

1.2. ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД К КАРАНТИННЫМ МЕРОПРИЯТИЯМ

Грачев И.Д., д.э.н., к.ф.-м.н., г.н.с. ЦЭМИ РАН, Москва

Неволин И.В., к.э.н., в.н.с. ЦЭМИ РАН, Москва

Первой реакцией на распространение COVID-19 на правительственном уровне стали тотальные ограничения на экономическую деятельность, мобильность граждан и массовые мероприятия. Между тем, опыт других эпидемий показывает высокую роль общественного транспорта в распространении инфекций. Открытые данные о мобильности населения с классификацией по типам контактов позволяют проверить, какой вклад в распространение COVID-19 вносят те или иные места скопления людей. Анализ показывает, что в случае Москвы контактов в одном лишь общественном транспорте достаточно для калибровки SIR-модели, традиционно используемой при анализе эпидемий. Причём, если в первую волну этот фактор не проявлялся так явно ввиду коррелированности мер в различных сферах, то во вторую волну он особенно выделяется на фоне трудовых контактов, и только розничная торговля может соперничать с ним при объяснении всплеска заболевших.

Введение

Быстрое распространение COVID-19 в 2020 году и реакция на этот процесс привлекают внимание исследователей из разных областей науки. И если в изучении воздействия конкретных штаммов на человека и последствий такого воздействия ведущую роль играет медицинское сообщество, то социальные аспекты распространения инфекции трудно приписать к одной доминирующей дисциплине. Свой вклад вносят вирусологи, микробиологи, математики, физики, экономисты¹. Моделирование эпидемий не является внезапно появившимся в 2019-2020 гг. направлением, но высокое внимание к нему, по-видимому, объясняется масштабом воздействия на общество: многие страны столкнулись с заболеванием, диагностирование и лечение которого отсутствовало в повседневной практике большинства больниц [16]; многие страны ввели жёсткие ограничения на передвижения и скопление граждан [10]; сообщения о динамике COVID-19 вызвали тревогу обывателей [8]. Мировой масштаб объясняет спрос на эффективные меры сдерживания эпидемий и одновременно открывает широкие возможности для сравнения реализуемых политик в этой области. А современные средства наблюдения – смартфоны с функцией геолокации, городские камеры наблюдения, транспортные и банковские карты – позволяют собирать массивы детальной информации для количественного анализа тех или иных интервенций на государственном уровне.

Стандартом в исследовании эпидемий являются SIR-модели и их модификации. Реализация таких моделей отработана как на уровне популяции [1], так и на уровне отдельных индивидов [6]. С практической точки зрения интерес представляют коэффициенты динамики количества инфицированных и выздоровевших: какие шаги можно предпринять, чтобы первые были меньше, а вторые – побольше? Снижение количества контактов – очевидное решение для сдерживания эпидемий, которое следует из агентных моделей [14, 15]. В пределе, однако, получается изоляция граждан друг от друга, что на практике приводит к замиранию социальной и экономической жизни, которая лежит за рамками моделей распространения эпидемий. Необходим компромисс, и национальные (а в федеративных государствах ещё и региональные) правительства, устанавливая ограничения разной жёсткости на те или иные сферы деятельности, фактически проводят большое количество экспериментов, в которых проявляются сопутствующие эффекты. Сравнение результатов таких экспериментов затрудняется культурными различиями, но изменения политик во времени и открытость данных оставляют поле для анализа. Так, государственные и общественные организации ведут статистику о динамике эпидемии², а высокотехнологичные компании открывают данные о мобильности населения³. Детальная информация позволяет выполнить многоуровневую классификацию контактов, выявить наиболее значимые для распространения эпидемии и выработать меры по их минимизации. Продемонстрируем методику такого анализа на обобщённых данных, публикуемых ИТ-компаниями.

Распространение эпидемии в зависимости от типов контактов

В работе [3, 4, 13] сформулирована и частично решена задача оптимизации карантинных мероприятий на основе взвешенного по паре «ВВП – народосбережение» функционала с использованием реальных данных от сервисов Яндекс, Гугл и др. Для этой цели выстроена комбинированная система дискретных уравнений [4], в которой блок ВВП представлен авторской вероятностной моделью гибрид-

¹ В июне 2021 года поисковое ключевое слово «COVID-19» встречалось почти в 160 тыс. публикациях, индексируемых Scopus. Из них 101 540 относятся к медицине (отрасль знаний Medicine), 20 216 – к общественным наукам (Social Sciences), 15 619 – к молекулярной биологии (Biochemistry, Genetics and Molecular Biology), 10 128 – к иммунологии (Immunology and Microbiology), 3 596 – к математике (Mathematics), 2 916 – к физике (Physics and Astronomy).

² В России такой организацией является Роспотребнадзор

³ Данными о мобильности населения делятся, например, Яндекс, Google, Apple

ных экономических систем [2], а блок «народосбережение» представлен классической SIR-моделью [4] эпидемий с возможным пересечением блоков. Используя первичные данные – до введения ограничительных мер, – оценены фундаментальные SIR-коэффициенты для различных территорий [4].

Исследованная модель, параметры которой оцениваются и в данной работе, но на более детальных данных, представлена системой уравнений:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta(t) \times \frac{S(t) \times I(t)}{N}, \quad (1)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \beta(t) \times \frac{S(t) \times I(t)}{N} - \gamma \times I(t) - \alpha \times I(t), \quad (2)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma \times I(t), \quad (3)$$

$$\frac{dD(t)}{dt} = \alpha \times I(t), \quad (4)$$

$$\bar{A}_{i+1} = \bar{A}_i + \text{diag}(\bar{\xi}_i \cdot (\beta(t)) \times \bar{A}_i - (\bar{\xi}_i, P) \times \bar{A}_i, \quad (5)$$

где $S(t)$ – индивидуумы, подверженные заражению; $S(0) = N \approx 3 \times 10^6$;

$I(t)$ – инфицированные и способные к передаче инфекции индивидуумы;

$R(t)$ – выздоровевшие индивидуумы;

$D(t)$ – умершие индивидуумы;

\bar{A}_i – вектор валовых производств (капитализаций) агентов экономической системы;

$\beta(t)$ – некоторая функция от времени, которая зависит от карантинных мероприятий власти и уточняется по накопленным экспериментальным данным.

Векторы P и $\bar{\xi}_i$ характеризуют цены и индивидуальную экономическую эффективность агентов.

Каждый коэффициент охарактеризован следующим диапазоном значений:

$\beta_0 = (0,2-0,3)$ – коэффициент интенсивности контактов индивидов с последующим инфицированием;

$\gamma_0 = (1/10-1/14)$ – коэффициент интенсивности выздоровления инфицированных индивидов;

$\alpha_0 = (0,02-0,05)$ – коэффициент смертности заболевших индивидов.

Кроме того, на основе публичных сообщений о повторных заражениях и известных авторам практических случаев вероятность повторения заражения P_0 оценена в диапазоне $(0,05-0,10)$, а суточные случайные колебания заражений и их регистраций оценены коэффициентом вариации $CV_0 = 0,25$.

Систематическая ошибка регистрации заболевших на первом этапе моделирования не учитывалась. Для экономической оценки системы здравоохранения суточные затраты на лечение одного больного (в которые могут быть включены и оценки смертности) взяты в диапазоне $(30-100)$ тыс. руб.

Заметим, что работа с более современными и сложными, чем SIR-моделями сочтена нецелесообразной из-за больших случайных колебаний заболеваний, возможных систематических ошибок и предполагаемой сильнейшей неоптимальности управления главным (а по факту – для нового вируса – единственным) параметром – строгостью ограничения контактов. В рамках предложенных выше диапазонов значений управление формально эквивалентно замене β_0 на $\beta(t)$, где $\beta(0) = 1$ – управляемая интенсивность контактов.

Статистический анализ текущей ситуации допускает точечное оценивание параметров модели. Однако сужение указанных диапазонов значений в соответствии с данными о больных и умерших не считается целесообразным, так как изначально предположение состоит в появлении целого спектра штаммов, которые в каждом конкретном населённом пункте будут давать конкретные особенные значения параметров. Так, сегодня не вызывают больших вопросов у профессионалов утверждения об «удвоенной» заразности английского, индийского и других штаммов.

На основании европейских данных и первых российских данных по эпидемии дана грубая оценка $\beta(t)$ в результате рефлексивного неоптимального среднеошибочного управления карантинами как в Европе, так и в РФ в мультилогическом приближении [3-5, 13]. В рамках предложенных выше диапазонов параметров и с прогнозной оценкой варианта $\beta(t)$ в апреле 2020 получены ожидаемые кривые динамики актуальных больных и годового падения ВВП для РФ и Москвы [4], которые на интервале март-июнь 2020 года сравнивались с реализовавшимися и продемонстрировали совпадение по амплитуде и точке первой волны, лучше, чем у всех известных. Этот результат позволил выполнить отбор оптимальных в смысле взвешенной пары «ВВП – народосбережение» кривых $\beta(t)$ при значениях параметров из диапазонов, обеспечивающих хорошее соответствие.

Показано, что при появлении первого больного или ранее, с учётом оценок β_0, γ и др., в качестве первой меры для ограничения контактов достаточно интегрального их подавления вплоть до массовой вакцинации на уровне $0,7$ (то есть $\beta(t) \leq 0,7$ на интервале $t_0 < t < 360$ дней), что в масштабах страны гарантировало общее число больных менее 600 тыс. чел., число умерших менее 30 тыс. чел., спад ВВП менее 2% – вариант, кардинально лучше фактически реализованного рефлексивного управления $\beta(t)$.

К моменту наших первых публикаций с расчётами по авторской модели [3,4] начали накапливаться большие массивы данных о контактах Яндекс и Google. С точки зрения оптимизации будущих эпидемий несомненный интерес представляет то, в какой мере предложенные мультилогические приближения кривых подавления контактов согласованы с индексами самоизоляции Яндекса и индексами

мобильности Гугла. Высокая степень согласованности позволила бы, с одной стороны, работать с параметризованными мультилогистическими приближениями, что существенно технологичней в плане оптимизации будущих карантинных мер, с другой стороны, обоснованно использовать реальные Яндекс и Гугл-индексы для текущей коррекции карантинных мероприятий, несмотря на оговорки самих авторов этих индексов.

На Рисунке 1 представлены индекс самоизоляции Яндекс для Москвы и его возможное мультилогистическое приближение в промежутке 2 марта 2020 г. – 2 марта 2021 г.

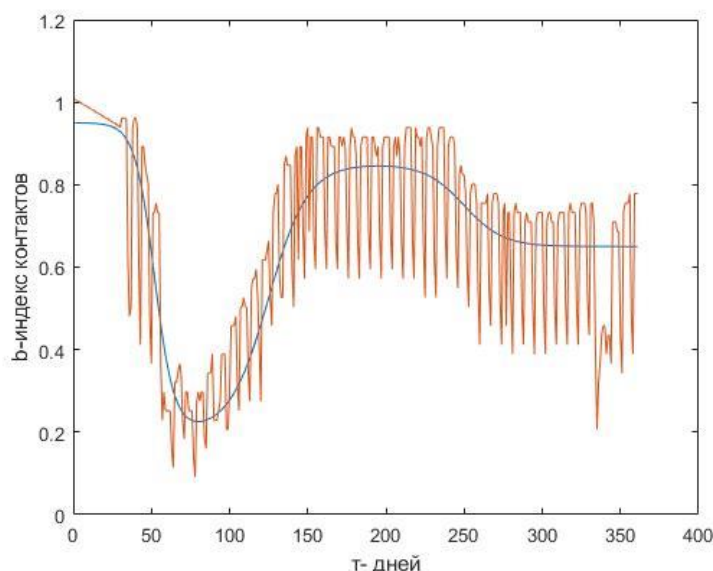


Рисунок 1. Индекс самоизоляции Яндекс для Москвы, нормированный на отрезке [0,1] (красная кривая), и вычисленное по модели значение $\beta(t)$.

На Рисунке 2 представлены модельный и реальный графики числа актуальных больных при использовании в качестве $\beta(t)$ непосредственно нормированного к интервалу (0,1) индекса самоизоляции от Яндекс. В работе [5] показано, что по критерию интегрального годового социально-экономического результата использование индекса Яндекс для приближения $\beta(t)$ даёт хорошие результаты. Однако временный интервал между первой и второй волной существенно отличается от реального. Совпадение интервалов требует модификации мультилогистического приближения, которое представлено на Рисунке 3.

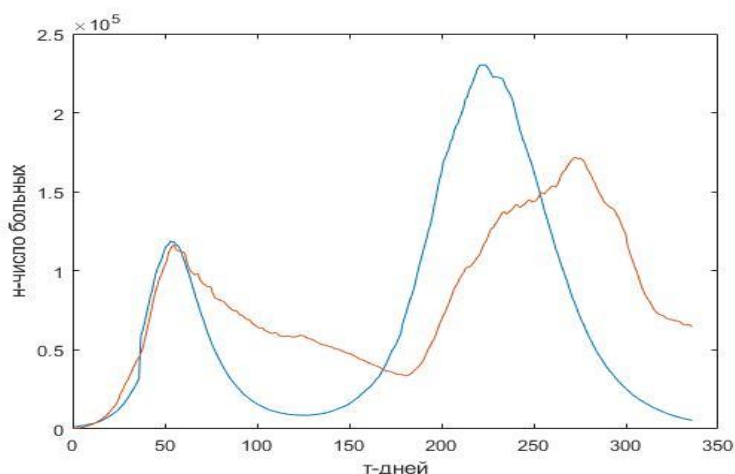


Рисунок 2. Реально наблюдаемое (красная кривая) число инфицированных в Москве и его модельное приближение (синяя кривая) без коррекции.

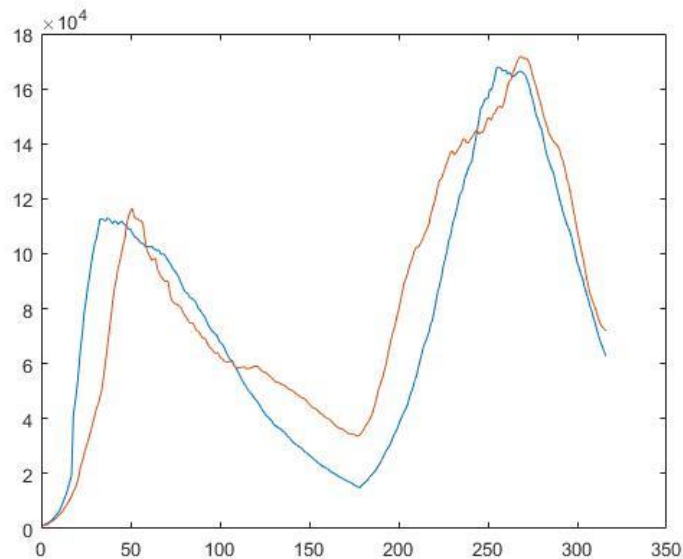


Рисунок 3. Реально наблюдаемое (красная кривая) число инфицированных в Москве и его модельное приближение (синяя кривая) в течение времени с учётом коррекции.

Там же в работах [3-5, 13] были высказаны гипотезы о необходимости дифференциации $\beta(t)$ для минимального подавления трудовых контактов и о возможном неискusstвенном сдвиге интервала между первыми и вторыми волнами при дифференцированном учёте контактов. Всю необходимую для этого информацию содержат базы данных по индексу мобильности Гугл⁴. На Рисунке 4 представлены нормированные к интервалу (0,2) индексы контактов на работе и дома. Уже этот рисунок позволяет оценить вклад этой пары контактов в управление $\beta(t)$. Он является второстепенным, так как контакты этого типа неизбежно работают в противофазе и гасят друг друга. Кроме того, интервал между экстремумами трудовых контактов соответствует интегральному индексу самоизоляции (по данным Яндекс) и не соответствует экспериментально измеренному интервалу между первой и второй волной эпидемии.

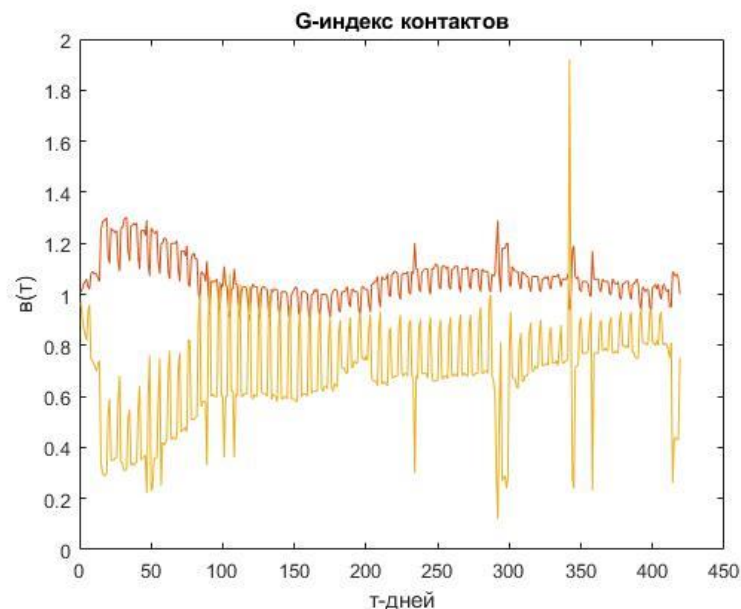


Рисунок 4. Значения $\beta(t)$ для трудовых контактов (жёлтая кривая) и домашних (красная кривая) для Москвы.

⁴ Данные по Москве, как и по другим территориям, с детализацией по типам контактов представлены на странице Google Community Mobility Reports по адресу <https://www.google.com/covid19/mobility/>. Как сообщается на самом сайте, данные доступны в течение ограниченного времени – до тех пор, пока официальные лица в системе здравоохранения находят их полезными в работе по предотвращению дальнейшего распространения COVID-19.

На Рисунке 5 представлены также нормированные индексы мобильности Гугл для контактов в розничной торговле, общественном транспорте, на рабочем месте. Непосредственный анализ Рисунка 5 подтверждает приемлемое соответствие интервалов между волнами с интервалом между экстремумами транспортных контактов. При этом контакты в точках торговли коррелированы с общественным транспортом.

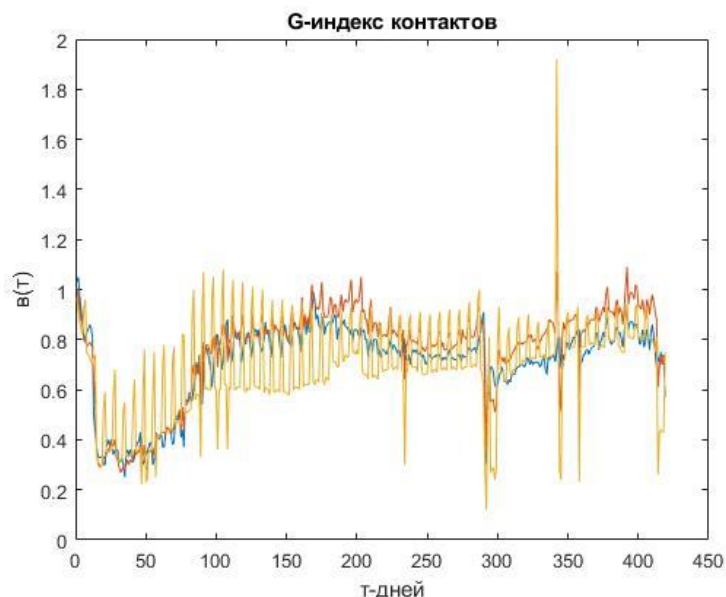


Рисунок 5. Значения $\beta(t)$ для трудовых контактов (жёлтая кривая), розничной торговли (синяя кривая) и общественного транспорта (красная кривая) для Москвы.

Результаты анализа SIR-модели с детализацией контактов по типам позволяет считать гипотезу о возможности (для параметров этой эпидемии) обойтись почти без подавления трудовых контактов как второстепенных и сосредоточиться на оптимальном подавлении контактов в общественном транспорте и в розничных точках продаж, как экспериментально наиболее значимых для коэффициент интенсивности контактов индивидов с последующим инфицированием $\beta(t)$. Корреляцию между отдельными группами контактов и выявленными случаями инфицирования демонстрирует Рисунок 6, где с совмещённым началом координат динамика коэффициентов $\beta(t)$ дана в агрегированном виде (на основе индекса самоизоляции Яндекс) и с декомпозицией по типам контактов (на основе индексов мобильности Гугл). Если в случае первой волны отдельные составляющие индекса мобильности имеют одинаковую динамику и, таким образом, в равной степени предсказывают количество инфицированных, то в случае второй волны контакты в общественном транспорте начинают играть более важную роль в распространении инфекции.

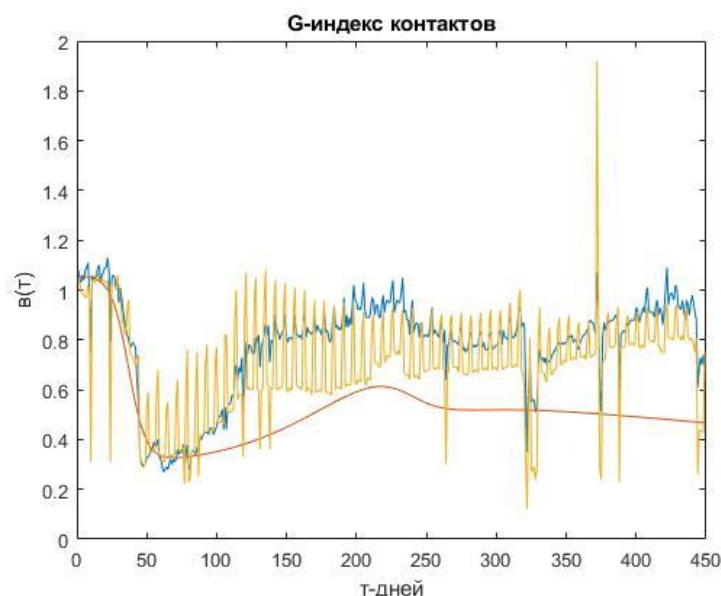


Рисунок 5. Значения $\beta(t)$ для трудовых контактов (жёлтая кривая), розничной торговли (синяя кривая) и общественного транспорта (красная кривая) для Москвы.

Ограничения на транспорте для борьбы с эпидемией

Транспорт оказывает значимое влияние на распространение эпидемии в Москве, как показывает анализ, и этот случай не является уникальным. С распространением COVID-19 многие страны стали придерживаться политики ограничительных мер в надежде на замедление темпов роста заболеваемости [20]. И транспорт оказался в фокусе внимания как место большого количества контактов. Логичным следствием нашей работы, которая демонстрирует высокую роль именно общественного транспорта в том, что называют второй волной COVID-19 в Москве, является ограничение мобильности в метро и автобусах с одновременным стимулированием к использованию личных автомобилей. Однако зарубежный опыт говорит о том, что простые решения в области транспорта оказываются малоэффективными [7]. Так, простое ограничение на количество пассажиров оказывается бесполезным в часы пик. Переход на расписание выходного дня имеет ограниченный потенциал. А замещение автобусов на дорогах личными автомобилями чревато негативными последствиями уже в среднесрочной перспективе. Как показывают исследования, при жёстких ограничениях на общественный транспорт существенно возрастает риск увеличения парка частных автомобилей [7]. Опросы демонстрируют, что недоступность общественного транспорта повышает склонность к покупке автомобиля даже среди населения с низким уровнем дохода [7]. Результаты подобных опросов едва ли можно считать далёкими от реальности: в странах, смягчивших эпидемические ограничения, растут продажи автомобилей, и всё больше граждан предпочитают добираться до места работы на личном транспорте [7, 20]. В перспективе это чревато замедлением общего автомобильного движения в городе, осложнением ситуации с парковкой и разорением частных автотранспортных предприятий даже после снятия эпидемических ограничений. В целом, эксперты осведомлены об этих рисках и ожидают усиления государственной активности, связанной с управлением системой общественного транспорта вследствие эффектов COVID-19 [20].

С ростом автомобильного парка также связывают повышенные риски ДТП, что влечёт за собой большее количество жертв и аварий, которые в экономических величинах проявляются через дополнительную нагрузку на систему здравоохранения и рынок страховых услуг (через возмещение затрат на ремонт). Оценку роли возросшего парка автомобилей на эти показатели после снятия ограничений можно выполнить сценарным расчётом, но снижение упомянутых величин вследствие уменьшения движения на дорогах уже отмечено в ряде исследований [9, 17]. Ограничения на мобильность граждан проявляются во многих исследованиях через снижение регистрируемых ДТП и их жертв. Другая сторона состоит в том, что возросшее количество автомобилистов может статистически значимо проявиться в увеличении происшествий на дорогах. Уже упомянутая склонность граждан пересесть с общественного транспорта на личный – особенно на фоне сюжетов о толчее в метро и автобусах – свидетельствует о правдоподобности такого сценария. Подобное уже наблюдалось и ярко описано, например, в работах [11, 12], где установлена связь между увеличением жертв ДТП в США из-за страха перед полётами после событий 11 сентября 2001 года. Статистически значимый рост количества ДТП, очищенный от других факторов, в том числе сезонности, наблюдается с октября 2001 года, и за несколько месяцев происшествия на дорогах из-за возросшего трафика унесли большее количество жизней, чем упомянутые террористические атаки.

Не рост частного автопарка, а, напротив, развитие городской сети с учётом разных видов транспорта – автобуса, железнодорожного, метро, велосипеда, совместной аренды – в сочетании с динамическим управлением пассажиропотоком показывает многообещающие результаты [7]. Новые маршруты и дополнительные возможности пересадки вносят некоторое разнообразие в контакты пассажиров друг с другом. Действительно, эпидемии быстро затухают при случайном характере контактов [18], в то время как общественный транспорт до известной степени предопределяет контакты: ежедневно, проходя по маршруту одни и те же районы, автобус собирает частых попутчиков – тех, кто спешит на работу к одному и тому же времени изо дня в день. В части «перемешивания» контактов на транспорте Москва может предъявить целую инфраструктуру с единым билетом, видами транспорта и городскими мобильными приложениями, городскими информационными табло. Дело за реализацией, которая может потребовать и пересмотра маршрутов наземного транспорта, увеличения парка с целью уменьшить загруженность пассажирами. Некоторые стратегии повышения безопасности в общественном транспорте с одновременным фокусом на сохранении парка предусматривают вовлечение не только государства и перевозчиков, но и самих граждан [19]. В этом смысле системное решение проблемы требует проработки стимулов и мер поддержки на разных уровнях. Разработка и реализация соответствующих программ неизбежно приведут к росту цены перевозок, однако, механизм привлечения соответствующих ресурсов и разделения затрат выходит за рамки данной статьи.

Литература

1. Абрамов С.М., Травин С.О. Об анализе, моделировании и прогнозе статистики эпидемии коронавируса // Цифровая экономика. – 2020. – № 2(10). – с.5-19
2. Грачёв И.Д. Статфизическая модель экономического прогресса // Электронное научно-практическое периодическое издание «Современные научные исследования и разработки» – 2018. – №10(27). – с. 267-269.

3. Грачёв И.Д., Грачёв Д.И., Ларин С.Н., Ноакк Н.В. Оценка экономических результатов различных вариантов карантинов с использованием комбинированной цифровой экономико-эпидемиологической модели // Экономика и предпринимательство. – 2020. – Вып.14. – №2(115). – с.902-909.
4. Грачёв И.Д., Грачёв Д.И., Ларин С.Н., Ноакк Н.В. Цифровая модель экономически оптимальных противо-эпидемиологических ограничений // Экономика и предпринимательство – 2020. – Вып.14. – №2(115). – с.869-872.
5. И. Д. Грачёв, С. Н. Ларин, Н. В. Ноакк. Оптимизация управления противоэпидемиологическими мероприятиями на основе цифровой социально-экономической модели // Экономика и предпринимательство – 2021. – Вып.15. – №3(128). – С.67-74.
6. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Агеева А.Ф. Моделирование эпидемии COVID-19 – преимущества агент-ориентированного подхода // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2020. – Т.13. – № 4. – с.58-73
7. Basu R., Ferreira J. Sustainable mobility in auto-dominated Metro Boston: Challenges and opportunities post-COVID-19 // Transport Policy. – 2021 – Vol. 103. – p. 197-210.
8. Bendau A, Petzold M.B., Pyrkosch L., Maricic L.M., Betzler F., Rogoll J., Große J., Ströhle A., Plag J. Associations between COVID-19 related media consumption and symptoms of anxiety, depression and COVID-19 related fear in the general population in Germany // European archives of psychiatry and clinical neuroscience. – 2021 – Vol. 271 – Issue 2 – p.283-291.
9. Brodeur A., Cook N., Wright T. On the effects of COVID-19 safer-at-home policies on social distancing, car crashes and pollution // Journal of environmental economics and management. – 2021 – Vol. 106. – p. 102427.
10. Duhon J., Bragazzi N., Kong J.D. The impact of non-pharmaceutical interventions, demographic, social, and climatic factors on the initial growth rate of COVID-19: A cross-country study // Science of The Total Environment. – 2021 – Vol. 760 – p. 144325.
11. Gigerenzer G. Dread risk, September 11, and fatal traffic accidents // Psychological science. – 2004. – Vol. 15. – Issue 4. – p. 286-287.
12. Gigerenzer G. Out of the frying pan into the fire: Behavioral reactions to terrorist attacks // Risk Analysis: An International Journal. – 2006 – Vol. 26. – Issue 2. – p. 347-351.
13. Grachev I. D., Larin, S. N., Noakk, N. V. Development of a comprehensive digital model of cost-effective quarantine measures against the COVID-19 epidemic // Materials of the International Conference “Scientific research of the SCO countries: synergy and integration” – 2020. – p. 10-16.
14. Hunter E., Namee B.M., Kelleher J.D. A taxonomy for agent-based models in human infectious disease epidemiology // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2017. – Vol. 20. – Issue 3. – p.2
15. Perez L., Dragicevic S. An agent-based approach for modeling dynamics of contagious disease spread // International journal of health geographics. – 2009. – Vol. 8. – p. 50.
16. Phua J., Weng L., Ling L., Egi M., Lim C.M., Divatia J.V., Shrestha B.R., Arabi Y.M., Ng J., Gomersall C.D., Nishimura M. Intensive care management of coronavirus disease 2019 (COVID-19): challenges and recommendations // The Lancet Respiratory Medicine. – 2020 – Vol. 8. – Issue 5. – p.506-517.
17. Shilling F., Waetjen D. Special report (update): Impact of COVID19 mitigation on numbers and costs of California traffic crashes. – 2020.
18. Yang X.H., Wang B., Chen S.Y., Wang W.L. Epidemic dynamics behavior in some bus transport networks // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2012. – Vol. 391. – Issue 3. – p. 917-924.
19. Zhang J. Transport policymaking that accounts for COVID-19 and future public health threats: A PASS approach // Transport policy. – 2020. – Vol. 99. – p. 405-418.
20. Zhang J., Hayashi Y., Frank L.D. COVID-19 and transport: Findings from a world-wide expert survey // Transport policy. – 2021 – Vol. 103. – p. 68-85.

References in Cyrillics

1. Abramov S.M., Travina S.O. Ob analize, modelirovanii i prognoze statistiki jepidemii koronavirusa // Cifrovaja jekonomika. – 2020. – № 2(10). – с.5-19
2. Grachjov I.D. Statfizicheskaja model' jekonomicheskogo progressa // Jelektronnoe nauchno-prakticheskoe periodicheskoe izdanie «Sovremennye nauchnye issledovanija i razrabotki» – 2018. – №10(27). – с. 267-269.
3. Grachjov I.D., Grachjov D.I., Larin S.N., Noakk N.V. Ocenka jekonomicheskix rezul'tatov razlichnyh variantov karantinov s ispol'zovaniem kombinirovannoj cifrovoj jekonomiko-jepidemiologičeskoj modeli // Jekonomika i predprinimatel'stvo. – 2020. – Vyp.14. – №2(115). – с.902-909.
4. Grachjov I.D., Grachjov D.I., Larin S.N., Noakk N.V. Cifrovaja model' jekonomičeski optimal'nyh protivojepidemiologičeskix ogranichenij // Jekonomika i predprinimatel'stvo – 2020. – Vyp.14. – №2(115). – с.869-872.

5. I. D. Grachjov, S. N. Larin, N. V. Noakk. Optimizacija upravljenja protivoepidemicheskimi meroprijatijami na osnove cifrovoj social'no-jekonomicheskoj modeli // Jekonomika i predprinima-tel'stvo – 2021. – Вып.15. – №3(128). – S.67-74.
6. Makarov V.L., Bahtizin A.R., Sushko E.D., Ageeva A.F. Modelirovanie jepidemii COVID-19 – pre-imushhestva agent-orientirovannogo podhoda // Jekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz. – 2020. – Т.13. – № 4. – s.58-73

Грачев Иван Дмитриевич, ORCID 0000-0003-1815-5898

Неволин Иван Викторович (i.nevolin@cemi.rssi.ru), ORCID 0000-0002-8462-9011

Ключевые слова

COVID-19, карантинные меры, SIR-модель, общественный транспорт.

I.D. Grachev, I.V. Nevolin. Differentiated approach to quarantine restrictions.

Keywords

COVID-19, quarantine, SIR-model, public transport.

DOI: 10.34706/DE-2021-02-02

JEL classification: I18 – Здравоохранение: правительственная политика; регулирование; государственное здравоохранение, С32 – Эконометрические модели множественной/одновременной сбалансированности: динамические модели, С63 – Вычислительные методы

Abstract

The most governments imposed total restrictions on economic activity, mobility and public events as the first reaction to COVID-19 expansion. However, the experience of other epidemics shows the public transport significance in the dissemination of infections. Open data on population mobility, categorized by type of contact, make it possible to investigate the contribution of crowded places of different kinds to the COVID-19 expansion. Analysis shows that contacts in public transport alone are sufficient to calibrate the SIR model in the case of Moscow. With this factor had being hidden during the first wave due to the correlation of measures in various spheres it stands out during the second wave especially leaving labor contacts behind. Only retail contacts could compete with public transport in explaining the surge in COVID cases revealed.