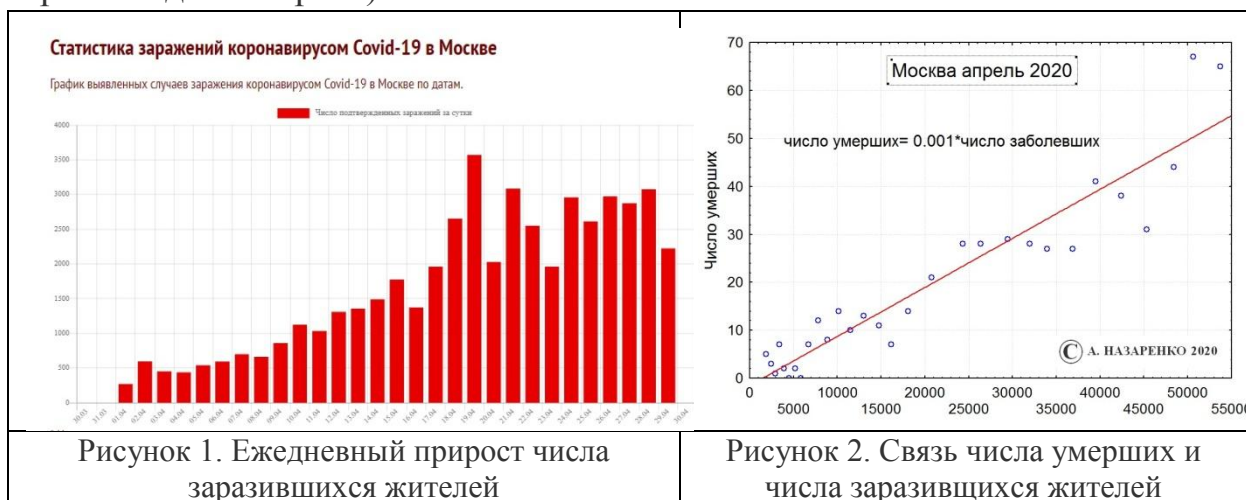


# МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КОРОНАВИРУСА В МОСКВЕ

Андрей И. Назаренко, д.т.н., профессор, [anszarenko32@mail.ru](mailto:anszarenko32@mail.ru)

## Анализ данных мониторинга обстановки

В основу моделирования положены статистические данные о распространении вируса COVID-19, представленные на сайте [1]. Ниже на рисунках 1 и 2 приведены некоторые из этих данных (на интервале времени до 30 апреля).



Данные рисунка 1 характерны тем, что рост ежедневного числа заболевших жителей фактически прекратился после  $\approx 18$  апреля и остановился на уровне  $\approx 2500$  заболевших за сутки. Данные рисунка 2 свидетельствуют о пропорциональной зависимости числа умерших и числа заболевших жителей. В среднем, на 1000 жителей приходится один умерший.

Рассмотрим результаты мониторинга числа зараженных жителей в Москве. Они представлены на рисунке 3.

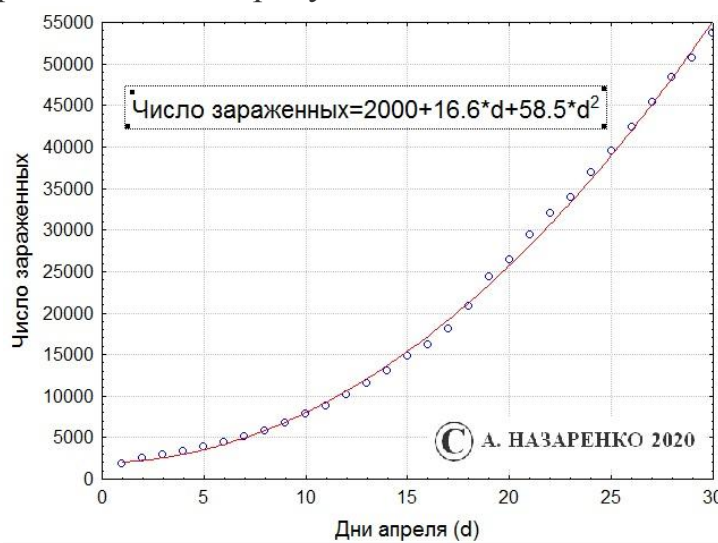


Рисунок 3. Данные мониторинга развития эпидемии в Москве

На этом рисунке представлены также результаты аппроксимации экспериментальных данных ( $x$ ) параболической зависимостью от времени:

$$x(d)=2000+16.6\times d+58.5\times d^2. \quad (1)$$

Производная этой функции

$$dx(d)/dd=16.6+2\times 58.5\times d \quad (2)$$

имеет смысл значения ежесуточного прироста числа заболевших жителей. В последней точке рассмотренного интервала времени ( $d=30$ ) это значение равно

$$(dx(d)/dd)_{d=30}=16.6+2\times 58.5\times 30=3526. \quad (3)$$

Данная величина оказалась на 40% больше упомянутой выше установившейся оценки ежедневного прироста числа заболевших жителей ( $\approx 2500$  за сутки). Причина такого расхождения оценок объясняется тем, что на всем рассмотренном интервале квадратичная аппроксимация не вполне соответствует реальной закономерности. Это подтверждается и расчетом производной в точке  $d=19$

$$(dx(d)/dd)_{d=19}=16.6+2\times 58.5\times 19=2240, \quad (4)$$

которая оказалась близкой к упомянутому выше установившемуся уровню ежедневного прироста ( $\approx 2500$  за сутки).

Чем объяснить тенденцию перехода ежедневного прироста числа больных к стабильному уровню? На примере анализа обстановки в Москве автор сделал вывод, что это объясняется постепенным переходом к равномерному распределению числа больных по территории города. В результате вероятность заражения становится постоянной. Иная картина была до стабилизации. В этот период районы с повышенным уровнем числа больных занимали часть территории города. Со временем они расширялись. Поэтому показатель ежедневного прироста увеличивался. Такая картина характерна для крупного достаточно изолированного города с большой численностью населения, каким является Москва.

Таким образом, из изложенного выше анализа кривой  $x=f(d)$  следуют рекомендации:

- На интервале времени до  $\approx 20$  апреля использовать аппроксимацию (1).
- После того, как производная  $dx/dd$  достигнет значения 2500 за сутки это значение принять постоянной величиной на интервале дальнейшего прогноза.

#### Рассмотрим алгоритм моделирования эпидемии в Москве

Ниже изложена обновленная методика моделирования развития эпидемии, в которую по сравнению с предыдущей версией [2] внесен ряд усовершенствований:

- учтена зависимость (1) прироста числа заболевших жителей от времени;

- учтено количество жителей, умирающих по естественным причинам, не связанным с эпидемией;
- учтено влияние возможных профилактических мер по предупреждению заражения.
- усилено влияние сезонного эффекта.

*Число жителей в текущий момент времени  $t$*

$x$  – число заболевших

$y$  – число выздоровевших

$z1$  – число умерших жителей от вируса

$z2$  – число жителей, умерших по другим причинам

$$w = x - y - z1 - \text{текущее число больных} \quad (5)$$

$u$  – число жителей, с которыми проведены профилактические меры

$Sum$  – общее число жителей города

$Sumt$  – число жителей города, подверженных заражению

$$Sumt = Sum - x - y - z1 - z2 - u. \quad (6)$$

*Данные о ежедневном приросте*

$q$  – число приехавших больных

$n$  – число заразившихся

$m$  – число жителей с профилактикой

$s$  – число выздоровевших

$r$  – число умерших

$$dx/dt = q + n$$

$$dy/dt = s \quad (7)$$

$$d(z1 + z2)/dt = r$$

$$du/dt = m$$

*Параметры модели и их влияние*

$p_n$  – доля новых заразившихся, которая рассчитывается на основе соотношения (1).

$kt$  – сезонный коэффициент числа заразившихся

$$kt = 1 + 0.6 * \sin(t + 90^\circ) \quad (8)$$

$t$  – дни от начала года

$$n = Sumt * kt * p_n \quad (9)$$

$p_s$  – доля новых выздоровевших

$$s = w * p_s \quad (10)$$

$p_r$  – доля новых умерших от эпидемии и других причин

$$r = w * p_{r1} + Sumt * p_{r2} \quad (11)$$

$p_m$  – прирост числа жителей с профилактикой

$$m = p_m \quad (12)$$

Соотношения (5 – 12) и есть модель эволюции эпидемии с параметрами  $q$ ,  $p_n$ ,  $0.6$ ,  $p_s$ ,  $p_{r1}$ ,  $p_{r2}$ ,  $p_m$ .

$d$  = интервал прогноза

$$t = t_0 + d - \text{время (дни) от начала года} \quad (13)$$

Параметры модели уточняются по опубликованным данным мониторинга обстановки.

### Результаты моделирования

На *первом* этапе было выполнено моделирование распространения коронавируса в апреле 2020 г и настройка параметров модели по опубликованным данным мониторинга обстановки. Результат этого этапа представлен на рисунке 4.

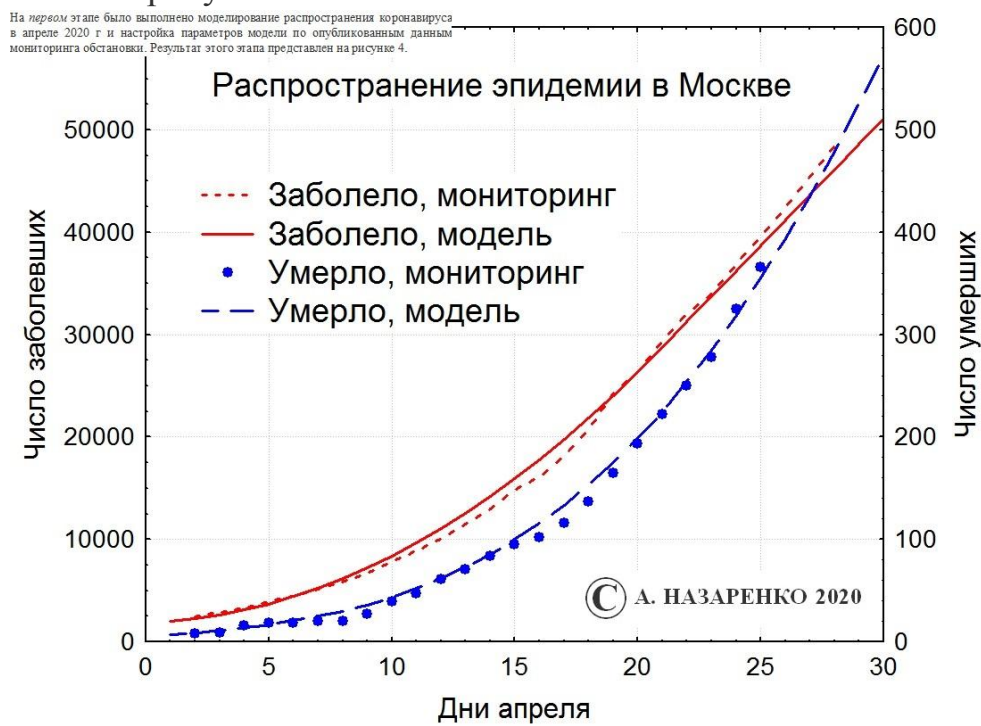


Рисунок 4. Сравнение результатов моделирования и мониторинга обстановки

Из данных рисунка видно, что по таким характеристикам, как число заболевших и умерших жителей Москвы, достигнуто очень хорошее соответствие модельных и реальных данных. Ниже в таблице 1 представлены данные последней строки выходного файла результатов.

Таблица 1. Результаты моделирования обстановки на месячном интервале времени до 30 апреля 2020 г

Дата	$K(t)$	Число за- болевших	Суточный прирост	Число выз- доровевших	Число умер- ших от вируса	Число умерших не от вируса
30	0.75	51058	2471	5259	573	5097

За рассмотренный месяц число умерших в результате заражения коронавирусом оказалось в 9 раз меньше числа умерших по другим причинам.

На *втором* этапе был выполнен прогноз развития эпидемии на годичном интервале, начиная с 1 мая 2020 г. Рассмотрено 2 сценария

условий моделирования. В первом сценарии (пессимистическом) использовалось допущение, что никаких профилактических мер для снижения числа заболевших предприниматься не будет. Во втором сценарии предполагалось, будут приняты профилактические меры по предупреждению заражений коронавирусом. А именно, было принято, что такие мероприятия будут проводиться ежедневно с 3000 пациентами. Результаты представлены на рисунке 5.

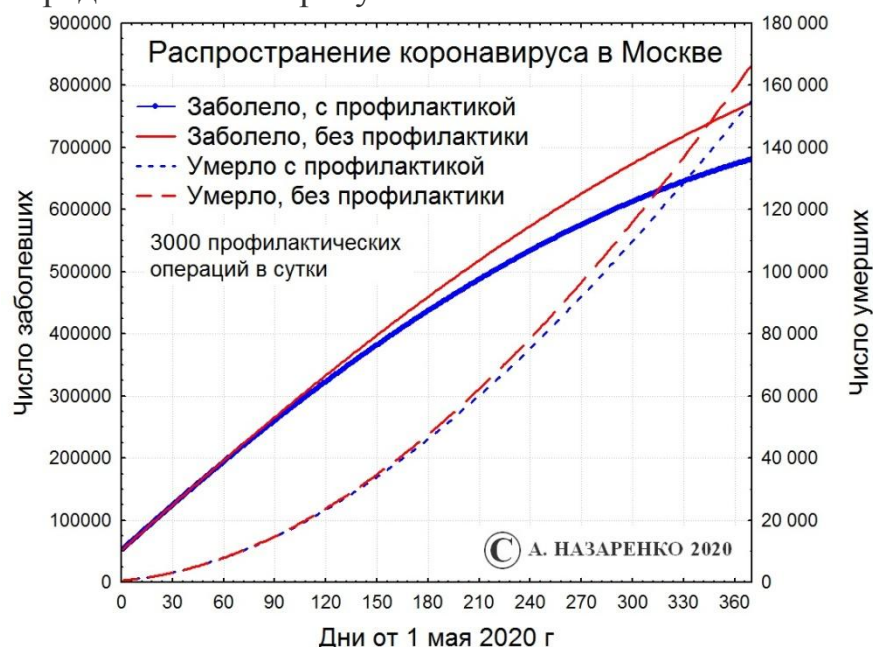


Рисунок 5. Прогноз развития эпидемии на годовом интервале

Из этих результатов следует важный вывод, что число заболевших и умерших жителей будет неуклонно расти. Через год соответствующие оценки составят:

Число заболевших 680 – 770 тысяч жителей.

Число умерших 155 – 167 тысяч жителей.

Упомянутые выше профилактические меры (3000 жителей в сутки) не оказывают существенного влияния на развитие эпидемии.

Другой важный вывод заключается в том, что **рост числа заболевших жителей Москвы будет продолжаться еще не один год!**

#### Литература.

1. Сайт <https://coronavirus-monitor.info/country/russia/moskva/>
2. А.И. Назаренко. «Модель распространения коронавируса в Москве», Сайт [satmotion.ru](http://satmotion.ru), раздел «Новости»
3. А.И. Назаренко. Задачи стохастической астродинамики. Математические методы и алгоритмы решения. М: URSS, 2017. 352 стр.