

**В. С. Синицкий**

Научный руководитель — Т. И. Гавриш

## АНАЛИЗ SEIRD-МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ COVID-19 В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

*В работе представлен анализ модели распространения эпидемиологических заболеваний SEIRD на примере распространения COVID-19 в Республике Беларусь в апреле 2020 г. Анализ проводится при помощи пакета прикладных программ MATLAB.*

Одним из способов прогнозирования распространения эпидемии сегодня стала модель SEIRD (Susceptible — Exposed — Infected — Recovered). В буквальном переводе это означает «восприимчивые — те, у кого болезнь находится в инкубационном периоде — инфицированные — выздоровевшие». В рамках этой модели с помощью систем дифференциальных уравнений описывается динамика распространения заболевания:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\frac{\beta S(I + \theta E)\varphi(I, E)}{N}, \\ \frac{dE}{dt} = \frac{\beta S(I + \theta E)\varphi(I, E)}{N} - kE, \\ \frac{dI}{dt} = kE - \gamma I - \mu D, \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I, \\ \frac{dD}{dt} = \mu D, \end{cases} \quad (1)$$

где  $S(t)$  — численность восприимчивых индивидов в момент времени  $t$ ;  $E(t)$  — численность индивидов с болезнью в инкубационном периоде в момент времени  $t$ ;  $I(t)$  — численность инфицированных индивидов в момент времени  $t$ ;  $R(t)$  — численность переболевших индивидов в момент времени  $t$ ;  $D(t)$  — численность умерших индивидов в момент времени  $t$ ;  $\beta$  — коэффициент интенсивности контактов индивидов с последующим инфицированием;  $\gamma$  — коэффициент интенсивности выздоровления инфицированных;  $\theta$  — параметр, характеризующий степень заразности латентных носителей инфекции по сравнению с заболевшими. Без данного показателя выходит, что скрытые носители инфекции  $E$  не заразны, хотя в условиях COVID-19 это не так;  $\mu$  — коэффициент смертности;  $N$  — размер популяции (численность населения);  $\varphi(I, E)$  — функция, на которую умножается нелинейная часть ( $S \cdot I$ ), для перехода к линейности при большом количестве заболевших: на практике по истечении определенного периода экспоненциальный рост заменился линейным.

Данная функция может быть следующего вида:

$$\varphi(I, E) = e^{-\alpha(I + \theta E)K_0}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  и  $K_0$  — параметры функции, подбором которых можно компенсировать экспоненциальный рост оригинальной модели.

Очевидно, что данную систему невозможно решить вручную. Поэтому воспользуемся пакетом прикладных программ для технического решения MATLAB. Причем чтобы минимизировать отклонения действительных данных от данных, полученных из модели, применим алгоритм оптимизации: необходимо подобрать такой вектор параметров  $x = (\beta, \gamma, \mu)^T$ , чтобы расхождения были минимальными. Целевая функция примет вид:

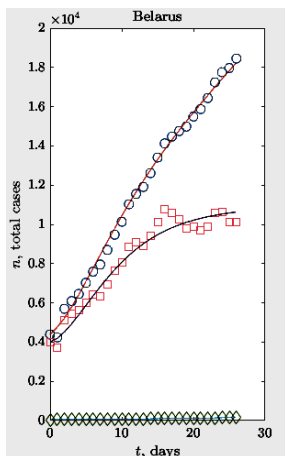
$$f(x) = \frac{1}{M} \sqrt{\sum_{i=1}^M (S_i - \hat{S}_i)^2 + \sum_{i=1}^M (I_i - \hat{I}_i)^2}, \quad (3)$$

где  $S_i, \hat{S}_i$  — общее число заразившихся индивидов в действительности и в соответствии с моделью в  $i$ -й момент времени;  $I_i, \hat{I}_i$  — общее число больных индивидов в действительности и в соответствии с моделью в  $i$ -й момент времени.

Теперь мы можем провести интерпретацию модели SEIRD на распространение COVID-19 в Республике Беларусь. Для объективности начнем строить модель с первого появления (когда число активных случаев превысило 0,4 % от общего числа населения) коронавируса в стране — 2 апреля 2020 г.

Также для построения качественной модели необходимы данные о реальных случаях заражения COVID-19 за этот период [1] и размер популяции (примем численность населения Беларуси 9,5 млн чел.).

На рисунке представлена зависимость числа инфицированных в общем, число больных и число смертей фактически и по модели SEIRD.



- S ○ Общее число случаев  
— mSEIRD,  $\beta = 0.2777 \quad \gamma = 0.0334 \quad \alpha_1 = 2.31e-06 \quad \mu = 4.94e-04 \quad K_0 = 1.47e+00$
- I □ Число больных  
— mSEIRD больных
- D ◇ Число смертей  
— mSEIRD смертей

#### Численный эксперимент с моделью SEIRD

Источники: собственная разработка на основе [2].

Как показано на рисунке, модель очень точно описывает характер распространения вируса в стране в начальный период. Но дальнейшее прогнозирование в этом же эксперименте было бы не столь корректным, так как на конец рассматриваемого периода температура уже начала повышаться, что изменяет степень заразности коронавируса и не дает построить адекватный прогноз.

В связи с этим можно сделать вывод, что модель лучше всего использовать в периоды одинаковых природно-климатических условий. В этом случае модель SEIRD очень хорошо справляется с возложенными на нее функциями и может использоваться как метод прогноза распространения не только COVID-19, но и любых других заболеваний эпидемиологического уровня, в том числе и новых штаммов того же коронавируса.

Также на рисунке можно увидеть показатели распространения вируса в нашей стране, а именно: интенсивность передачи вируса равна 0,2777 (на данный показатель больше всего влияет соблюдение санитарно-эпидемиологических требований); интенсивность выздоровления пациентов равна 0,0334 (свидетельствует о том, что в среднем пациенты выздоравливали за 30 дней); доля носителей болезни в инкубационном периоде от всех инфицированных составляет 25 %; смертность равна 0,05 %.

#### **Источники**

1. Коронавирус в Беларуси [Электронный ресурс] // Министерство финансов Украины. — Режим доступа: <https://index.minfin.com.ua/reference/coronavirus/geography/belarus/>. — Дата доступа: 01.10.2021.

2. Пандемия глазами математика [Электронный ресурс] // Хабр. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/500348/>. — Дата доступа: 01.10.2021.

***Н. В. Стома***

Научный руководитель — магистр экономических наук О. Г. Довыдова

## **УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ИННОВАЦИОННО-АКТИВНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ**

*Работа посвящена обоснованию необходимости управления интеллектуальными ресурсами в тесной взаимосвязи с инновациями для успешного развития промышленных предприятий в условиях цифровой трансформации экономики.*

XXI в. характеризуется глобализацией экономических отношений и международной торговли, цифровизацией социально-экономических процессов, возрастанием роли экологии, переходом к постиндустриальному обществу.