

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПАНДЕМИИ COVID-19 НА ОСНОВЕ SIR-МОДЕЛИ

Ларькин А.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Тонкович И.Н. – к.х.н, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. На основе SIR-модели проведено прогнозирование динамики распространения заболевания COVID-19 на территории Республики Беларусь. Исследование выполнялось в рамках начального периода распространения эпидемии, когда количество зараженных росло в ускоренном темпе. В качестве исходных данных использовалась официальная статистика Всемирной Организации Здравоохранения.

Ключевые слова: COVID-19, прогнозирование распространения, SIR-модель, математическая модель.

Введение. Пандемия COVID-19 привела к миллионам случаев заболеваний и значительному количеству смертей во всем мире. Понимание динамики распространения и прогнозирование заболеваемости COVID-19 являются критически важными для принятия эффективных мер по контролю и предотвращению распространения инфекции. В последние годы было разработано и применено на практике множество моделей и методов для прогнозирования заболеваемости в разных регионах по всему миру. В данном исследовании представляет интерес прогнозирование динамики распространения COVID-19 на основе классической SIR-модели.

Основная часть. Применение модели SIR (Susceptible-Infected-Recovered) является одним из наиболее распространенных подходов к прогнозированию динамики распространения заболеваемости. Эта модель учитывает основные динамические процессы, связанные с распространением инфекции, такие как контакты между людьми, переход от подверженных инфекции к инфицированным и выздоровевшим, а также влияние принятых мер по общественному здравоохранению. Однако данная модель не всегда является хорошим решением ввиду того, что при ее использовании учитывается достаточно ограниченное количество параметров, необходимых для более точного прогноза. Такие параметры как вакцинация, меры социального дистанцирования и изменение поведения населения требуют не только использования более сложных моделей, но иногда и их комбинирования для получения более точного результата. Кроме того, регулярное обновление и корректировка моделей на основе новых данных является важным аспектом точного прогнозирования [1].

SIR-модель описывает динамику распространения инфекции во времени, учитывая переход людей между различными категориями. Математически SIR-модель можно представить формулой 1:

$$\left\{ \frac{dS}{dt} = -\frac{\beta}{N} IS, \frac{dI}{dt} = \frac{\beta}{N} IS - \gamma I, \frac{dR}{dt} = \gamma I, \right. \quad (1)$$

где dS – изменение количества подверженных инфекции (S) в зависимости от времени;

dI – изменение количества инфицированных (I) в зависимости от времени;

dR – изменение количества выздоровевших (R) в зависимости от времени;

N – численность населения;

β – коэффициент интенсивности контактов, определяющий скорость передачи инфекции;

γ – коэффициент выздоровления, определяющий скорость выздоровления [2].

Для проведения прогнозирования был взят временной период с 19 апреля 2020 года по 14 июня 2020 года, который составляет 56 дней. За этот период на территории Республики Беларусь происходило активное заражение населения COVID-19, что позволит увидеть ясную картину увеличения количества заболевших и умерших, а также определить значение всех необходимых коэффициентов. Исходные данные находятся в открытом доступе в статистике, предоставленной Всемирной Организацией Здравоохранения (ВОЗ) [3].

Для построения графика необходимо вычислить начальное число подверженных инфекции S_0 , которое вычисляется по формуле 2:

$$S_0 = N - I_0 - R_0, \quad (2)$$

где I_0 – начальное число зараженных;

R_0 – начальное число выздоровевших;

N – численность населения.

Численность населения на указанный период (I_0) составляет 9,5 миллионов человек. Начальное число зараженных (N) на 19 апреля составляет 5289 человек, согласно статистике ВОЗ. Начальное число выздоровевших будет взято равное нулю.

Коэффициент интенсивности контактов (β) рассчитывается по формуле 3:

$$\beta = \frac{N}{SI}, \quad (3)$$

где N – количество новых случаев заболевания;

S – численность подверженного заражению населения;

I – общее число зараженных.

Коэффициент выздоровления, определяющий скорость выздоровления, определялся, исходя из предположения, что болезнь длится в среднем $l=14$ дней. Его расчет представлен формулой 4 [4]:

$$\gamma = \frac{1}{l} = \frac{1}{14} = 0,117, \quad (4)$$

Для построения графика был выбран язык программирования Python, так как он содержит обширное количество подключаемых библиотек, которые значительно облегчат процесс построения графического отображения результатов применения SIR-модели.

В компиляторе указывается модель и функция, описывающая ее (рисунок 1):

```
def sir_model(y, t, N, beta, gamma):
    S, I, R = y
    dSdt = -beta * S * I / N
    dIdt = beta * S * I / N - gamma * I
    dRdt = gamma * I
    return dSdt, dIdt, dRdt
```

Рисунок 1 – Задание функции, описывающей модель SIR

Затем в компиляторе указываются начальные значения, параметры и коэффициенты модели (рисунок 2):

```
# Начальные значения и параметры модели
N = 9.5e6 # Численность подверженного заражению населения РБ
I0 = 5289 # Начальное число зараженных
R0 = 0 # Начальное число выздоровевших
S0 = N - I0 - R0 # Начальное число подверженных инфекции

# Заданные коэффициенты модели
beta = 0.117 # Коэффициент интенсивности контактов
gamma = 0.0714 # Коэффициент выздоровления
```

Рисунок 2 – Задание начальных значений и необходимых параметров

Последним шагом является решение модели и построение графиков с использованием необходимых библиотек, таких как numpy и matplotlib (рисунок 3):

```
# Решение модели SIR
solution = odeint(sir_model, [S0, I0, R0], t, args=(N, beta, gamma))
S, I, R = solution.T

# Построение графика
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(t, I, label='Зараженные')
plt.plot(t, R, label='Выздоровевшие')
plt.xlabel('Дни прогноза')
plt.ylabel('Количество зараженных')
plt.title('Прогнозирование распространения COVID-19 на территории Республики Беларусь (SIR-модель)')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()
```

Рисунок 3 – Построение графика модели SIR

После запуска компилятора, мы получаем график прогнозирования распространения COVID-19 на территории Республики Беларусь в течение 56 дней (рисунок 4):

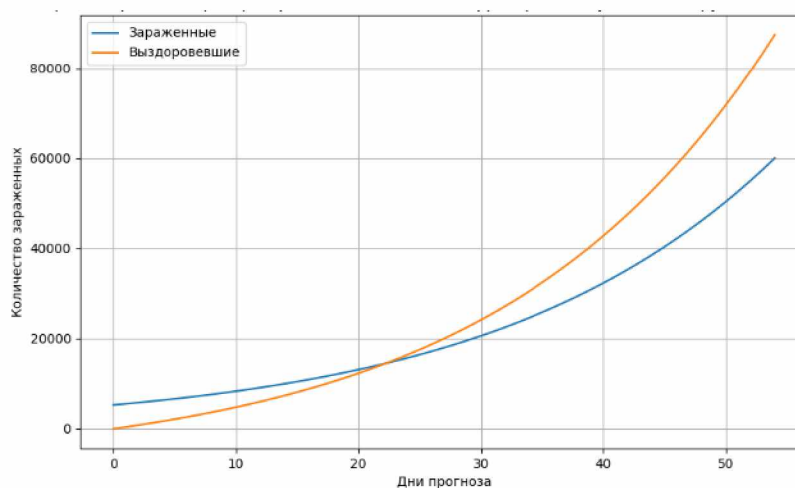


Рисунок 4 – График прогнозирования распространения COVID-19 на территории Республики Беларусь

Ниже представлена таблица, показывающая количество зараженных за временной период, рассматриваемый при построении графика (таблица 1).

Таблица 1 – Количество зараженных за временной период с 19 апреля 2020 года по 14 июня 2020 года

| Дата | Количество новых случаев | Количество кумулятивных случаев |
|------------|--------------------------|---------------------------------|
| 19.04.2020 | 3063 | 5289 |
| 26.04.2020 | 4301 | 9590 |
| 03.05.2020 | 6238 | 15828 |
| 10.05.2020 | 7145 | 22973 |
| 17.05.2020 | 5708 | 28681 |
| 24.05.2020 | 6563 | 35244 |
| 31.05.2020 | 6414 | 41658 |
| 07.06.2020 | 5210 | 46868 |
| 14.06.2020 | 6373 | 53241 |

Количество заражённых на момент 14 июня 2020 года составляет 53241 зараженных. Данное значение меньше, чем значение, представленное на графике. Это можно объяснить несовершенством модели прогнозирования и неидеальными условиями проведения сбора статистики на территории Республики Беларусь в начале эпидемии.

Заключение. Полученные значения показали, что SIR-модель можно использовать для прогнозирования распространения заболеваемости исключительно в ситуациях, когда имеются точные данные, относительно каждого параметра, необходимого для расчета данных, такие как количество выздоровевших, количество новых случаев заболевания, кумулятивное число умерших и т.д. Тем не менее, с помощью данной модели можно определить динамику распространения заболеваемости на небольшой временной период.

Список литературы

1. Янчевская, Е.Ю. Математическое моделирование и прогнозирование в эпидемиологии инфекционных заболеваний / Е.Ю. Янчевская, О.А. Меснянкина // Вестник РУДН. Серия медицина. – 2019. – Vol. 23, №3. – С. 328–334.
2. Ларькин, А. Д. Обзор моделей распространения эпидемий / А. Д. Ларькин // Новые информационные технологии в научных исследованиях «НИТ-2023»: материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 22–24 ноября, 2023 г. : в 2 т. Т 1 / Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина. – Рязань, 2023. – С. 113–115.
3. WHO COVID-19 dashboard data [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://data.who.int/dashboards/covid19/data?n=c>.
4. Б.О. Жумартова. Применение SIR-модели в моделировании эпидемий / Б.О. Жумартова // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2021. – Vol. 12, №63. – С. 6–9.

UDC 004.67

FORECASTING THE DYNAMICS OF THE PANDEMIC COVID-19 BASED ON SIR MODEL

Larkin A.D

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Tonkavich I.N. – Cand. of Che., associate professor, associate professor of the department of ICSD

Annotation. Based on the SIR model, the dynamics of the spread of the COVID-19 disease in the territory of the Republic of Belarus was forecasted. The study was carried out during the initial period of the epidemic, when the number of infected people was growing at an accelerated pace. Official statistics from the World Health Organization were used as source data.

Keywords: COVID-19, spread forecasting, SIR-model, mathematical model.