

УДК 334.027

DOI: 10.34670/AR.2023.97.62.005

## Механизмы управления спросом на общественный транспорт в условиях постковидной экономики и рисках повторения пандемии

**Ефимова Марина Владимировна**

Старший преподаватель кафедры математики и информатики,  
Государственный университет управления,  
109542, Российская Федерация, Москва, просп. Рязанский, 99;  
e-mail: Efimova@mail.ru

**Зайцев Алексей Викторович**

Старший преподаватель кафедры математики и информатики,  
Государственный университет управления,  
109542, Российская Федерация, Москва, просп. Рязанский, 99;  
e-mail: Efimova@mail.ru

### Аннотация

Густонаселенные городские районы особенно сильно пострадали от кризиса Covid-19 из-за ограниченной доступности общественного транспорта, одного из наиболее эффективных средств массовой мобильности. Из-за продолжающейся пандемии вследствие риска заражения резко снизились спрос и доходы от оплаты за проезд в общественном транспорте. Поэтому важно изучить возможность внедрения социального дистанцирования в общественном транспорте в соответствии с эпидемиологическими рекомендациями. Социальное дистанцирование требует эффективного управления спросом, чтобы поддерживать уровень загрузки транспортных средств. В данной статье были рассмотрены четыре метода управления спросом: контроль притока с очередями, ценообразование в зависимости от времени и места, резервирование мощности с предварительным бронированием и аукцион слотов. Таким образом, данная статья собирает качественную информацию и дает базу для количественных исследований данной сферы, особенно актуальной в постковидное время и при наличии рисков возобновления пандемии.

### Для цитирования в научных исследованиях

Ефимова М.В., Зайцев А.В. Механизмы управления спросом на общественный транспорт в условиях постковидной экономики и рисках повторения пандемии // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Том 13. № 3А. С. 91-99. DOI: 10.34670/AR.2023.97.62.005

### Ключевые слова

Общественный транспорт, доступность, пропускная способность, спрос, доход, риски, ограничения, пандемия, дистанцирование, загрузка, ценообразование, финансирование, бронирование.

## Введение

Глобальная пандемия Covid-19 поставила перед операторами общественного транспорта беспрецедентные вызовы, связанные с низким уровнем спроса и нарушениями финансовой стабильности. Спрос на услуги общественного транспорта резко снизился из-за карантинных мер и ограничений на использование общественного транспорта. И даже если такие официальные ограничения будут сняты, жители городов могут не захотеть пользоваться услугами общественного транспорта из-за предполагаемого риска заражения вирусом. Следствием падения спроса является финансовая нестабильность. Операторы общественного транспорта в той или иной степени полагаются на приток денежных средств, зависящий от спроса.

Большинство интенсивно используемых городских железнодорожных систем покрывает более половины своих эксплуатационных расходов за счет доходов от платы за проезд, в то время как другие услуги зависят почти исключительно от государственных субсидий [Zhao et al., 2020]. С другой стороны, расходы операторов общественного транспорта в основном не зависят от спроса, а это означает, что быстрая корректировка предложения и затрат невозможна в ответ на внешний шок. Даже если предложение мощности (например, количество запланированных коммерческих рейсов) может быть уменьшено по сравнению с допандемическим уровнем, капитальные затраты на инфраструктуру и владение транспортными средствами в краткосрочной перспективе останутся фиксированными. В обычных условиях среди руководителей транспортных компаний распространено мнение, что чем выше коэффициент самофинансирования оператора, тем стабильнее его финансовое положение в долгосрочной перспективе. В нынешней ситуации мы наблюдаем, что самофинансирование стало недостатком; те поставщики услуг, которые в большей степени зависят от государственных субсидий и альтернативных форм финансирования, менее затронуты пандемией, по крайней мере, в краткосрочной перспективе. В среднесрочной и долгосрочной перспективе последняя модель финансирования также не может дать гарантий, поскольку пандемия также может сказаться на местных и центральных бюджетах, что, в свою очередь, может привести к финансовому голоду, особенно если субсидии будут определены в политический процесс на основе существующего и прогнозируемого пассажиропотока.

Эти немедленные экономические последствия сочетаются с общей неопределенностью в отношении скорости и формы восстановления после пандемии, вспышки которой наблюдаются и сегодня. Некоторые комментаторы предвидят, что «жизнь никогда не вернется в нормальное русло», намекая на то, что работа на дому останется неизменной после кризиса, а традиционные офисы и рабочие места в густонаселенных городских районах не будут использоваться так, как раньше. На практике это означает постоянное сокращение спроса на поездки и меньше поездок на работу, особенно в традиционные центры занятости, где общественный транспорт был основой мобильности. Этот сценарий может привести к фундаментальной перестройке экономической деятельности на рынке транспорта [Duranton, Puga, 2004]. Таким образом, будущий путь развития общественного транспорта в большой степени не определен.

Covid-19 значительно повлиял на общественный транспорт, гораздо больше, чем на другие виды транспорта, включая ходьбу, езду на велосипеде и т.д. Основная причина заключается в том, что в общественном транспорте труднее избежать физической близости. В обычных условиях эксплуатации физическая близость является основным источником экономии за счет масштаба в общественном транспорте, которые являются двигателями повышения его

эффективности по сравнению с другими видами транспорта. Несмотря на то, что четких эмпирических данных о точном уровне заражения в общественном транспорте в настоящее время нет, ожидается, что это число будет в значительной степени зависеть от контекста. Вполне вероятно, что риск заражения увеличивается с увеличением количества людей в транспортных средствах общего пользования. То есть перед отраслью стоит компромисс: слишком высокий спрос ведет к нарушению правил социального дистанцирования и повышению риска заражения (в сочетании с деградацией публичного имиджа сервиса), а слишком низкий спрос ставит под угрозу финансовую устойчивость системы. Этот компромисс порождает потребность в сложных инструментах управления спросом в условиях пандемии.

Время показало, что после пандемии операторы общественного транспорта должны поддерживать определенные уровни социального дистанцирования на станциях и транспортных средствах с высокой плотностью использования. На практике это эквивалентно управлению спросом таким образом, чтобы уровень загруженности транспортных средств и других объектов никогда не превышал заранее определенного порога. Это новая задача в общественном транспорте, поскольку в нормальных условиях эксплуатации городские автобусы и поезда могут использоваться на полную мощность, т.е. оператору не нужно препятствовать посадке пассажиров в транспортное средство, когда пропускная способность не используется полностью.

Какова оптимальная заполняемость во время пандемии? На этот вопрос очень трудно ответить без надежной информации о влиянии физической близости на риск заражения, учитывая расстояние и характеристики транспортного средства и социальные издержки фактического распространения вируса. В обычных условиях мы предполагаем, что оптимальная заполняемость является производной величиной: операторы оптимизируют доступную вместимость и уровень спроса посредством одновременного контроля цены и количества, а результирующее отношение спроса к вместимости определяет оптимальную загрузку транспортного средства.

В многочисленных исследованиях были получены аналитические формулы оптимальной заполняемости и проиллюстрированы ее свойства в численном моделировании. Согласно наблюдениям, послековидный пассажиропоток вырос в среднем на 54% по отношению к доковидному периоду в будний день и на 65% в выходной день, наибольшее падение приходится на ранние и вечерние часы (8:00-9:00 и 18:00-19:00) [Hörcher, Singh, Graham, 2022].

Актуальна и проблема влияния на расходы операторов каждой новой вспышки заболеваемости Covid. Например, водители и другие сотрудники более интенсивно подвергаются риску для здоровья по сравнению с обычными пассажирами. Как следствие, многие операторы сталкиваются с нехваткой персонала и увеличением расходов на средства защиты. Эти факторы, вероятно, увеличат стоимость предоставления мощностей, в первую очередь из-за высокой стоимости труда на вредных работах, уборке и различных мерах предосторожности.

Одним из решений этих проблем является увеличение пропускной способности общественного транспорта (то есть частоты поездок и размеров транспортных средств) до тех пор, пока получаемое в результате снижение предельных затрат пользователя не превысит предельные затраты оператора. Сложная часть повторной оптимизации предложения общественного транспорта и получения оптимального коэффициента загрузки – это калибровка пользователя, оператора и внешних затрат, о которых говорилось выше. Несмотря на то, что точные оценки в настоящее время недоступны, ожидается, что функции затрат пользователей и

операторов будут более крутыми в сценарии пандемии по сравнению с обычными условиями эксплуатации [Gkiotsalitis, Cats, 2021].

### **Контроль потока**

Контроль потока, реализованный с помощью системы очередей, является простейшим методом управления спросом, который уже применяется в нескольких крупных городских железнодорожных сетях, прежде всего для предотвращения переполненности станций и связанного с этим риска для безопасности. Контроль притока реализуется путем физического ограничения потока пассажиров, входящих на станцию метро, и хранения избыточного потока в системе физической очереди. В крупных сетях может потребоваться применение контроля притока на многочисленных станциях для достижения цели управления спросом. Таким образом, оптимизация политики управления притоком включает определение того, какие станции следует контролировать и верхние границы притока на каждой станции [Daganzo, 1997; Yang et al., 1994].

### **Дифференцированное ценообразование**

Ценообразование в общественном транспорте часто обсуждается политиками, поскольку оно является основным фактором, определяющим доступность общественного транспорта и то, в какой степени государственный бюджет должен способствовать финансированию дефицита за счет субсидий. Ценообразование позволяет установить для личных расходов на поездку любой желаемый уровень между неценовым равновесием и максимальной готовностью платить по обратной кривой спроса. С помощью передовых методов денежных переводов даже отрицательные платежи могут стимулировать поездки в виде прямой субсидии на пользование общественным транспортом. Главное преимущество ценообразования как инструмента управления спросом состоит в том, что денежные платежи остаются внутри общества, так что сумма, на которую повышаются личные расходы на проезд, может быть впоследствии перераспределена между членами общества, в отличие от времени, потерянного в очередях, для примера [Hörcher, Singh, Graham, 2022].

Если целью оператора является достижение социального дистанцирования с помощью ценообразования, обычная задача оптимизации предложения должна быть дополнена ограничениями на равновесную заполняемость. В конце концов, плата за проезд должна повысить общую цену поездки до предельной готовности платить при пороге спроса.

В настоящее время разрабатываются динамические модели спроса на общественный транспорт, в которых выбор времени отправления путешественниками является эндогенным, но желаемое время прибытия группируется в узком временном окне. Концептуально эти динамические модели напоминают традиционную проблему узких мест в управлении дорожным движением и ценообразованием. В общественном транспорте целью динамического тарифа является замена стоимости стояния в очереди на оплату [Li, Huang, Yang, 2020].

### **Предварительное бронирование и нормирование слотов**

Недостатки очередей, особенно стоимость потери времени и ее неопределенность, были признаны во многих отраслях, где распределение пропускной способности организовано через системы резервирования. В транспортном секторе резервирование является обязательным для многих низкочастотных услуг общественного транспорта, таких как железнодорожный или

воздушный транспорт дальнего следования, или паромы, поскольку в противном случае исчерпание пропускной способности в данный временной интервал привело бы к недопустимым расходам пользователей [Menelaou et al., 2018].

Ключевым условием успешного внедрения общесетевой системы резервирования является пунктуальность движения как пассажиров, так и поездов. Естественно, если пассажиры прибывают раньше забронированного времени входа, им приходится ждать перед станцией, что требует достаточного буферного пространства на месте. Опоздания не могут быть исправлены таким образом, поэтому система должна быть готова к незначительным корректировкам отдельных маршрутов. Проблема планирования еще более актуальна в крупных мультимодальных сетях, где опоздание пассажиров на станции въезда может быть вызвано ненадежностью или перебоями в подаче рейсов. Если доступные емкости полностью зарезервированы в определенный период времени, сбои могут иметь каскадный эффект по всей сети, поскольку очереди на вход, вызванные задержкой, не могут быть быстро сокращены. Тем не менее, тот факт, что у оператора есть достоверная информация о будущем спросе, может сделать управление сбоями с использованием дополнительной пропускной способности и оптимизированных отклонений более эффективным, чем обычно.

### **Передовые методы контроля количества**

Последняя группа методов управления спросом, обсуждаемых в этой статье, также представляет собой инструменты прямого контроля количества с предварительным бронированием, но их процессы распределения слотов основаны на механизмах торгов.

Альтернативным способом резервирования вместимости является система аукционов, где потенциальные путешественники делают ставки на доступную вместимость. Чтобы аукционный механизм достиг эффективного распределения пропускной способности, должен быть реализован итеративный процесс, в первую очередь для того, чтобы позволить выигравшим ставкам приблизиться к оптимальной рыночной цене и оставить достаточный потребительский излишек у путешественников. Основное преимущество схемы продажи разрешений по сравнению с методами чистого ценообразования заключается в справедливости и общественном признании. Суть таких схем в том, что кредиты на проезд распределяются между всеми жителями по заранее определенному правилу, а затем те, кто действительно собирается регулярно путешествовать, должны покупать дополнительные кредиты у тех, кто этого не делает. Таким образом, схема обеспечивает эффективное распределение доступной пропускной способности, но те, кто будет платить за общественный транспорт, когда пропускная способность ограничена, получают прямую денежную оплату. Потенциальные пользователи с низкой или нулевой готовностью платить могут получать чистый доход от схемы. Хорошо известно, что общественное признание ценообразования на основе использования транспорта в значительной степени зависит от того, как перераспределяются доходы, что особенно актуально в контексте внедрения системы в России. Схема продажи разрешений на самом деле является аукционом, на котором доходы немедленно перераспределяются среди лиц, не являющихся пользователями, что делает все группы общества заинтересованными в реализации системы и помогает избегать крупных денежных затрат. Первоначальное распределение квот может быть равномерным среди населения или неравномерным в соответствии с целью распределения регулирующего органа, необходимо также учитывать, что первоначальное распределение разрешений также подвержено коррупции [Brands et al., 2020]. Эта угроза может сделать социальное признание разрешительных схем менее тривиальным во многих странах с развивающейся экономикой.

## Заключение

Опасность пандемии сохраняется и в наше время. Продолжающиеся вспышки Covid создают беспрецедентные проблемы для отрасли общественного транспорта. Спрос и доходы от платы за проезд в этот период падают, кроме того, среди путешественников распространены опасения риска заражения и безопасности в общественном транспорте в целом. Вполне вероятно, что городская экономика не сможет вернуться к уровню производительности, существовавшей до пандемии, без эффективной массовой мобильности. Из-за беспрецедентного характера проблемы операторы общественного транспорта должны реагировать на кризис инновационными и часто неизведанными решениями, основанными на новых технологиях. После обзора существующих эмпирических данных и теоретических принципов управления спросом на уровне сети в статье обсуждаются четыре возможных подхода к социальному дистанцированию в общественном транспорте: контроль притока с очередями, ценообразование в зависимости от времени и места, резервирование мощностей с предварительным бронированием и аукционы слотов на поездки на общественном транспорте. В целом, ни один из этих методов не предлагает простого и эффективного пути реализации для контроля уровня занятости, если они реализованы изолированно.

- 1) Пассажиры могут легко понять и принять очереди в сценарии пандемии, но они приводят к значительным потерям эффективности из-за непродуктивной потери времени в очередях.
- 2) Подходы к динамическому ценообразованию обеспечивают более эффективное управление спросом, поскольку доходы от платы за проезд могут быть переработаны внутри общества, но их реализация требует ввода дорогостоящих данных для оценки формы (динамических) функций спроса. Социальное признание пиковых цен во время пандемии также остается неопределенным.
- 3) Резервирование емкости предлагает многочисленные преимущества в планировании услуг и эксплуатации, а также позволяет устранить очереди в точках входа в транспортную сеть. Однако система резервирования слотов на сетевом уровне требует очень высокого уровня предсказания времени в пути, поскольку пассажиры могут потерять свои слоты из-за задержек, вызванных сбоями или отклонением от графика движения. Кроме того, распределение объемов неэффективно, если реализовано простое правило резервирования по принципу «первым пришел – первым обслужен».
- 4) Слот-аукцион – это привлекательный метод взимания платы за пропускную способность общественного транспорта по эффективной цене без дополнительных данных о спросе. Однако для достижения этого необходимо рассчитать большое количество итераций торгов, а это возможно только в высокопроизводительной компьютерной среде.

Из-за этих ограничений отдельных методов более вероятно, что несколько мер по управлению спросом придется применять одновременно.

Подробное количественное сравнение политик выходит за рамки данной обзорной статьи. Тем не менее, представленные качественные результаты позволяют сделать следующие рекомендации. Использование систем контроля притока и очередей кажется неизбежным для преодоления экстремальных скачков спроса и колебаний пропускной способности из-за сбоев. Онлайн-система предварительного бронирования, возможно, с использованием смартфонов, имеет значительный потенциал для устранения очередей. Предварительное бронирование

может быть организовано при помощи «первый пришел – первый купил» в непиковые периоды, а пиковый спрос на слоты может регулироваться денежными стимулами. Система резервирования слотов также позволяет оператору прозрачно назначать пропускную способность ключевым работникам и группам покупателей, находящимся в неблагоприятном положении. Нейтральность доходов от пикового распространения улучшит его социальное одобрение.

В связи с тем, что риски возобновления пандемии достаточно высоки, статья имеет особую актуальность.

## Библиография

1. Карчагин Е.В., Назарова М.П., Янин К.Д. Городская Повседневность в условиях пандемии COVID 19 // *Sotsiologhiya Goroda*. 2020. № 4.
2. Огар Т.П. и др. Поддержка принятия решений в задачах управления городским пассажирским общественным транспортом // *Научно-технический вестник Поволжья* Учредители: ООО «Рашин Сайнс». 2022. № 12. С. 171-173.
3. Пищикова О.В. Механизм управления транспортным поведением жителей мегаполиса // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022. № 1-4 (115). С. 59-63.
4. Börjesson M. et al. Do small cities need more public transport subsidies than big cities? // *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*. 2019. Vol. 53. No. 4. P. 275-298.
5. Brands D.K. et al. Tradable permits to manage urban mobility: market design and experimental implementation // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2020. Vol. 137. P. 34-46.
6. Daganzo C.F. *Fundamentals of transportation and traffic operations*. 1997.
7. Duranton G., Puga D. Micro-foundations of urban agglomeration economies // *Handbook of regional and urban economics*. 2004. Vol. 4. P. 2063-2117.
8. Gkiotsalitis K., Cats O. Public transport planning adaption under the COVID-19 pandemic crisis: literature review of research needs and directions // *Transport Reviews*. 2021. Vol. 41. No. 3. P. 374-392.
9. Hörcher D., Graham D.J. Demand imbalances and multi-period public transport supply // *Transportation Research Part B: Methodological*. 2018. Vol. 108. P. 106-126.
10. Hörcher D., Singh R., Graham D.J. Social distancing in public transport: mobilising new technologies for demand management under the Covid-19 crisis // *Transportation*. 2022. Vol. 49. No. 2. P. 735-764.
11. Li Z.C., Huang H.J., Yang H. Fifty years of the bottleneck model: A bibliometric review and future research directions // *Transportation research part B: methodological*. 2020. Vol. 139. P. 311-342.
12. Menelaou C. et al. Minimizing traffic congestion through continuous-time route reservations with travel time predictions // *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*. 2018. Vol. 4. No. 1. P. 141-153.
13. Yang H. et al. An algorithm for the inflow control problem on urban freeway networks with user-optimal flows // *Transportation Research Part B: Methodological*. 1994. Vol. 28. No. 2. P. 123-139.
14. Zhao S. et al. The association between domestic train transportation and novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak in China from 2019 to 2020: a data-driven correlational report // *Travel medicine and infectious disease*. 2020. Vol. 33. P. 101-568.

## Mechanisms for managing the demand for public transport in the conditions of post-COVID economy and the risk of a pandemic repetition

**Marina V. Efimova**

Senior Lecturer of the Department of mathematics and informatics,  
State University of Management,  
109542, 99 Ryazanskii av., Moscow, Russian Federation;  
e-mail: Efimova@mail.ru

**Aleksei V. Zaitsev**

Senior Lecturer of the Department of mathematics and informatics,  
State University of Management,  
109542, 99 Ryazanskii av., Moscow, Russian Federation;  
e-mail: Efimova@mail.ru

**Abstract**

Densely populated urban areas have been particularly hard-hit by the Covid-19 crisis due to the limited availability of public transport, one of the most efficient means of mass mobility. Due to the ongoing pandemic, demand and revenue from public transport fares have plummeted due to the risk of infection. Therefore, it is important to explore the possibility of introducing social distancing in public transport in accordance with epidemiological recommendations. Social distancing requires effective demand management to keep vehicle occupancy levels high. Four methods of demand management were considered in this article: influx control with queues, pricing based on time and place, capacity reservation with pre-booking, and slot auction. Thus, this article collects qualitative information and provides a basis for quantitative research in this area, especially relevant in the post-COVID period and in the presence of risks of a resumption of the pandemic.

**For citation**

Efimova M.V., Zaitsev A.V. (2023) Mekhanizmy upravleniya sprosom na obshchestvennyi transport v usloviyakh poslekovidnoi ekonomiki i riskakh povtoreniya pandemii [Mechanisms for managing the demand for public transport in the conditions of post-COVID economy and the risk of a pandemic repetition]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 13 (3A), pp. 91-99. DOI: 10.34670/AR.2023.97.62.005

**Keywords**

Public transport, accessibility, capacity, demand, income, risks, restrictions, pandemic, distancing, loading, pricing, funding, booking.

**References**

1. Börjesson M. et al. (2019) Do small cities need more public transport subsidies than big cities? *Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)*, 53(4), pp. 275-298.
2. Brands D.K. et al. (2020) Tradable permits to manage urban mobility: market design and experimental implementation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, pp. 34-46.
3. Daganzo C.F. (1997) *Fundamentals of transportation and traffic operations*.
4. Duranton G., Puga D. (2004) Micro-foundations of urban agglomeration economies. *Handbook of regional and urban economics*, 4, pp. 2063-2117.
5. Gkiotsalitis K., Cats O. (2021) Public transport planning adaption under the COVID-19 pandemic crisis: literature review of research needs and directions. *Transport Reviews*, 41(3), pp. 374-392.
6. Hörcher D., Graham D.J. (2018) Demand imbalances and multi-period public transport supply. *Transportation Research Part B: Methodological*, 108, pp. 106-126.
7. Hörcher D., Singh R., Graham D.J. (2022) Social distancing in public transport: mobilising new technologies for demand management under the Covid-19 crisis. *Transportation*, 49(2), pp. 735-764.
8. Karchagin E.V., Nazarova M.P., Yanin K.D. (2020) Gorodskaya Povsednevnost' v usloviyakh pandemii COVID 19 [Urban everyday life in the context of the COVID 19 pandemic]. *Sotsiologhiya Goroda* [Sociology of the City], 4.
9. Li Z.C., Huang H.J., Yang H. (2020) Fifty years of the bottleneck model: A bibliometric review and future research directions. *Transportation research part B: methodological*, 139, pp. 311-342.
10. Menelaou C. et al. (2018) Minimizing traffic congestion through continuous-time route reservations with travel time



- 
- predictions. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 4(1), pp. 141-153.
11. Ogar T.P. i dr. (2022) Podderzhka prinyatiya reshenii v zadachakh upravleniya gorodskim passazhirskim obshchestvennym transportom [Decision-making support in the management of urban passenger public transport]. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya Uchrediteli: OOO «Rashin Sains»* [Scientific and technical bulletin of the Volga region Founders: LLC "Rashin Science"], 12, pp. 171-173.
  12. Pishchikova O.V. (2022) Mekhanizm upravleniya transportnym povedeniem zhitelei megapolisa [The mechanism for managing the transport behavior of the inhabitants of the metropolis]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Scientific Research Journal], 1-4 (115), pp. 59-63.
  13. Yang H. et al. (1994) An algorithm for the inflow control problem on urban freeway networks with user-optimal flows. *Transportation Research Part B: Methodological*, 28(2), pp. 123-139.
  14. Zhao S. et al. (2020) The association between domestic train transportation and novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak in China from 2019 to 2020: a data-driven correlational report. *Travel medicine and infectious disease*, 33, pp. 101-568.