва) мало. Это указывает на то, что, согласно оценкам пространственной модели, Москва в первую очередь является конечным пунктом назначения, привлекающим большую долю трафика, а не пересадочным узлом в текущей конфигурации авиаперевозок пассажиров. По этой причине возможности снизить поток, проходящий через Московский авиационный узел, и соответственно нарастить объемы межрегиональных пассажирских перевозок в обход Москвы до 50% в текущей конфигурации транспортной сети являются ограниченными.

Сложившаяся пространственная структура воздушных перевозок во многом зависит от пространственной организации экономики в целом и выходит за рамки развития отдельной отрасли.

Ограничением анализа и, как следствие, полученных выводов об особенностях пространственной конфигурации перевозок пассажиров воздушным транспортом является использование усеченной выборки, что вызвано недоступностью статистических данных. Выводы о пространственном распределении пассажирских потоков и влиянии детерминант для ряда крупнейших воздушных направлений могут быть неустойчивы при распространении их на генеральную совокупность, то есть на всю межрегиональную сеть авиаперевозок и все пары российских регионов, связанных рейсами. Однако тот факт, что используемая выборка покрывает около 70% совокупного объема пассажирских перевозок за аналогичный период времени, позволяет считать результаты пространственного моделирования достоверными.

3.4 Построение имитационной модели потоков воздушных перевозок пассажиров на внутренних воздушных линиях в России

Имитационная модель потоков воздушных перевозок реализована в программном пакете Anylogic. За основу модели взяты рассчитанные ранее эластичности пассажиропотока по набору социально-экономических показателей. На этих данных рассчитывается внутривыборочный прогноз. По данным прогнозов основных показателей на региональном уровне, представленным в «Едином плане по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года» [40], также составлен вневыборочный прогноз на 2021-24 гг., скорректированный с учетом ограничений на воздушные перевозки в связи с распространением вируса COVID-19.

Конфигурация стартового экрана имитационной модели представлена на *рисунке 9*. Пользователь может задать желаемые параметры расчета сценариев (подробнее см. пп. 3.6) на страновом уровне и выбрать пару аэропортов для дополнительной детализации результатов.

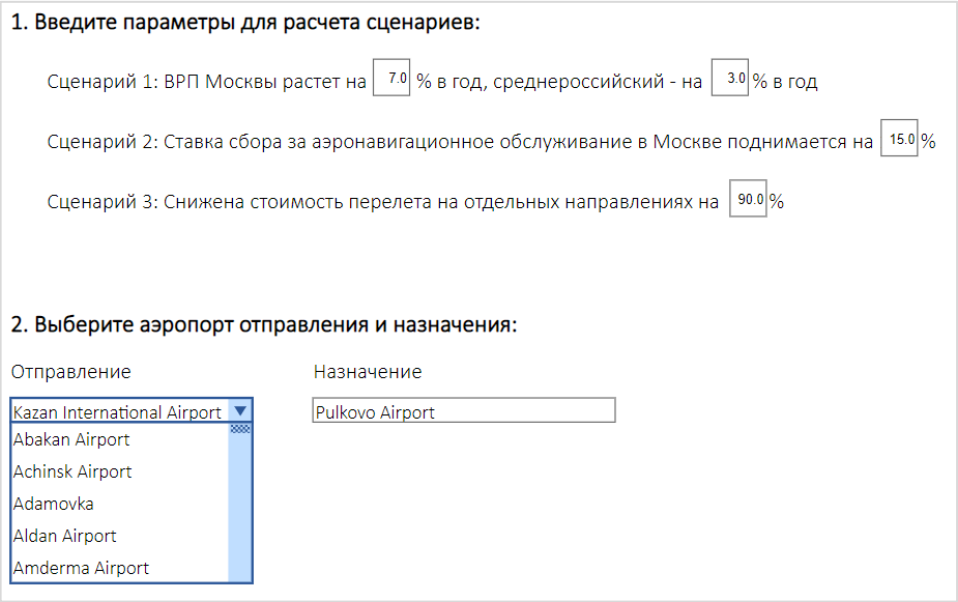

Рисунок 9. Конфигурация стартового экрана имитационной модели. Источник: составлено авторами.

Оценка эконометрической модели выполнена на региональных данных, поэтому для расчета пассажиропотоков между парами аэропортов была проведена дезагрегация. Поскольку официальные открытые источники не располагают настолько детальной информацией, были использованы данные сервиса Яндекс.Расписания, и за период с 14 по 27 сентября 2021 г. собраны характеристики всех совершенных рейсов, включая аэропорт и город отправления/назначения, дату и время отправления/прибытия, модель самолета. На основе данных с официальных сайтов компаний-производителей была рассчитана максимальная вместимость каждого самолета, и, соответственно, максимальный

пассажиропоток на одном рейсе. Затем для каждой пары аэропортов была получена доля в суммарном пассажиропотоке их регионов за рассматриваемый период (так как это относительные значения, использование максимальной оценки пассажиропотока оправдано и не приводит к смещению оценок).

По итогам выполнения модели становятся доступны графики поквартального объема пассажиропотока, подробные данные для выбранной пары аэропортов, а также перечень направлений с самым большим пассажиропотоком в каждом квартале (*рисунок 10*).

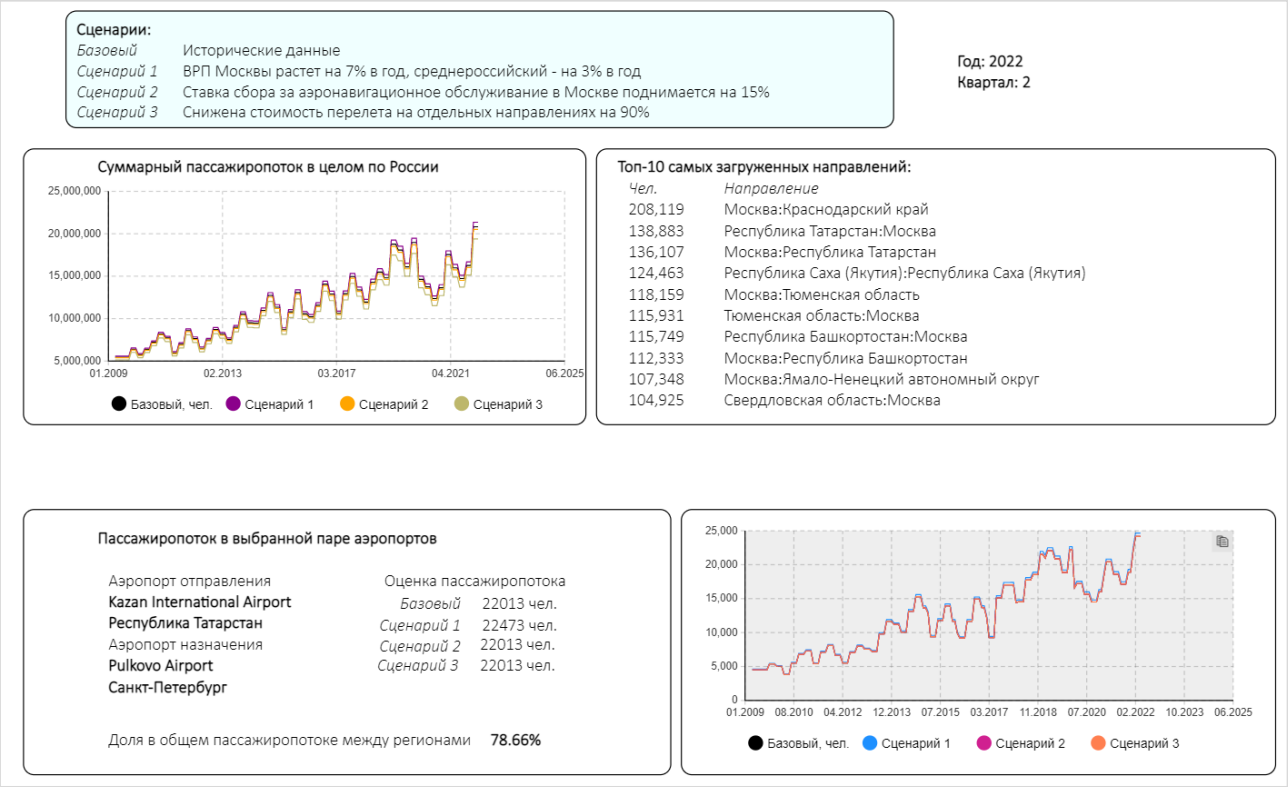

Рисунок 10. Результаты построения имитационной модели. Источник: составлено авторами.

На всем периоде наибольшей популярностью пользуются туристические направления (Москва – Краснодарский край[4]), деловые (Москва – Санкт-Петербург, Москва - Татарстан) и внутренние рейсы в крупных добывающих регионах (Красноярский край, ХМАО, Якутия и их сообщение с Москвой).

Для построения вневыборочного прогноза необходимо располагать прогнозами всех независимых переменных, использованных в эконометрической модели. Однако в официальных источниках есть информация только по основным социально-экономическим показателям – ВРП, численность населения, уровень заработных плат. Стоимость перелета, ставка аэронавигационного обслуживания, численность туристов и доля занятых в

[4] Аэропорты Республики Крым и г. Севастополя не включены в модель.

добывающей промышленности не изменяются, таким образом, строится прогноз при прочих равных. Кроме того, искусственно была сделана корректировка объемов пассажиропотока с учетом ограничений на воздушные перевозки, вызванные распространением вируса COVID-19 для 2020 г. и трех кварталов 2021 г. на основе данных Росавиации [41], далее до 2024 г. – равномерный восстановительный рост до модельных значений. На рисунке приведено сравнение базового прогона и фактического [41] объема пассажиропотока (годовые фактические данные переведены в квартальные и доступны только с 2010 г.; *рисунок 11*).

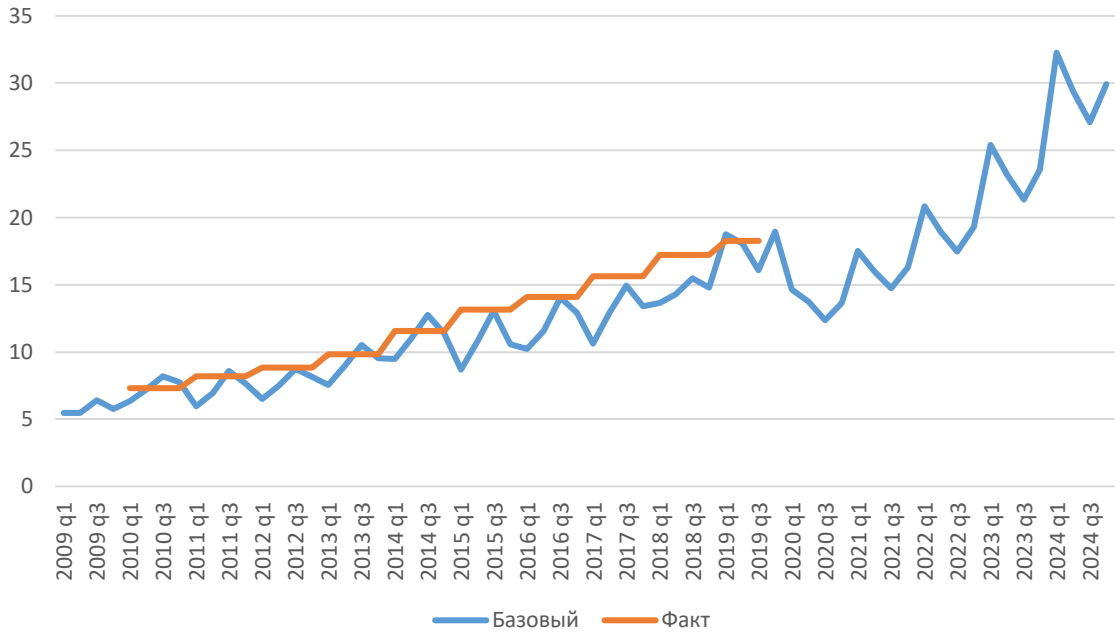

Рисунок 11. Сравнение базового прогона и фактического объема пассажиропотока. Источник: авторские расчеты, Росавиация [41].

Значительный рост пассажиропотока в 2021-24 гг. связан с оптимистичными сценариями роста основных социально-экономических показателей: реальной среднемесячной зарплаты на 127% в 2024 г. к уровню 2020г., темп роста ВВП – 103% ежегодно.

3.5 Анализ возможных эффектов от имплементации мер государственного регулирования или поддержки авиационной отрасли на распределение пассажиропотоков между регионами России

Для расчета возможного прироста пассажиропотока между аэропортами за счет стимулирующих мер на основе полученных оценок регрессионной модели был проведен сценарный анализ. В рамках регрессионной модели рассматриваются три основных сценария:

– Сценарий 1: Повышение ставки сбора за аэронавигационное обслуживание в Москве (на 5%, 10% и 15%), а также одновременное сокращение ставки сбора в других регионах (на 10%);
– Сценарий 2: Рост региональных экономик в соответствии с Прогнозом социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 г. от 2019 г. [42];
– Сценарий 3: Снижение стоимости 1 км перелета на отдельных направлениях (на 10% или 20%).

Влияние стимулирующих мер в каждом случае на результирующий пассажиропоток рассчитывалось с учетом оценок прямых и косвенных эффектов модели пространственной автокорреляции (SAR), полученных ранее с использованием матрицы соседства маршрутов, построенных на основе графа маршрутов.

Рассмотрим влияние повышение ставки сбора за аэронавигационное обслуживание в Москве и снижение ставки для аэропортов других регионов России. В ледующей таблице в зависимости от типа сценария 1 приведены оценки изменения пассажиропотока в среднем за год по группам маршрутов (через Москву, минуя Москву и суммарно) с разбивкой на прямые, косвенные и суммарные эффекты, а также указаны приросты эффектов по сравнению с базовым (модельным) сценарием (*таблица 5*). Сценарию 1.1 соответствует повышение ставки для маршрутов, проходящих через Москву, на 5% и одновременное сокращение ставки сбора для аэропортов других регионов на 10%; сценарию 1.2 – повышение ставки для Москвы на 10% и одновременное снижение ставки для регионов на 10%, соответственно; сценарию 1.3 – повышения ставки для Москвы на 15% и одновременное снижение ставки для регионов на 10%.

Таблица 5

Изменение среднего объема пассажиропотока за год по маршрутам в зависимости от изменения ставки сбора за аэронавигационное обслуживание.

	Эффекты	Маршруты через Москву	Маршруты минуя Москву	Суммарно
Модель	Прямой эффект	20 428 592	1 361 049	21 789 641
	Косвенный эффект	384	63	446
	Суммарный эффект	20 428 976	1 361 112	21 790 088
Сценарий 1.1	Прямой эффект	20 496 900	1 378 076	21 874 976
	Прирост	0,33%	1,25%	0,39%
	Косвенный эффект	384	63	446
	Прирост	0,00%	0,02%	0,01%
	Суммарный эффект	20 497 284	1 378 139	21 875 423
	Прирост	0,33%	1,25%	0,39%
Сценарий 1.2	Прямой эффект	20 440 729	1 378 076	21 818 805
	Прирост	0,06%	1,25%	0,13%
	Косвенный эффект	384	63	446

	Прирост	0,00%	0,02%	0,00%
	Суммарный эффект	20 441 113	1 378 139	21 819 252
	Прирост	0,06%	1,25%	0,13%
Сценарий 1.3	Прямой эффект	20 387 202	1 378 076	21 765 278
	Прирост	-0,20%	1,25%	-0,11%
	Косвенный эффект	384	63	446
	Прирост	-0,00%	0,02%	-0,00%
	Суммарный эффект	20 387 586	1 378 139	21 765 725
	Прирост	-0,20%	1,25%	-0,11%

Источник: составлено авторами.

Согласно расчетам, наибольший прирост суммарного сценарного пассажирского потока по сравнению с предсказываемым моделью характерен для сценария 1.1 и составляет 0,39%, причем наибольшая часть прироста приходится на прямой эффект. Прямой эффект можно интерпретировать следующим образом: повышение или понижение ставки сбора для одного маршрута увеличивает значение пассажиропотока по данному маршруту. Косвенный эффект подразумевает изменение пассажиропотока по другим маршрутам в ответ на изменение объясняющей переменной (в данном случае ставки сбора) для данного маршрута с учетом соседства данных маршрутов. Наибольшего расширения объемов пассажирских перевозок по маршрутам минуя Москву можно добиться с помощью сценария 1.2: в этом случае доля пассажиропотока, не проходящего через Москву, выше по сравнению со сценарием 1.1, т.к. происходит более существенное сокращение объемов перевозок через Москву, однако прирост пассажиропотоков через Москву, не смотря на повышение сборов на 10%, положительный. Необходимо отметить, что суммарный эффект для сценария 1.3 оказался отрицательным, т.е. вследствие удорожания ставки сбора за аэронавигационное обслуживание для московских аэропортов произошло резкое сокращение потоков, проходящих через Москву, однако оно не было компенсировано увеличением пассажиропотоков минуя Москву на столько, чтобы суммарный эффект оказался положительным. Таким образом, можно сделать вывод, что при прочих равных регулирование изменения ставки сбора является эффективным инструментом воздействия на результирующе пассажиропотоки, однако для достижения максимального положительного эффекта на пассажиропоток необходима адресная калибровка ставки для каждого маршрута.

Влияние сценария 2, т.е. ускоренного роста экономики Москвы и Московской области (7%) по сравнению с другими регионами России (среднероссийский уровень – 3%), на итоговый прирост пассажиропотока было рассмотрено в относительных величинах, т.к. прогнозы о росте региональных экономик предоставляются Министерством экономического развития в годовом исчислении, а модель пространственной авторегрессии

оценена на квартальных данных. В нижеследующей таблице представлены оценки прироста пассажиропотока в зависимости от группы маршрутов (*таблица 6*).

Таблица 6

Изменение среднего объема пассажиропотока за год по маршрутам в зависимости от роста экономик регионов.

	Эффекты	Маршруты через Москву	Маршруты минуя Москву	Суммарно
Модель	Прямой эффект	65,983	10,997	76,980
	Косвенный эффект	0,852	0,142	0,994
	Суммарный эффект	66,835	11,139	77,974
Сценарий 2	Прямой эффект	66,679	11,070	77,749
	Косвенный эффект	0,861	0,143	1,004
	Суммарный эффект	67,541	11,213	78,753
Прирост	Прямой эффект	1,06%	0,66%	0,99%
	Косвенный эффект	1,06%	0,66%	0,99%
	Суммарный эффект	1,06%	0,66%	0,99%

Источник: составлено авторами.

Наибольший прирост пассажиропотока характерен для маршрутов, связанных с Москвой, что очевидным образом предопределено постановкой сценария. Рост региональный экономик на 3% в год, а экономики Москвы и Московской области на 7% могут привести к увеличению пассажиропотока на 0,99% суммарно, причем объем пассажиропотока по маршрутам через Москву вырастет в среднем на 1,06%, а по маршрутам минуя Москву – на 0,66%. Наибольшие прямые эффекты от роста экономик, согласно прогнозу Минэкономразвития, характерны для маршрутов, связывающих Москву с Иркутской областью (прирост прямого эффекта составит 1,65%), Ямало-Ненецким автономным округом (1,22%), Свердловской областью (1,16%), Новосибирской областью (1,15%). Наименьший прямой эффект характерен для маршрутов, соединяющих Санкт-Петербург и Архангельскую область, а также Калининградскую область, Краснодарский край, Мурманскую и Ростовскую области (средний прямой эффект достигает 0,64%).

Наконец, в качестве сценария 3 были рассмотрены различные варианты субсидирования перевозок, а именно снижение цены с учетом региона отправления и региона назначения. В таблице ниже представлены варианты субсидирования маршрутов, которые дали наибольший прирост пассажиропотоков с учетом особенностей построения регрессионной модели (*таблица 7*). В качестве подсценариев 3 сценария были рассмотрены два случая: снижение цены перелета за 1 км на 10% по указанным маршрутам, а также снижение цены на 20%.

Таблица 7

Субсидирование маршрутов, давших наибольший прирост пассажиропотоку по направлению.

Регион отправления	Регион назначения	Снижение цены отправления	Снижение цены назначения
Ханты-Мансийский автономный округ	Москва	10%	
Приморский край	Сахалинская область		10%
Сахалинская область	Приморский край	10%	
Республика Коми	Москва	10%	
Тюменская область	Ямало-Ненецкий автономный округ		10%
Санкт-Петербург	Мурманская область		10%
Сахалинская область	Хабаровский край	10%	
Москва	Республика Саха (Якутия)		10%
Москва	Мурманская область		10%
Хабаровский край	Сахалинская область		10%
Мурманская область	Санкт-Петербург	10%	
Ямало-Ненецкий автономный округ	Тюменская область	10%	
Республика Саха (Якутия)	Москва	10%	
Мурманская область	Москва	10%	
Москва	Магаданская область		10%
Магаданская область	Москва	10%	
Москва	Сахалинская область		10%
Сахалинская область	Москва	10%	
Москва	Ямало-Ненецкий автономный округ		10%
Москва	Камчатский край		10%
Ямало-Ненецкий автономный округ	Москва	10%	
Камчатский край	Москва	10%	

Источник: составлено авторами.

Далее таблица содержит соответствующие сценариям 3.1 (снижение цены по направлениям на 10%) и 3.2 (снижение цены по направлениям на 20%) оценки прироста пассажиропотока по сравнению с базовым значением пассажиропотока в разбивке на эффекты (*таблица 8*).

Таблица 8

Изменение среднего объема пассажиропотока за год по маршрутам в зависимости от снижения цены перелета за 1 км по выбранным направлениям.

	Эффект	Маршруты через Москву	Маршруты минуя Москву	Суммарно
Модель	Прямой эффект	20 428 592	1 361 049	21 789 641
	Косвенный эффект	384	63	446
	Суммарный	20 428 976	1 361 112	21 790 088
Сценарий 3.1	Прямой эффект	20 437 771	1 361 856	21 799 628
	Прирост	0,045%	0,059%	0,046%
	Косвенный эффект	384	63	446
	Прирост	0,001%	0,001%	0,001%
	Суммарный эффект	20 438 155	1 361 919	21 800 074
	Прирост	0,045%	0,059%	0,046%
Сценарий 3.2	Прямой эффект	20 448 115	1 362 764	21 810 879
	Прирост	0,096%	0,126%	0,097%
	Косвенный эффект	384	63	446
	Прирост	0,002%	0,003%	0,002%
	Суммарный эффект	20 448 499	1 362 827	21 811 326

	Прирост	0,096%	0,126%	0,097%

Источник: составлено авторами.

Наибольший прирост пассажиропотока с точки зрения всех трех эффектов приходится на сценарий 3.2. Снижение цены авиаперевозок на 20% может способствовать увеличению среднего объема пассажиропотока за год на 0,096% для маршрутов, проходящих через Москву, на 0,126% для маршрутов минуя Москву и на 0,097% суммарно. При этом наибольший косвенный эффект характерен также для сценария 3.2 для маршрутов минуя Москву. Согласно детальному анализу эффектов на уровне маршрутов, наибольший вклад в увеличение пассажиропотоков при субсидировании цены авиабилетов вносят такие направления как Ямало-Ненецкий автономный округ – Москва, Камчатский край – Москва, Сахалинская область – Москва, Магаданская область – Москва, Сахалинская область – Хабаровский край, Санкт-Петербург – Мурманская область.

Чтобы сопоставить амплитуду увеличения пассажиропотоков в зависимости от сценариев, рассчитаем приросты логарифмов пассажиропотоков, т.к. возможный положительный эффект от сценария 2 был рассчитан в относительных величинах. Итоговые приросты для всех 5 сценариев, а также сочетания сценария 1.1 (рост сборов за аэронавигационное обслуживание для Москвы на 5% и снижение сборов для регионов на 10%), сценария 2 (опережающий экономический рост Москвы и Московской области по сравнению с регионами) и сценария 3.2 (снижение цены авиаперевозок на направлениях на 20%) приведены в следующей таблице (*таблица 9*).

Таблица 9

Прирост среднего объема логарифма пассажиропотока за год по маршрутам в зависимости от сценариев.

Прямые эффекты	Сценарий 1.1	Сценарий 1.2	Сценарий 1.3	Сценарий 2	Сценарий 3.1	Сценарий 3.2	Сценарии 1.1+2+3.2
Средний прирост в результате мер	0,041%	0,019%	-0,002%	0,999%	0,008%	0,018%	1,058%
Маршруты через Москву	0,030%	0,005%	-0,018%	1,056%	0,008%	0,017%	2,158%
Маршруты минуя Москву	0,122%	0,122%	0,122%	0,661%	0,012%	0,026%	0,809%
Косвенные эффекты	Сценарий 1.1	Сценарий 1.2	Сценарий 1.3	Сценарий 2	Сценарий 3.1	Сценарий 3.2	Сценарии 1.1+2+3.2
Общий прирост в результате мер	0,023%	0,011%	-0,001%	0,999%	0,005%	0,010%	1,031%
Маршруты через Москву	0,018%	0,003%	-0,011%	1,056%	0,005%	0,010%	2,139%
Маршруты минуя Москву	0,044%	0,044%	0,044%	0,661%	0,004%	0,009%	0,715%
Суммарные эффекты	Сценарий 1.1	Сценарий 1.2	Сценарий 1.3	Сценарий 2	Сценарий 3.1	Сценарий 3.2	Сценарии 1.1+2+3.2
Общий прирост в результате мер	0,041%	0,019%	-0,002%	0,999%	0,008%	0,017%	1,058%
Маршруты через Москву	0,030%	0,005%	-0,018%	1,056%	0,008%	0,016%	1,102%
Маршруты минуя Москву	0,120%	0,120%	0,120%	0,661%	0,012%	0,025%	0,806%

Источник: составлено авторами.

Как видно из сравнительной таблицы, наиболее эффективным способом регулирования пассажиропотоков является сочетание ускоренного экономического роста, а также одновременное регулирование сборов за аэронавигационное обслуживание и субсидирование цен за авиаперевозки по определенным направлениям. Важно отметить, что при такой комбинации мер ярко выражены не только прямые эффекты, но и косвенные, что значимо при попытке расширения маршрутной сети и увеличении потоков, проходящих не через Московский авиационный узел.

Наконец, финальным шагом анализа является расчет усредненных оптимальных ставок сборов по аэронавигационному обслуживанию (*таблица 10*), а также оптимального субсидирования перелетов (*таблица 11*) по направлениям с целью роста среднего пассажиропотока на 1%, 3% и 7% в год по всем направлениям.

Согласно расчетам, ставка аэронавигационного обслуживания должная подешеветь в среднем на 13,8% по всем направлениям для увеличения пассажиропотока на 1%, на 35,7% для увеличения пассажиропотока на 3%, а также на 63,6% для увеличения пассажиропотока на 7%. Текущие и целевые средние ставки для Москвы и регионов приведены в таблице ниже (*таблица 10*).

Таблица 10

Прирост средней ставки аэронавигационного обслуживания по маршрутам в зависимости от сценариев увеличения пассажиропотока в год.

Сценарий	Средняя ставка для Москвы (база)	Средняя ставка для Москвы для выполнения сценария	Прирост	Средняя ставка для регионов (база)	Средняя ставка для регионов для выполнения сценария	Прирост
Увеличение пассажиропотока в среднем на 1,0% в год	80,30	69,22	-13,8%	150,32	129,58	-13,8%
Увеличение пассажиропотока в среднем на 3,0% в год	80,30	51,66	-35,7%	150,32	96,70	-35,7%
Увеличение пассажиропотока в среднем на 7,0% в год	80,30	29,25	-63,6%	150,32	54,76	-63,6%

Источник: составлено авторами.

Как показано в таблице ниже, субсидирование перевозок, выражаемое в снижении стоимости перелета по всем направлениям, на 5,2% может привести к увеличению пассажиропотока на 1%, снижение на 14,5% повлечет за собой увеличение пассажиропотока в среднем на 3%, и, наконец, снижение стоимости перелета на 30,2% по всем направлениям может привести к увеличению пассажиропотока на 7% (*таблица 11*).

Таблица 11

Прирост средней цены авиаперевозок на 1 км по маршрутам в зависимости от сценариев увеличения пассажиропотока в год.

Сценарий	Средняя цена для Москвы (база)	Средняя цена для Москвы для выполнения сценария	Прирост	Средняя цена для регионов (база)	Средняя цена для регионов для выполнения сценария	Прирост
Увеличение пассажиропотока в среднем на 1,0% в год	5 866	5 564	-5,2%	6 397	6 067	-5,2%
Увеличение пассажиропотока в среднем на 3,0% в год	5 866	5 013	-14,5%	6 397	5 466	-14,5%
Увеличение пассажиропотока в среднем на 7,0% в год	5 866	4 093	-30,2%	6 397	4 463	-30,2%

Источник: составлено авторами.

Подобные расчеты были также выполнены для оценки экономического роста регионов, необходимого для увеличения среднего пассажиропотока на 1%, 3% и 7% в год по всем направлениям. Однако усреднение эффекта по всем направлениям привело к некоторому искажению результатов. Вариация ВРП по регионам и периодам достаточно велика, вследствие чего значение среднего темпа роста регионов, необходимого для увеличения среднего пассажиропотока на 1% по всем маршрутам, оказалось также значительным – 11,04%. Значения необходимых темпов роста для двух оставшихся сценариев еще более велики и поэтому нереалистичны, вследствие чего не приводятся в тексте работы.

Таким образом, сценарный анализ возможных эффектов от стимулирования объемов пассажирских перевозок показывает, что, хотя стабильный региональный рост оказывает наиболее сильный эффект на потенциальные перевозки, эффект становится еще более ярко выраженным при комбинации мер поддержки авиаперевозчиков за счет снижения их издержек на обслуживание полетов, с одной стороны, а также стимулировании спроса за счет субсидирования полетов по определенным направлениям, с другой. Сравнительный анализ сценариев показывает, что субсидирование перевозок является наименее эффективным способом стимулирования пассажиропотоков.

3.6 Сценарный анализ возможных эффектов от оптимизации аэропортовой сети в России

В имитационной модели рассматривается три основных сценария:

– Сценарий 1: Рост ВРП Москвы быстрее среднероссийского (107% и 103% в год соответственно);

– Сценарий 2: Повышение ставки сбора за аэронавигационное обслуживание в Москве (по умолчанию на 15%);
– Сценарий 3: Снижение стоимости 1 км перелета на отдельных направлениях (по умолчанию на 10%)

Как показано в таблице ниже, во всех сценариях, кроме первого, наблюдается стабильное снижение пассажиропотока по сравнению с базовым в среднем на 1,4-6,2% (*таблица 12*).

Таблица 12

Изменение среднего объема пассажиропотока в зависимости от сценария (%).

Сценарий	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Среднее
Базовый	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сценарий 1	2,3	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5
Сценарий 2	-1,4	-1,3	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	-1,4
Сценарий 2	-5,8	-5,7	-6,0	-6,0	-5,8	-5,7	-6,0	-6,1	-5,8	-6,1	-6,8	-6,9	-6,8	-6,8	-6,8	-6,8	-6,2

Источник: составлено авторами.

В зависимости от сценария порядок самых загруженных направлений практически не изменяется, заметное изменение пассажиропотока происходит только на направлениях, затрагиваемых сценариями (то есть чаще всего это сообщение с Москвой; *рисунок 12*). В случае реализации сценария 1, небольшой рост происходит на всех направлениях, т.к. в нем скорректирован рост ВРП всех регионов.

Топ-10 самых загруженных направлений:

Чел.	*Направление*
127,982	Республика Саха (Якутия):Республика Сах
111,841	Сахалинская область:Сахалинская облас
84,251	Республика Татарстан:Москва
81,092	Москва:Республика Татарстан
79,344	Калининградская область:Москва
77,639	Москва:Калининградская область
67,164	Самарская область:Москва
67,012	Москва:Ханты-Мансийский автономный
64,820	Москва:Самарская область
64,223	Нижегородская область:Москва

Топ-10 самых загруженных направлений (Сценарий 2):

Чел.	*Направление*
127,982	Республика Саха (Якутия):Республика Са
111,841	Сахалинская область:Сахалинская облас
81,417	Республика Татарстан:Москва
77,544	Москва:Республика Татарстан
76,676	Калининградская область:Москва
74,243	Москва:Калининградская область
64,905	Самарская область:Москва
64,080	Москва:Ханты-Мансийский автономный
62,063	Нижегородская область:Москва
61,985	Москва:Самарская область

Топ-10 самых загруженных направлений (Сценарий 1):

Чел.	*Направление*
130,328	Республика Саха (Якутия):Республика Сах
113,910	Сахалинская область:Сахалинская облас
87,393	Республика Татарстан:Москва
83,993	Москва:Республика Татарстан
82,195	Калининградская область:Москва
80,301	Москва:Калининградская область
69,649	Самарская область:Москва
69,438	Москва:Ханты-Мансийский автономный
67,118	Москва:Самарская область
66,596	Нижегородская область:Москва

Топ-10 самых загруженных направлений (Сценарий 3)

Чел.	*Направление*
127,982	Республика Саха (Якутия):Республика С
111,841	Сахалинская область:Сахалинская обла
84,251	Республика Татарстан:Москва
81,092	Москва:Республика Татарстан
79,344	Калининградская область:Москва
77,639	Москва:Калининградская область
67,164	Самарская область:Москва
67,012	Москва:Ханты-Мансийский автономны
64,820	Москва:Самарская область
64,223	Нижегородская область:Москва

Рисунок 12. Самые загруженные направления в зависимости от сценария (срез за 4 кв. 2015 г.). Источник: авторские расчеты, Росавиация [41].

Если рассматривать отдельные пары аэропортов, то для рейсов, проходящих не через Москву, результаты расчета сценария 2 полностью совпадет с базовым, поскольку модель не учитывает перераспределение по всей сети высвобождающегося пассажиропотока в отдельных городах. Аналогичная ситуация произойдет и в случае сценария 3 для пар аэропортов, расположенных вне регионов действия пониженной стоимости перелета. Несколько примеров реализации сценариев для разных пар аэропортов представлены на следующем рисунке (*рисунок 13*).

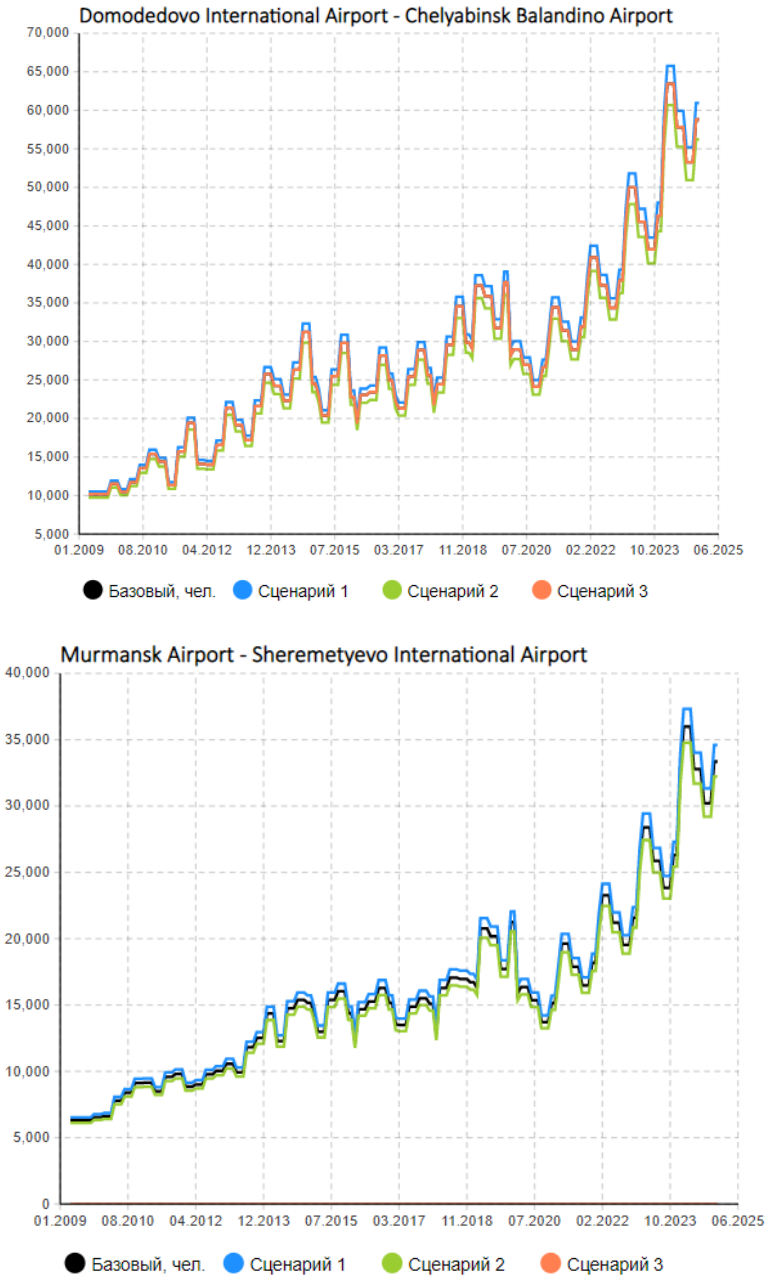

Рисунок 13. Примеры реализации сценариев для некоторых пар аэропортов (квартальный пассажиропоток, чел.). Источник: составлено авторами.

Реализация имитационной модели потоков воздушных перевозок позволила составить внутривыборочный прогноз динамики пассажирских перевозок до 2024 года по трем сценариям, учитывающим динамику социально-экономического развития регионов, изменение тарифов на аэронавигационное обслуживание и стоимость перелетов. Результаты показывают, что изменение тарифной и ценовой политики в сторону удорожания услуг по перевозке воздушным транспортом отрицательно влияют на динамику пассажиропотока, т.е. наблюдается стабильное снижение пассажиропотока по сравнению с базовым сценарием. Устойчивый рост валового регионального продукта в Москве и регионах ассоциируется с положительной динамикой объемов перевозок пассажиров воздушным транспортом на всех региональных направлениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ текущего состояния воздушной отрасли и рынка пассажирских авиаперевозок в России и мире показывает значимую роль воздушного транспорта в перевозках пассажиров: до кризисных событий в экономике в 2020 г. отрасль отмечала «суперцикл» – устойчивый рост объемов перевозок на внутренних и международных рынках.

По объему транспортных работ с учетом дальности перевозок – пассажирообороту – внутренние авиаперевозки пассажиров имеют ключевое значение для России. Особую актуальность имеет развитие аэропортовой сети: вследствие высокой протяженности территории страны, географической удаленности некоторых населенных пунктов и высокой доли автодорог местного и регионального значения в ненормативном состоянии по отдельным направлениям воздушный транспорт выполняет социально значимую функцию основного способа передвижения во внутрирегиональном (местном) и межрегиональном сообщении. Таким образом, развитие внутренней сети перевозок воздушным транспортом в России и повышение качества инфраструктуры воздушного транспорта способствует повышению пространственной связности территории и однородности экономического и социального развития регионов.

В результате анализа статистической информации можно сделать вывод о том, что ключевыми особенностями текущей конфигурации воздушной сети в России является выраженная звездообразная (веерная) структура авиаперевозок: пассажиропотоки из региональных центров проходят через единый транспортно-логистический узел – Москву. Статистические данные показывают, что с 2009 по 2018 гг. в московском авиационном узле концентрировалось около 95% всего совокупного пассажирского трафика из числа 100

наиболее крупных по квартальному объему перевозок маршрутов, что свидетельствует о большой нагрузке на московскую инфраструктуру воздушного транспорта и низкой вариативности межрегиональных маршрутов. В текущей конфигурации воздушной сети имеют место линейные перевозки напрямую между городами в обход Москвы, но интенсивность потоков по ним сравнительно мала.

Согласно проеденному эмпирическому анализу, фактическое распределение авиаперевозок внутри страны подчиняется гравитационному механизму: объемы потенциального рынка и спроса сонаправлены с ростом потоков пассажиров между ними, а интенсивность потоков, как и в классической гравитационной модели внешней торговли, снижается с увеличением расстояния между регионами. Ключевыми детерминантами межрегиональных воздушных перевозок являются социально-экономические факторы регионов отправления и назначения: валовой региональный продукт и мера тяготения населения к воздушному транспорту, отраслевая специализация и характеристики рынков труда, тарифная и ценовая политика, протяженность маршрута, обслуживание маршрута компанией-лоукостером, интенсивность туристических потоков. Факторы, за исключением расстояния и стоимостной величины издержек для потребителей и авиакомпаний, положительно влияют на интенсивность и объемы пассажиропотоков между парами регионов.

Помимо выявления ключевых факторов авиаперевозок, удалось также подтвердить пространственную неоднородность распределения потоков пассажиров на воздушном транспорте и значимость пространственных эффектов. Объем потоков по маршруту зависит от потоков на соседних направлениях и их характеристик, а также других не учтенных явно в модели пространственно коррелируемых факторов (мер государственного регулирования и субсидирования отдельных маршрутов и перевозчиков, конкуренции воздушного транспорта с другими видами транспорта). При этом пространственные эффекты составляют малую долю совокупного влияния факторов авиаперевозок: влияние характеристик направлений из соседних к пункту отправления регионов в пункт назначения на объемы авиаперевозок по маршруту мало. С учетом доминирования в текущей конфигурации полетов через московский авиаузел это говорит о слабо развитой региональной сети линейных авиаперевозок и ограниченной возможности регионов генерировать потоки пассажиров в обход Москвы. Согласно оценкам пространственной модели, московский авиаузел в первую очередь является конечным пунктом назначения, привлекающим большую долю трафика, а не пересадочным узлом. По этой причине возможности снизить поток, проходящий через Москву, и, соответственно, нарастить объемы межрегиональных пассажирских перевозок в обход нее до 50% в текущей конфигурации транспортной сети являются ограниченными. Сложившаяся

пространственная структура воздушных перевозок во многом зависит от пространственной организации экономики в целом и выходит за рамки развития отдельной отрасли.

Реализация имитационной модели потоков воздушных перевозок позволила составить внутривыборочный прогноз динамики пассажирских перевозок до 2024 года по трем сценариям, учитывающим динамику социально-экономического развития регионов, изменение тарифов на аэронавигационное обслуживание и стоимость перелетов. Результаты показывают, что изменение тарифной и ценовой политики в сторону удорожания услуг по перевозке воздушным транспортом отрицательно влияет на динамику пассажиропотока, т.е. наблюдается стабильное снижение пассажиропотока по сравнению с базовым сценарием. В то же время рост валового регионального продукта ассоциируется с положительной динамикой объемов перевозок пассажиров воздушным транспортом на всех региональных направлениях. Значительный рост пассажиропотока в 2021-2024 гг. связан с оптимистичными сценариями роста основных социально-экономических показателей: реальной среднемесячной зарплаты на 127% в 2024 г. к уровню 2020 г. и ВВП на 103% ежегодно.

Сценарный анализ возможных эффектов от стимулирования объемов пассажирских перевозок показывает, что хотя стабильный региональный рост оказывает наиболее сильный эффект на потенциальные перевозки, эффект становится выраженным при комбинации мер поддержки авиаперевозчиков за счет снижения их издержек на обслуживание полетов, с одной стороны, и стимулирования спроса субсидированием полетов по определенным направлениям, с другой. Сравнительный анализ сценариев показывает, что субсидирование перевозок является наименее эффективным способом стимулирования пассажиропотоков.

Новизна исследования и полученных выводов заключается в применении модели гравитационного типа для выявления и учета региональных и пространственных характеристик, значимо влияющих на распределение пассажиропотоков, перевозимых воздушным транспортом в России, с учетом взаимного влияния регионов в пространстве, а также разработка на основе полученных оценок имитационной модели региональных воздушных перевозок. Результаты проведенного далее анализа эффекта различных мер по стимулированию пассажиропотоков могут быть использованы при выработке экономической политики различными ведомствами, а также измерении эффектов от целевых показателей на показатели пространственного развития. Основное направление дальнейшей работы – более детализированный анализ сетевой структуры перевозок и дальнейший углубленный сценарный анализ.

Благодарности. Материал подготовлен в рамках выполнения научно-исследовательской работы государственного задания РАНХиГС на 2021 год.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аксенов П. Хабы уходят в прошлое. Как пандемия изменит мировую авиацию // BBC. 2020. URL: https://www.bbc.com/russian/features-54715695
2. IATA. 2020 Worst Year in History for Air Travel Demand // IATA. 2021. URL: https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2021-02-03-02/
3. Worldbank. Air transport, passengers carried // Worldbank. URL: https://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.PSGR
4. Интерфакс. Пассажиропоток всех аэропортов РФ в 2020 году упал на 41% // Интерфакс. 2021. URL: https://www.interfax.ru/russia/748826
5. АЭВТ. Деятельность воздушного транспорта (янв.-окт. 2020 г.) // aevt.ru. 2021.
6. Росавиация. Объемы перевозок через аэропорты России (январь - декабрь 2020) // favt.gov.ru. 2021. URL: https://favt.gov.ru/novosti-novosti/?id=7383
7. Министерство экономического развития РФ. Перечень отраслей российской экономики, в наибольшей степени пострадавших в условиях ухудшения ситуации в результате распространения новой коронавирусной инфекции // Министерство экономического развития РФ. 2020. URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/perechen_otrasley_ekonomiki_postradavshih_v_rezultate_rasprostraneniya_koronavirusnoy_infekcii.html
8. ТехИнформ. Развитие региональных аэропортов и маршрутов в Российской Федерации // ТехИнформ. 2019. URL: http://www.techinform-press.ru/images/stories/pdf/KATALOGAERO.pdf
9. Правительство РФ. Об изменениях в порядке субсидирования внутренних пассажирских авиаперевозок и формирования региональной маршрутной сети 2018. URL: http://government.ru/docs/34722/ (дата обращения: 19.04.2021).
10. Aviation Explorer. В России планируют субсидировать стоимость летного часа самолетов SuperJet 100 // Aviation Explorer. 2020. URL: https://www.aex.ru/news/2020/12/17/220888/ (дата обращения: 21.05.2021).
11. Центр экономики инфраструктуры (ЦЭИ). Транспортная инфраструктура и экономический рост. ISBN 978-5-00150-604-1-е изд. М: Перо, 2019. 142 С.
12. Манвелидзе А. Б. Расходы на эксплуатацию воздушных судов крупных американских авиаперевозчиков // Стратегические решения и риск-менеджмент, № 4 (107), 2018.
13. Припадчев А. Д. Определение оптимального парка воздушных судов. ISBN: 978-5-91327-075-7-е изд. Академия Естествознания, 2009.

14. Harvey D. A. Airline passenger traffic pattern within the United States // Journal of Air Law and Commerce, Vol. 18, 1951. P. 157.
15. Taaffe E. J. The urban hierarchy: An air passenger definition // Economic geography, Vol. 38, No. 1, 1962. P. 1-14.
16. Margaretic P., Thomas-Agnan C., Doucet R. Spatial dependence in (origin-destination) air passenger flows // Papers in Regional Science, Vol. 96, No. 2, 2017. P. 357-380.
17. Grosso M.G., Shepherd B. Air cargo transport in APEC: Regulation and effects on merchandise trade // Journal of Asian Economics, Vol. 22, No. 3, 2011. P. 203-212.
18. Cristea A. D. Buyer-seller relationships in international trade: Evidence from US States' exports and business-class travel // Journal of International Economics, Vol. 84, No. 2, 2011. P. 207-220.
19. Endo N. International trade in air transport services: penetration of foreign airlines into Japan under the bilateral aviation policies of the US and Japan // Journal of Air Transport Management, Vol. 13, No. 5, 2007. P. 285-292.
20. Hwang C. C., Shiao G. C. Analyzing air cargo flows of international routes: an empirical study of Taiwan Taoyuan International Airport // Journal of Transport Geography, Vol. 19, No. 4, 2011. P. 738-744.
21. Zhang Y., Findlay C. Air transport policy and its impacts on passenger traffic and tourist flows // Journal of Air Transport Management, Vol. 34, 2014. P. 42-48.
22. IATA. Estimating Air Travel Demand Elasticities // IATA. 2007. URL: https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/estimating-air-travel-demand-elasticities---by-intervistas/ (дата обращения: 19.04.2021).
23. Jorge-Calderón J. D. A demand model for scheduled airline services on international European routes // Journal of Air Transport Management, Vol. 3, No. 1, 1997. P. 23-35.
24. Bhadra D, Kee J. Structure and dynamics of the core US air travel markets: A basic empirical analysis of domestic passenger demand // Journal of Air Transport Management, No. 14, 2008. P. 27–39.
25. Dobruszkes F., Lennert M., Van Hamme G. An analysis of the determinants of air traffic volume for European metropolitan areas // Journal of Transport Geography, Vol. 19, No. 4, 2011. P. 755-762.
26. Clewlow R.R., Sussman J.M., Balakrishnan H. The impact of high-speed rail and low-cost carriers on European air passenger traffic // Transport Policy, Vol. 33, 2014. P. 136-143.

27. Zhang Y., Zhang A. Determinants of air passenger flows in China and gravity model: Deregulation, LCCs, and high-speed rail // Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 50, No. 3, 2016. P. 287-303.
28. Tsui W.H.K., Fung M.K.Y. Analysing passenger network changes: The case of Hong Kong // Journal of Air Transport Management, Vol. 50, 2016. P. 1-11.
29. Liu S., Wan Y., Ha H.K., Yoshida Y., Zhang A. Impact of high-speed rail network development on airport traffic and traffic distribution: Evidence from China and Japan // Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 127, 2019. P. 115-135.
30. Zhang Y., Zhang A., Zhu Z., Wang K. Connectivity at Chinese airports: The evolution and drivers // Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 103, 2017. P. 490-508.
31. Hsiao C. Y., Hansen M. A passenger demand model for air transportation in a hub-and-spoke network // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 47, No. 6, 2011. P. 1112-1125.
32. Черкашин Д. С. Прогноз пассажирских перевозок в аэропорту Хабаровск до 2030 г. на основе регрессионной модели // Финансовая аналитика: проблемы и решения, № 2 (188), 2014. С. 31.
33. Ярошевич Н. Ю., Дубровский В. Ж. Модель прогнозирования спроса на авиаперевозки аэропорта в условиях меняющейся конъюнктуры рынка // Journal of New Economy, № 6 (56), 2014.
34. Кузьмина Л. В. Многофакторный анализ динамики рынка авиаперевозок в современных условиях // Финансы и кредит, Т. 24, № 3 (771), 2018.
35. Щербанин Ю. А. Использование регрессионных моделей для прогнозирования показателей пассажирских авиаперевозок // Проблемы прогнозирования, № 3 (156), 2016.
36. Бурилина М. А., Шестаков В. А. Влияние факторов экономической и политической среды на развитие авиационных перевозок в России // Экономический анализ: теория и практика, № 31 (382), 2014.
37. LeSage J.P., Pace R.K. Spatial econometric modeling of origin-destination flows. // Journal of Regional Science, No. 48, 2008. P. 941–967.
38. Bivand R. et al. Package "spdep" 2021. URL: https://cran.r-project.org/web/packages/spdep/spdep.pdf
39. // Транспортная Клиринговая Палата: [сайт]. [2020]. URL: https://www.tch.ru/ru-ru/Pages/Home.aspx (дата обращения: 30.Июль.2020).

40. РФ П. Единый план по достижению национальных целей развития Российской федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года 2021. URL: https://economy.gov.ru/material/dokumenty/edinyy_plan_po_dostizheniyu_nacionalnyh_celey_razvitiya_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2024_goda_i_na_planovyy_period_do_2030_goda.html (дата обращения: 20.10.2021).
41. Росавиация. Основные производственные показатели гражданской авиации 2021. URL: https://favt.gov.ru/dejatelnost-vozdushnye-perevozki-osnovnye-proizvodstvennye-pokazateli-ga/ (дата обращения: 21.10.2021).
42. Министерство экономического развития Российской Федерации. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2024 года // Прогнозы социально-экономического развития. 2019. URL: https://www.economy.gov.ru/material/directions/makroec/prognozy_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya/prognoz_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_rf_na_period_do_2024_goda_.html