



Российский университет  
дружбы народов

# Имитационное моделирование распространения эпидемий средствами AnyLogic

Выполнил студент:

Ильинский Арсений Александрович

НКНбд-01-19

Студ. билет № 1032192885

Руководитель выпускной  
квалификационной работы:

Демидова А.В., к.ф.-м.н.,  
доцент кафедры ПИиТВ



1. Kermack W. O., McKendrick A. G. A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, Vol. 115, No. 772 (Aug. 1, 1927), pp. 700-721. URL: <https://jxshix.people.wm.edu/2009-harbin-course/classic/Kermack-McKendrick-1927-I.pdf>
2. Колесин И.Д., Житкова Е.М. Математические модели эпидемий. — СПб: НИИФ СПбГУ, 2004. — с. 92. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01002688596>
3. Ilya Grigoryev. AnyLogic in Three Days: Modeling and Simulation Textbook URL: <https://www.anylogic.com/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/>

# Введение



Российский университет  
дружбы народов

## Цель:

Построение имитационной модели эпидемии средствами AnyLogic.

## Задачи:

- Обзор предыстории появления эпидемиологических моделей и их математического аппарата.
- Описание подходов к построению эпидемиологических моделей.
- Построение вариации модели Кермака-МакКендрика SEIR с помощью системы дифференциальных уравнений средством Python и его библиотек.
- Построение вариации модели Кермака-МакКендрика SEIR с помощью средств имитационного моделирования AnyLogic.
- Сравнительный анализ подходов к построению эпидемиологических моделей.

## Методы:

Методом исследования является имитационное моделирование и численные методы. В качестве средства реализации используется средство AnyLogic и Python.

# Эпидемиологические модели



Российский университет  
дружбы народов

Эпидемиологическая модель – это математическая модель, которая описывает распространение инфекционных заболеваний в населении. Она позволяет предсказывать, как быстро и в каких объемах возбудитель заболевания распространится в определенной группе людей, и каким будет эффект различных мер по предотвращению распространения заболевания, например, введение карантина или массовая вакцинация.

## Работа Джона Граунта

- Он проанализировал различные причины смерти и дал метод оценки сравнительных рисков смерти от различных заболеваний, дав первый подход к теории конкурирующих рисков

## Работа Даниэля Бернулли

- Обычно описывается как первая модель в математической эпидемиологии. Его подход состоял в том, чтобы рассчитать увеличение ожидаемой продолжительности жизни, если оспа может быть устранена как причина смерти

## Работы Джона Сноу, Уильяма Бадда, Уильяма Фарра и др.

- Внесли дополнительный вклад в появление эпидемиологических моделей

# Модель Кермака-МакКендрика

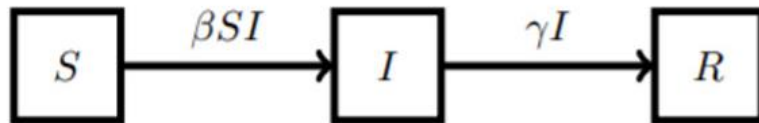


Российский университет  
дружбы народов

Модель Кермака-МакКендрика (SIR-модель), или модель распространения эпидемии (от англ. susceptible + infected + removed — уязвимые + инфицированные + выбывшие) была предложена биохимиком Уильямом Кермаком (1898-1970) и военным физиком и эпидемиологом Андерсоном МакКендриком в рамках созданной ими теории, получившей название теория Кермака-МакКендрика.

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial t} = \dot{S} = -\frac{\beta SI}{N}, \\ \frac{\partial I}{\partial t} = \dot{I} = \frac{\beta SI}{N} - \gamma I, \\ \frac{\partial R}{\partial t} = \dot{R} = \gamma I. \end{cases}$$

$$N = S + I + R$$



# Вариации модели SIR

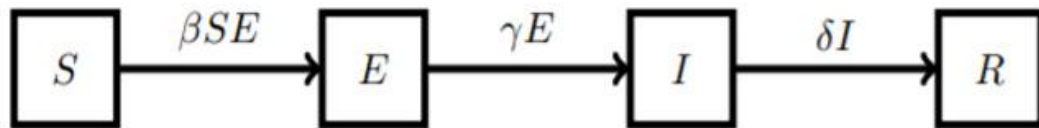


Российский университет  
дружбы народов

Модель SEIR — Именно по этой модели развиваются по-настоящему опасные эпидемии, поскольку длительный инкубационный период может препятствовать своевременному обнаружению заболевания. В этом случае есть риск, что заболевание охватит значительное число индивидуумов в популяции.

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial t} = \dot{S} = -\frac{\beta SI}{N}, \\ \frac{\partial E}{\partial t} = \dot{E} = \frac{\beta SI}{N} - \epsilon E, \\ \frac{\partial I}{\partial t} = \dot{I} = \epsilon E - \gamma I, \\ \frac{\partial R}{\partial t} = \dot{R} = \gamma I. \end{cases}$$

$$N = S + E + I + R$$



# Подходы к моделированию эпидемиологических моделей



Российский университет  
дружбы народов

## Модели дифференциальных уравнений

- Численный метод исследования, основанный на системе дифференциальных уравнений, которые описывают изменение числа зараженных, выздоровевших и умерших людей в течение определенного периода времени.

## Имитационное моделирование

- Метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему.

## Агентное моделирование

- Метод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом.

# Программная реализация



Российский университет  
дружбы народов

## Программная реализация модели SEIR на Python

- Для построения системы дифференциальных уравнений и графика визуализации динамики модели SEIR были использованы библиотеки SciPy и Matplotlib.

## Программная реализация модели SEIR с помощью средств имитационного моделирования AnyLogic

- Для построения модели и графика визуализации динамики модели SEIR были проделаны шаги:
  - Добавлены накопители.
  - Добавлены потоки.
  - Заданы параметры и зависимости.
  - Заданы начальные значения накопителей.
  - Заданы связи между параметрами и накопителями.
  - Заданы формулы потокам.



# Построение модели эпидемии средствами AnyLogic



Российский университет  
дружбы народов

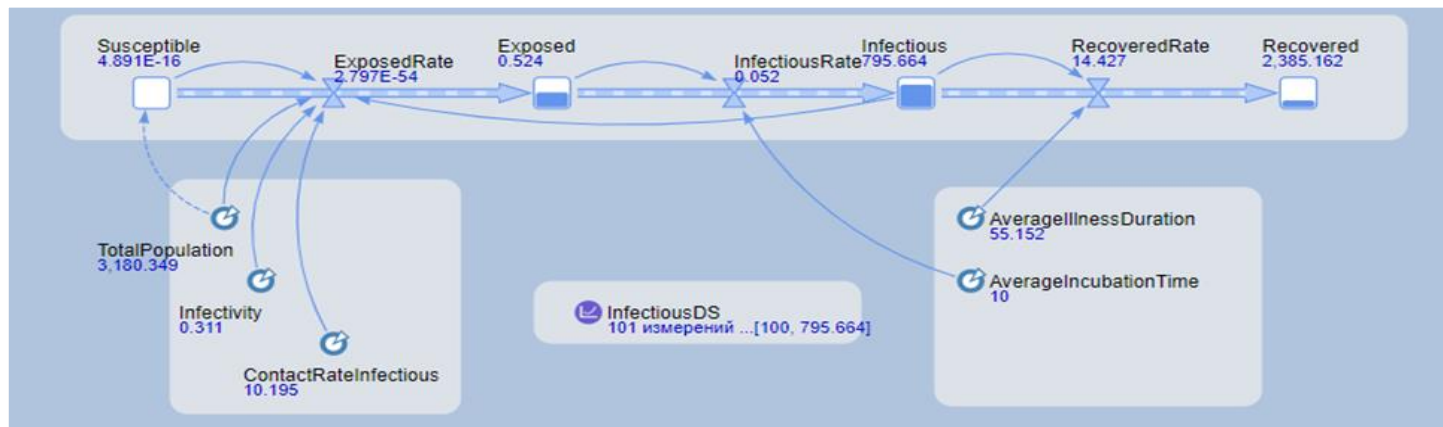


График модели SEIR построенной с помощью средств  
имитационного моделирования

# Построение модели эпидемии средствами Python



Российский университет  
дружбы народов

```
[ ] 1 def sir_model(t, y, N, beta, sigma, gamma):  
2     S, E, I, R = y  
3     dS_dt = -beta*I*S/N  
4     dE_dt = beta*I*S/N - sigma*E  
5     dI_dt = sigma*E - gamma*I  
6     dR_dt = gamma*I  
7     return dS_dt, dE_dt, dI_dt, dR_dt
```



```
[ ] 1 T = 100  
2 solution = integrate.solve_ivp(sir_model,  
3                               [0, T],  
4                               [S0, E0, I0, R0],  
5                               dense_output=True,  
6                               args=[N, beta, sigma, gamma])
```



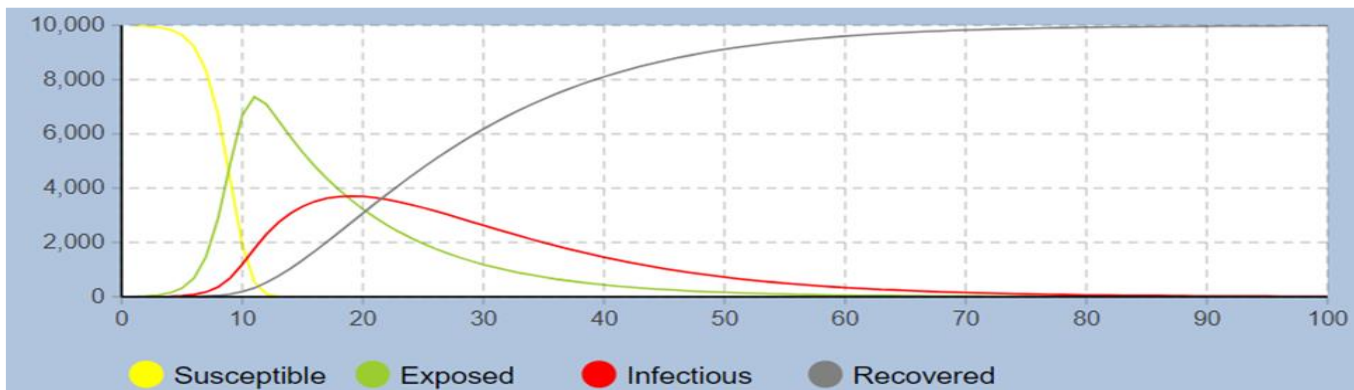
```
[ ] 1 t = np.linspace(0, T, 100)  
2 y = solution.sol(t)  
3 S, E, I, R = y[0,:], y[1,:], y[2,:], y[3:]
```

# Сравнительный анализ

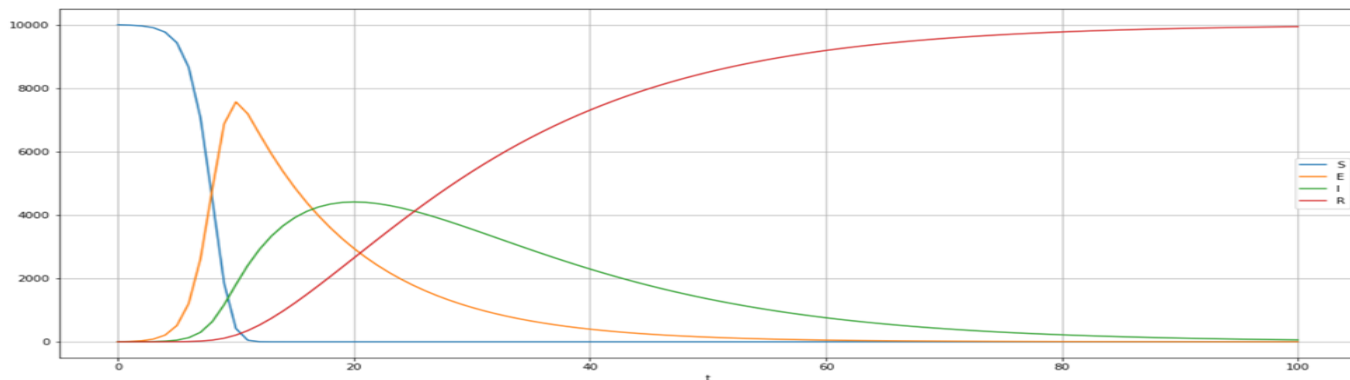


Российский университет  
дружбы народов

AnyLogic



Python



# Заключение



Российский университет  
дружбы народов

- Рассмотрена предыстория появления эпидемиологических моделей;
- Изучены методы построения эпидемиологических моделей.
- Разобран программный комплекс построения эпидемиологических моделей на языке Python и средствами имитационного моделирования AnyLogic.
- Проведен сравнительный анализ методов построения эпидемиологических моделей.