

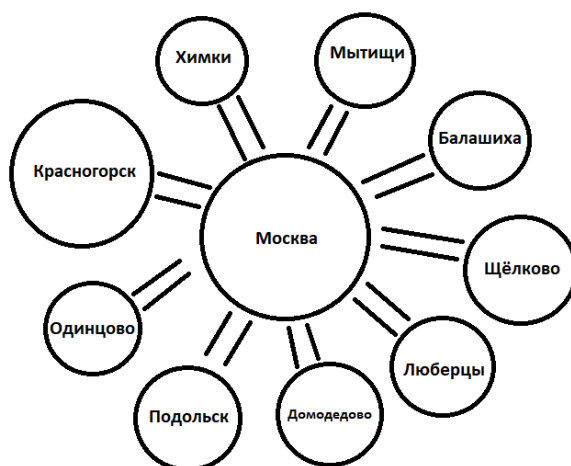
## Основная идея

За основу была взята SIR-модель с представлением людей в виде частиц физического газа в сосуде из следующего [видео](#). Идея центрального хаба (места ежедневных встреч людей из всей модели) была перенесена на Москву и ближайшие крупные города Подмосковья – не секрет, что многие люди из Подмосковья ездят по будням на работу в Москву, а по выходным – туда же развлекаться. При этом москвичи также ездят в подмосковные города – на дачи, в качестве туристов, кто-то даже работать. Таким образом, образуется система городов с транспортными потоками между ними, причём в качестве центрального хаба выступает вся Москва.

## Общие детали реализации

### Шаг 1. Инициализация.

Транспортная схема имеет следующий вид:



Каждый город представлен квадратной матрицей размера  $L \times L$ , где  $L$  получено в качестве квадратного корня из площади города (данные для каждого города взяты с Wikipedia). Единица измерения  $L$  – метры. Также для каждого города известно число жителей  $N$  (в единицах людей, данные взяты с Wikipedia). Один период в модели имеет продолжительность 8 часов, таким образом, каждый день представлен в виде 3 периодов.

Имеются данные о [пассажиropoтoкe](#) между Москвой и Подмосковьем за первую половину 2020 года. Экспертно было выбран коэффициент 0.75, который соответствует данным крупным городам Подмосковья. Также был выбран экспертный коэффициент 0.01, соответствующий Москве, и отвечающий за то, что меньший процент москвичей ездит в регионы, чем жителей регионов в Москву. Таким образом, весь оставшийся пассажиропоток был распределён между городами в зависимости от их населения с соответствующими коэффициентами (0.01 для Москвы, 1 для всех остальных). Величину потока для города  $i$  обозначим за  $v(i)$ .

В целом, данные переменные –  $L(i)$ ,  $N(i)$  и  $v(i)$  для каждого города есть постоянные константы, полученные из открытых источников (мы пренебрегаем естественными процессами изменения

населения городов и их размеров, считая их незначительными, а также принимаем гипотезу о равномерном распределении пассажиропотока по дням).

Таким образом, перед началом работы модели для каждой из матриц городов  $L(i) \times L(i)$  мы запускаем генерацию  $N(i)$  человек, случайно и равномерно в любой точке матрицы, при этом мы не накладываем никаких ограничений на существование в одной точке любого числа людей, данная точка будет являться для них домашней. Сразу после этого в соответствии с гипотезой о постоянстве в составе тех, кто ездит в другой город на работу/на отдых, выберем в каждом городе число людей, соответствующих ежедневному пассажиропотоку  $v(i)$  и для каждого из них сгенерируем (с равномерным распределением) в другом городе (для жителей Москвы – в одном из городов Подмосковья, распределение по городам пропорционально числу жителей в нём, для жителей городов Подмосковья – в Москве) точку, которая будет отвечать работе/месту отдыха.

## Шаг 2. Работа модели без болезни.

Рассмотрим действия, совершаемые людьми вне болезни: люди, занятые в другом городе, каждый день в 9 утра (перед вторым периодом дня) перемещаются в фиксированную точку досуга, из которой никуда не двигаются, и в 17 вечера (перед 3 периодом дня) отправляются обратно в начальную точку, отвечающую дому. Первые 6 периодов каждого дня отвечают нахождению всех людей в своих начальных точках. В остальные периоды люди могут свободно перемещаться в пределах зоны прогулок вокруг своего дома, если конечно в это время не находятся в другом городе. Здесь экспертно вводятся понятия размера зоны прогулок ( $w$ ) – круг радиусом 200м вокруг дома, и размера зоны перемещения за 1 период ( $d$ ) – круг радиусом 100м. Таким образом, для каждого периода в пределах пересечения зоны прогулок и зоны перемещения для каждого способного к перемещению человека генерируется (с помощью равномерного распределения) точка, в которую он переместится (может остаться на месте).

## Шаг 3. Процесс распространения эпидемии.

В начале имитации  $N(0)$  случайных людей из Москвы оказываются заражёнными (здесь мы придерживаемся идеи о том, что изначально заболевшие прибывали из других стран и главным образом оседали именно в Москве, а не в Подмосковье). Для COVID-19 характерен средний инкубационный период порядка 7 дней. Для большой модели в целом скорее важна средняя продолжительность, поэтому введём понятие длины инкубационного периода  $T = 21$  периодам модели. Но для первых заражённых этот показатель всё же гораздо более важен – кто-то заразился намного раньше начала отчёта модели, а кто-то совсем недавно – поэтому для изначально заражённых случайно (равномерно) для каждого сгенерируем число периодов от 0 до 21, после которых он станет распространителем инфекции. Само заболевание распространяется между людьми следующим образом: фиксирован радиус заражения  $r$  равный 2 метрам (будем считать, что расстояние социального дистанцирования взято правительством не из головы). Вероятность заражения при нахождении с активным заражённым на расстоянии меньше либо равно  $r$  независимо разыгрывается каждый период, при этом при наличии нескольких активных заражённых рассчитывается независимо для каждого. Вероятность заразиться при 8 часах тесного контакта с больным обозначим за  $p$ . Трудно найти разумные оценки величины  $p$ , поэтому в своей модели мы остановились на полуэкспертной оценке в **0.8**.

## Шаг 4. Параметры болезни.

Помимо длины инкубационного периода и заразности болезнь характеризуется длительностью активного периода заражения  $Y$  и смертностью (шансом смерти)  $q$ . Для COVID -19 данные параметры приблизительно составляют  $Y = 42$  периодов модели (две недели), а  $q = 0.02$  (взятая нами смертность несколько больше реальной, но для этого есть причины, которые объясним в дальнейшем). Таким образом, через  $Y$  периодов после начала активной фазы болезни с шансом  $q$  больной умирает, иначе – выздоравливает. Количество смертей – именно тот показатель, которым мы будем измерять различные сценарии болезни (как часть графика компонент SIR-модели).

## Шаг 5. Противовирусные меры.

Давайте наконец перейдём к тем параметрам, которые позволяют смоделировать противовирусные меры, предпринимаемые правительством и обществом. Введём показатель  $z$  – количество тестов на наличие вируса, проводимых каждый период среди населения (случайно), будем считать, что человек с положительным тестом отправляется в специальную область изоляции, где пребывает до выздоровления. Это будет чисто мониторинговый показатель. Введём также  $x$  – количество тестов на наличие вируса, проводимое за 1 период среди пациентов с симптомами (будем считать, что  $x$  намного меньше числа таких пациентов на пике, поэтому не нужно делать поправку на бессимптомных). Это уже более направленный на нахождение больных пациентов показатель. Пренебрежём тем, что часть тестов может выдавать ошибочный результат, так как это не является предметом изучения нашей модели. Анонсируем следующий эффект, позволяющий снизить смертность от вируса – государство предоставляет  $S$  мест в карантинной зоне, для которых смертность будет в 4 раза меньше. Но при их переполнении оставшиеся люди в карантине будут умирать с таким же шансом, что и все. Дадим государству возможность требовать от работодателей перевести  $j$  от всех работников на удалёнку, и тем самым уменьшить число людей, путешествующих между городами. И наконец, установим добросовестность самих людей на уровне  $u$ , будем считать, что доля  $u$  людей соблюдает меры личной безопасности (носит маски и перчатки) и тем самым уменьшает свой риск заболеть в 10 раз.

## Цели модели

Понятно, что выкручивание на максимум всех этих показателей приведёт к наилучшему эффекту, но в реальности, в отличие от модели, есть много причин (экономических, технических, социальных) почему это к сожалению не всегда возможно. Таким образом, авторы ставят перед собой две задачи: Во-первых, приближение реальной статистики по Москве и Подмосковию данной моделью с целью составления дальнейшего прогноза. Во-вторых, создание сайта, где каждый желающий сможет попробовать изменять параметры модели контролируемые параметры модели ( $z, x, S, j, u$ ) и посмотреть как сильно тот или иной параметр или их комбинация влияют на общую картину. Нужно понимать, что совместная работа общества и государства – это то, что лучше поможет в преодолении эпидемии.