

DOI:
**О ПРИНЦИПАХ ОРГАНИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
В УСЛОВИЯХ ЭПИДЕМИИ**

Приказчиков С.А.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Россия, г. Москва
ул. Профсоюзная д.65
prikazchikovs@ipu.ru*

Аннотация: В условиях эпидемии в рамках больших систем (страна, регион) встают задачи по управлению сложными процессами. Одной из задач является поиск баланса социальной активности, позволяющего бороться с эпидемией с минимальными социально-экономическими издержками. Настоящий обзор посвящен моделированию в рамках решения данной задачи.

Ключевые слова: управление сложными процессами, социально-экономические системы, математическое моделирование, эпидемия, Covid-19.

Введение

В условиях развития эпидемии в рамках больших систем (страна, регион) встают задачи по моделированию сложных процессов (эпидемиологических, социальных, экономических и пр.). Условно их можно разделить на два больших класса.

Первый – это собственно эпидемиологические модели, которые рассматривают динамику развития эпидемии в зависимости от свойств возбудителя инфекции и параметров, характеризующих структуру и взаимодействие между индивидами внутри человеческой популяции. В современных эпидемиологических моделях одним из ключевых показателей выступает основное репродуктивное число R_0 , которое характеризует количество вторичных случаев заболевания в результате контакта с одним инфицированным лицом в пределах восприимчивого населения (без принятия специальных противоэпидемиологических мер). В условиях реальной эпидемии и мер по борьбе с ней рассчитывают действительный коэффициент репродукции $R=R(t)$. При $R>1$ количество заболевших растёт, и имеет место вспышка заболевания. При $R<1$ вспышка гаснет. Базовыми предпосылками установления контроля над эпидемией выступают следующие условия:

$$(1) N < N_{max}.$$

$$(2) R < 1.$$

$$(3) U > U_{min}.$$

где N – среднесуточное число новых случаев¹, N_{max} – максимально допустимое среднесуточное число новых случаев для данного размера кластера (страна, регион, мегаполис)², R – действительный коэффициент репродукции³, U – функция, характеризующая степень устойчивости системы здравоохранения⁴.

Информация, получаемая на выходе эпидемиологических моделей (прогноз количества инфицированных, умерших, скорость развития эпидемии и др.) является отправной точкой для принятия решений по борьбе с эпидемией органами государственной власти и здравоохранения на всех уровнях. Коэффициент репродукции выступает одновременно одним из основных результатов эпидемиологического моделирования и важнейшим ориентиром для принятия различных мер социально-экономического характера.

Второй класс моделей отвечает за организацию социальной и экономической активности и мобильности в условиях эпидемии. В числе первоочередных рассматривают задачи по оперативному выявлению инфицированных лиц и помещению их на карантин, а также отслеживание контактов инфицированных лиц и работа с ними [1, 2]. Эти меры имеют прямое отношение к борьбе с эпидемией и затрагивают круг инфицированных лиц и непосредственно контактировавших с ними (т.е. незначительную долю популяции). Не менее важными, но более масштабными, являются задачи по

¹ Для усреднения часто используют период продолжительностью 7 дней

² Практика стран, успешно преодолевающих эпидемию Covid-19, показывает, что N_{max} находится на уровне 30-50 случаев в день на 10 млн. чел. населения.

³ На практике рассчитывают усредненные коэффициенты репродукции. Например, Институт Р.Коха (ФРГ) рассчитывает значения R , усредненные за 4 и 7 дней [3].

⁴ В простейшем случае, U – число свободных коек с интенсивной терапией (ICU, Intensive care unit), U_{min} – минимально допустимое число таких мест.

управлению социальной и экономической активностью и мобильностью с целью снижения скорости распространения эпидемии в рамках популяции в целом.

1 Постановка общей задачи

Плодотворным вкладом в понимание логики развития событий является концепция Hammer&Dance, предложенная Т.Пуэйо [4], в которой в качестве исходной информации были использованы выводы доклада группы Н.Фергюссона [5]. Согласно данному подходу период эпидемии можно условно разбить на два этапа. Во время этапа Hammer (H) эпидемия развивается неконтролируемо и стремительно, и на первый план выходят задачи сдерживания «любой ценой»⁵ (в соответствии с набором условий (1-3)). Успешность и продолжительность этапа H зависит от своевременности и решительности действий органов власти и здравоохранения. После выполнения указанных условий наступает этап Dance (D). Он связан с восстановлением социально-экономической активности при одновременной локализации и недопущении развития новых вспышек заболевания⁶. Наиболее общая формулировка возникающей задачи была предложена в работе Э.Будиша [6].

Для этапа H («эпидемиологическая» задача):

$$(4) F_1 \rightarrow \min.$$

где F_1 – функция, характеризующая распространение эпидемии, при условии сохранения минимального уровня функционирования общества.

Для этапа D («социально-экономическая» задача):

$$(5) F_2 \rightarrow \max.$$

где F_2 – функция, характеризующая общественное благосостояние, при соблюдении ресурсных, технологических ограничений и сохранении $R < 1$.

В значительном числе случаев ограничение (2) является весьма жестким, и возникает вопрос о возможности его смягчения. Моделирование, проведенное группой ученых Кембриджского университета [7] показало, что при выполнении определенных условий (чередование периодов жесткого сдерживания и релаксации) возникает теоретическая возможность заменить его на более мягкое $R < R(t)$, где $R(t)$ может принимать значения больше 1 по крайней мере на отдельных временных отрезках, не ставя под удар устойчивость системы здравоохранения. Иными словами, возникает теоретическая возможность организации предсказуемой повседневной жизни в условиях управляемых вспышек заболевания. В соответствии с этими представлениями можно переформулировать задачу (5) следующим образом:

Для этапа D («социально-экономическая» задача):

$$(6) F_2 \rightarrow \max.$$

где F_2 – функция, характеризующая общественное благосостояние, при соблюдении ресурсных, технологических ограничений и сохранении $R < R(t)$.

Сформулированная таким образом общая задача является достаточно сложной, требующей для своего решения согласованной формализации, большого количества ресурсов и входящей информации, поэтому рассмотрим более узкую, важную ее подзадачу.

2 Ограничение социальной активности

К числу важнейших в борьбе с эпидемией относятся меры по ограничению социальной активности населения [5]. За исключением ряда важных исключений (пребывание дома, на работе, в гостях, прогулки в парках) социальная активность сводится к посещению локаций определенных типов (магазины, банки, аптеки, фитнес-клубы и пр.). Выбранному типу локации может быть сопоставлен определенный вид экономической деятельности. В зависимости от развития эпидемиологической

⁵ Основной вывод, сделанный в отчете группы Н. Фергюссона, состоит в том, что оптимальной стратегией борьбы с эпидемией на этапе H является жесткое сдерживание.

⁶ На этапе D эпидемия продолжает распространяться, и она заканчивается одновременно с проведением массовой вакцинации, либо с введением в оборот эффективного лекарства, либо с достижением т.н. популяционного иммунитета (herd immunity). В случае утраты контроля над эпидемией, возможен возврат к этапу H.

ситуации возникает практическая задача определения приоритетности ограничения⁷ различных видов социальной активности и связанных с ними видов экономической деятельности.

3 Модель сравнительной оценки различных типов локации (видов деятельности)

Каждый тип локации характеризуется риском заражения для посетителей и определенной общественной полезностью. Поэтому возникает возможность определения очередности открытия на этапе D на основе соотношения риска и полезности. Математически можно сформулировать задачу следующим образом. Определим $L = (L_1, L_2, \dots, L_s)$ – набор из S типов локаций. Пусть также $P = (P_1, P_2, \dots, P_n)$ – набор из n показателей, влияющий на риск заражения при посещении, а $W = (W_1, W_2, \dots, W_m)$ – набор из m показателей, определяющий общественную полезность каждого типа локации⁸.

3.1 Факторы риска

Поскольку основной способ передачи заболевания связан с непосредственным контактом между людьми, выберем в качестве критериев, характеризующих интенсивность⁹ такого контакта в выбранном типе локации, соответствующие базовые показатели, например [8]:

1. Ежедневное число посещений покупателей.
2. Ежедневное число посещений уникальных покупателей.
3. Продолжительность работы при плотности посетителей выше установленной нормы.¹⁰

3.2 Факторы полезности

Полезность формируется из полезности для посетителя (покупателя), которая отражает степень социальной удовлетворенности/напряженности и полезности для продавца, которая характеризует степень влияния на экономику и занятость. В качестве основных критериев полезности видов локаций используем соответствующие базовые показатели, например:

1. Данные о потребительских предпочтениях относительно закрытия/открытия различных типов локаций.
2. Среднее число занятых
3. Средняя выручка.

3.3 Сравнение типов локаций

Существует ограниченный набор типов локаций, для которых возможно сравнение по принципу доминирования, когда сопоставление значений каждого из показателей риска и полезности выявляет однозначное превосходство одного типа над другим. Тип локации L_i полностью доминирует над L_j , если:

$$(7) P_{kj} > P_{ki} \quad \forall k \in (1, \dots, n) \text{ и } W_{rj} < W_{ri} \quad \forall r \in (1, \dots, m).$$

где P_{kj} и W_{rj} – значения базовых показателей риска и полезности для i -го, а P_{ki} и W_{ri} – для j -го типа локации, соответственно.

Для такого ограниченного набора построим матрицу сравнения (рис.1), которая позволит сделать вывод относительно того, какие виды локации (деятельности) подлежат открытию раньше других. Если L_i полностью доминирует над L_j , то $a_{ij}=1$, а $a_{ji}=0$.

⁷ Строго говоря, мы сталкиваемся с двумя задачами: последовательностью введения ограничений на этапе H и последовательностью их снятия на этапе D. Для простоты в дальнейшем будем говорить о решении второй из них.

⁸ Показатели должны быть измеримыми и могут базироваться как на объективных данных, так и на экспертных оценках.

⁹ Интенсивность контакта характеризуется пространственной близостью и продолжительностью. Поэтому для ее оценки говорят об экспозиции (exposure).

¹⁰ В большинстве стран используют правило минимальной социальной дистанции 1,5-2 м (в США – 6 футов). В Германии также исходят из минимума 20 кв.м на одного посетителя при нахождении в общественных помещениях.

	Банки	Парикмахерские	Фитнес-центры	Аптеки	Спорттовары	Бакалея	Торговые центры	Стоматология	Университеты	Кафе, рестораны
1 Банки	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7 Парикмахерские	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
10 Фитнес-центры	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3 Аптеки	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0
6 Спорттовары	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
5 Бакалея	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0
9 Торговые центры	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
4 Стоматология	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
2 Университеты	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8 Кафе, рестораны	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

Рис. 1. Пример матрицы сравнения

В общем случае введем сравнение типов локаций по соотношению полезности и риска, где агрегированным показателем риска j -го типа локации выступает индекс риска – результат свертки базовых показателей риска,

$$(8) R_j = R(P_j) = R(P_{1j}, \dots, P_{nj}).$$

А агрегированным показателем полезности – индекс полезности, являющийся результатом свертки базовых показателей полезности,

$$(9) B_j = B(W_j) = B(W_{1j}, \dots, W_{mj}).$$

Рассчитаем ранг j -го типа локации на основании отношения индекса полезности к индексу риска

$$(10) Q_j = B_j / R_j.$$

где Q_j - ранг j -го типа локации, R_j и B_j – агрегированные индексы риска и полезности j -го типа локации, P_j и W_j - наборы значений базовых показателей риска и полезности j -го типа локации соответственно.

Решением поставленной задачи является ранжирование типов локаций по Q_j по убыванию. В практическом плане такое решение может служить руководством для органов власти и здравоохранения снятия (ослаблении) ограничительных мер в отношении различных видов социальной активности.

3.4 Источники информации

В рамках данной модели рассматриваются следующие основные источники информации:

1. Данные статистической отчетности.
2. Статистика данных геолокации.
3. Результаты социальных опросов.
4. Прочие источники.

Заключение

Опыт реакции различных стран мира на первую волну эпидемии выявил неготовность как органов государственной власти различных уровней, так и научного сообщества предложить обоснованный механизм принятия мер по ограничению социальной активности населения. В ряде случаев имело место принятие решений явочным порядком. Вместе с тем природа вируса и скорость снятия ограничений в ряде стран дают основание предположить высокую вероятность возникновения новых вспышек эпидемии. Данная модель является вкладом в формирование научного подхода для принятия мер по борьбе с ней.

Литература

1. Kahn J., et al. Digital Contact Tracing for Pandemic Response: Ethics and Governance Guidance. Johns Hopkins Project on Ethics and Governance of Digital Contact Tracing Technologies, 2020.
2. Ferretti L. et al. Quantifying SARS-CoV-2 Transmission Suggests Epidemic Control with Digital Contact Tracing. Science 08 May 2020: Vol. 368, Issue 6491, eabb6936 DOI: 10.1126/science.abb6936.

3. https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/Nowcasting.html (дата обращения 25.06.2020).
4. *Pueyo T.* Coronavirus: The Hammer and the Dance. <https://medium.com/@tomaspueyo/coronavirus-the-hammer-and-the-dance-be9337092b56> (дата обращения 25.06.2020).
5. *Fergusson N. et al.* Impact of Non-pharmaceutical Interventions (NPIs) to Reduce COVID-19 Mortality and Healthcare Demand. Imperial College London, 2020.
6. *Budish. E.* $R < 1$ as an Economic Constraint: Can We “Expand the Frontier” in the Fight Against Covid-19? University of Chicago – Booth School of Business, 2020.
7. *Chowdhury R. et al.* Dynamic Interventions to Control COVID-19 Pandemic: a Multivariate Prediction Modelling Study Comparing 16 Worldwide Countries. *European Journal of Epidemiology* Volume 35, Issue 5, May 2020.
8. *Benzell S.G. et al.* Rationing Social Contact During the COVID-19 Pandemic: Transmission Risk and Social Benefits of US Locations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, June 2020. (doi.org/10.1073/pnas.2008025117).