

Югорский государственный университет  
Институт цифровой экономики

Отчёт по проекту D

На тему «Агентная модель распространения инфекции (SIR)»

Выполнил:

Аббазов Валерьян Ринатович

Группа: 11916\1

г. Ханты-Мансийск

2022 г.

## Оглавление

Введение .....	3
2. Концептуальная модель реального процесса .....	4
3. Формализация .....	5
4. Компьютерная модель .....	7
5. Эксперименты.....	10
Заключение: .....	17
Список использованных источников .....	18

## Введение

В настоящее время в условиях эпидемии в результате распространения коронавируса стала актуальной задача прогнозирования размеров, сроков пика и окончания распространения эпидемии, а также оценки эффективности возможных управленческих решений, направленных на предотвращение распространения эпидемии.

На помощь в этом случае могут прийти математические модели, описывающие данные процессы. Существует несколько подходов к моделированию распространения эпидемии, которые могут быть использованы для анализа протекающих процессов. В данной работе будет рассмотрена агентная модель распространения инфекции (SIR), разработанная в 1927 года шотландскими эпидемиологами Кермаком и Маккендриком.

## 2. Концептуальная модель реального процесса

Рассматривается процесс распространения инфекционного заболевания (эпидемия) среди населения некоторого региона. Предполагается, что изначально население восприимчиво к заболеванию. Эпидемия распространяется, поскольку заражённые люди контактируют и передают заболевание восприимчивым. Через определённое время после заражения человек выздоравливает и вырабатывает иммунитет к заболеванию. Имитационная модель процесса эпидемии разрабатывается с целью получить ответы на ряд вопросов: как процесс развивается во времени? Как изменяется численность заболевших и выздоровевших?

Цель моделирования: анализ распространения инфекционного заболевания.

Определим следующие задачи:

1. Выявить время окончания инфекции
2. Оценить число восприимчивых людей
3. Оценить число зараженных людей
4. Оценить число людей с иммунитетом

### 3. Формализация

Население региона условно разделяется на три категории в соответствии с их состоянием:

- **Susceptible** – восприимчивые к заболеванию
- **Infection** - зараженные
- **Recovered** - выздоровевшие

По мере того, как люди заражаются, они перемещаются из категории Susceptible в категорию Infectious, и затем, по мере выздоровления - в категорию Recovered.

Переход из первого состояния (восприимчивый к заболеванию) во второе (зараженный) происходит в результате взаимодействия людей между собой. Переход из второго состояния (зараженный) в третье (выздоровевший) и из третьего (выздоровевший) в первое (восприимчивый) происходит по таймауту. Люди общаются друг с другом с определённой известной интенсивностью. Если заражённый человек контактирует с восприимчивым к заболеванию, то последний заражается с заданной вероятностью. Люди контактируют только с теми, кто находятся в окрестности определённого радиуса.

Единицей модельного времени являются дни. Продолжительность эксперимента 1 год (365 дней)

Модель имеет следующие входные данные:

Формальное обозначение	Сокращенное обозначение	Полное обозначение	Название
$x_1$	P	Population	Количество населения (тыс. человек)
$x_2$	I	Intensive	Интенсивность заражения (частота рассылки сообщений в день)
$x_3$	NatI	Nature_of_Infection	Характер заражения
$x_4$	CR	Contact_Radius	Радиус контакта (размер окрестности, в которой может происходить взаимодействие)

$x_5$	TIR	QueueClerk*	Время перехода из состояния «Infection» в состояние «Recovered» (в днях)
$x_6$	TRS	ParametrClerk*	Время перехода из состояния «Recovered» в состояние «Susceptible» (в днях)

Табл. 1 — входные данные эксперимента

\* Так указано в индивидуальном варианте. Полагаю это опечатка и должно быть что-то вроде: Time\_ Infection\_to\_ Recovered, Time\_ Recovered \_to\_ Susceptible.

Выходные данные включают следующие пункты:

Формальное обозначение	Сокращенное обозначение	Полное обозначение	Название
$y_1$	A	Appearance	Внешний вид распространения инфекции
$y_2$	CT	Cessation_time	Время прекращения инфекции
$y_3$	NS	Number_ Susceptible	Число восприимчивых людей по прошествии заданного времени
$y_4$	NI	Number_ Infection	Число зараженных людей по прошествии заданного времени
$y_5$	NR	Number_ Recovered	Число людей с иммунитетом по прошествии заданного времени

Табл. 2 — выходные данные эксперимента

#### 4. Компьютерная модель

Компьютерная модель построена в среде AnyLogic. Модель имеет следующий вид:

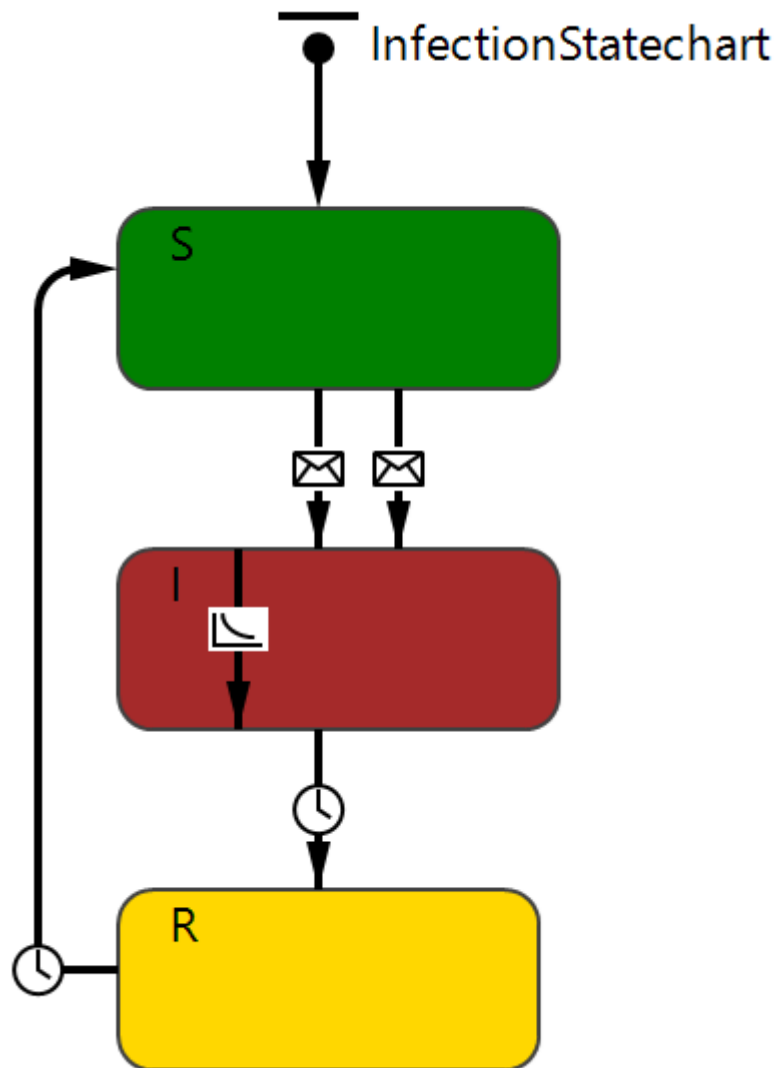


Рис. 1 — Модель

Модель представляет собой диаграмму состояний, состоящую из трёх состояний:

- **S** — восприимчивые к заболеванию
- **I** — зараженные
- **R** — выздоровевшие

Модель имеет два перехода  $S \rightarrow I$ , которые происходят при получении сообщений "Inf0" (отправляется при запуске модели, заражение первого

человека) и "Inf" (отправляется с заданной интенсивностью, отправка происходит внутри состояния **I**).

Из **I** → **R** ведёт переход, срабатывающий по таймауту. Таймаут соответствует времени протекания болезни. Аналогичный переход — **R** → **S**, соответствует времени сохранения иммунитета.

Для сбора данных по кол-ву людей в каждом состоянии в агенте people создан ряд функций (рис. 3). Эти данные отображаются на временном графике.

Имя:	Susceptible
Тип:	<input checked="" type="radio"/> Кол-во <input type="radio"/> Сумма <input type="radio"/> Среднее <input type="radio"/> Мин. <input type="radio"/> Макс.
Условие:	<code>item.InfectionStatechart.isStateActive(item.S)</code>

Имя:	Infective
Тип:	<input checked="" type="radio"/> Кол-во <input type="radio"/> Сумма <input type="radio"/> Среднее <input type="radio"/> Мин. <input type="radio"/> Макс.
Условие:	<code>item.InfectionStatechart.isStateActive(item.I)</code>

Имя:	Recovered
Тип:	<input checked="" type="radio"/> Кол-во <input type="radio"/> Сумма <input type="radio"/> Среднее <input type="radio"/> Мин. <input type="radio"/> Макс.
Условие:	<code>item.InfectionStatechart.isStateActive(item.R)</code>

Рис. 2 — Функции сборки статистики

Для выявления времени прекращения инфекции добавлено событие `getInfectiveEnd` (рис. 4), сохраняющий день, когда кол-во заражённых равно 0 в параметр `y2`.

**getInfectiveEnd - Событие**

Имя: `getInfectiveEnd` ☒ Отс

Видимость: ☒ да

Тип события: `При выполнении условия`

Условие: `people.Infective()<=0`

☒ Записывать лог в базу данных  
[Включить логирование выполнения модели](#)

**Действие**

`y2=time()`

Рис. 3 — Событие прекращения инфекции



Для выявления числа восприимчивых людей по прошествии заданного времени (под заданным временем понимается время окончания эксперимента, т.е. 365 день) добавлено событие getSusceptible (рис. 4), сохраняющий кол-во восприимчивых, когда текущее время эксперимента равно времени окончания эксперимента (параметр ExperimentTime) в параметр  $y_3$ . Аналогично работают события getInfective и getRecovered для сбора кол-ва заражённых и выздоровевших соответственно.

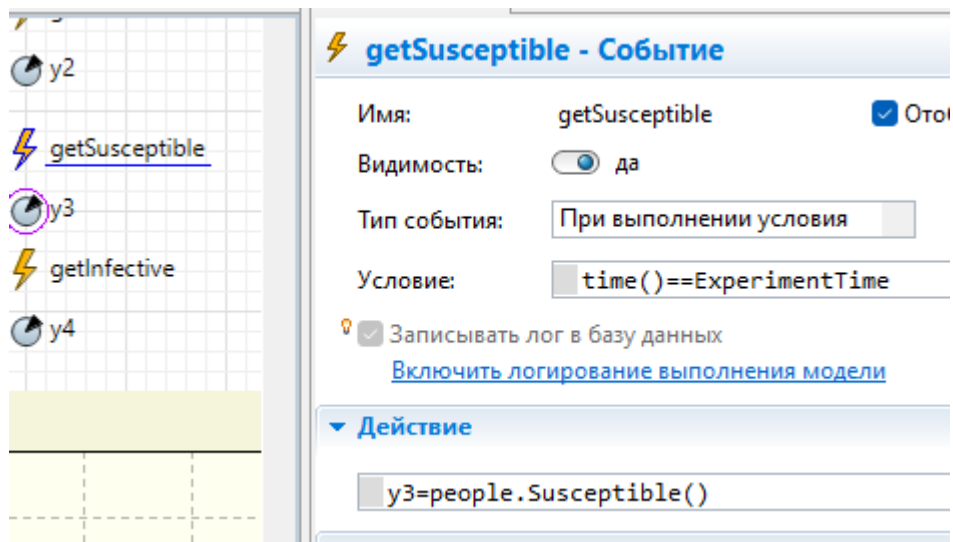


Рис. 4 — Событие выявления числа восприимчивых

Для выявления общего числа заражённых в состоянии **I** (заражён) при входе в параметр Total\_infective добавляется единица (рис. 5).

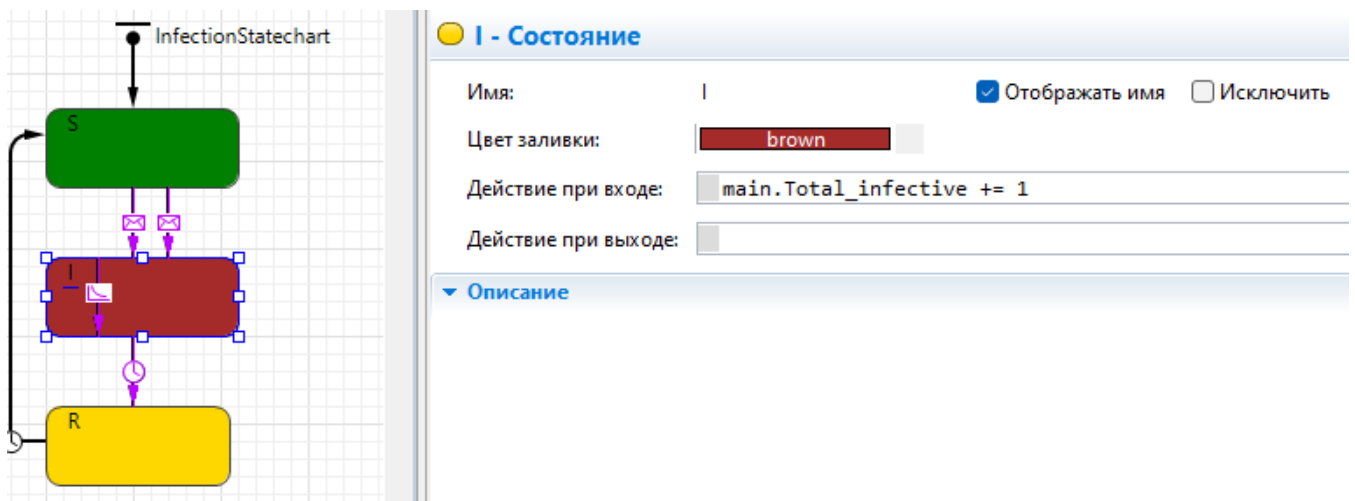


Рис. 5 — сбор данных об общем числе заражённых

## 5. Эксперименты

### 5.1 Эксперимент 1

Задачи:

1. Подсчитать значения выходных данных  $y=(y_1, \dots, y_5)$ .
2. Построить графики, отображающих динамику изменения численности агентов, находящихся в состоянии «восприимчивых», «инфицированных» и «выздоровевших».
3. Представить скриншот карты распространения инфекции в популяции в день максимального значения численности инфицированных.

Данные эксперимента, согласно варианту 1:

Формальное обозначение	Обозначение	Название	Значение
$x_1$	P	Количество населения (тыс. человек)	15
$x_2$	I	Интенсивность заражения (частота рассылки сообщений в день)	0,5
$x_3$	NatI	Характер заражения	ALL*
$x_4$	CR	Радиус контакта (размер окрестности, в которой может происходить взаимодействие)	5
$x_5$	TIR	Время перехода из состояния «Infection» в состояние «Recovered» (в днях)	14
$x_6$	TRS	Время перехода из состояния «Recovered» в состояние «Susceptible» (в днях)	30

\* При использовании данного параметра заражение происходит мгновенно в первый же день. Исходя из-этого для эксперимента использован стандартный *sendToAllConnected*

Результаты эксперимента:

Формальное обозначение	Название	Значение
$y_1$	Внешний вид распространения инфекции	Рис 6 (в день максимального значения численности Инфицированных)
$y_2$	Время прекращения инфекции	294 день
$y_3$	Число восприимчивых людей по прошествии заданного времени	15000
$y_4$	Число зараженных людей по прошествии заданного времени	0
$y_5$	Число людей с иммунитетом по прошествии заданного времени	0

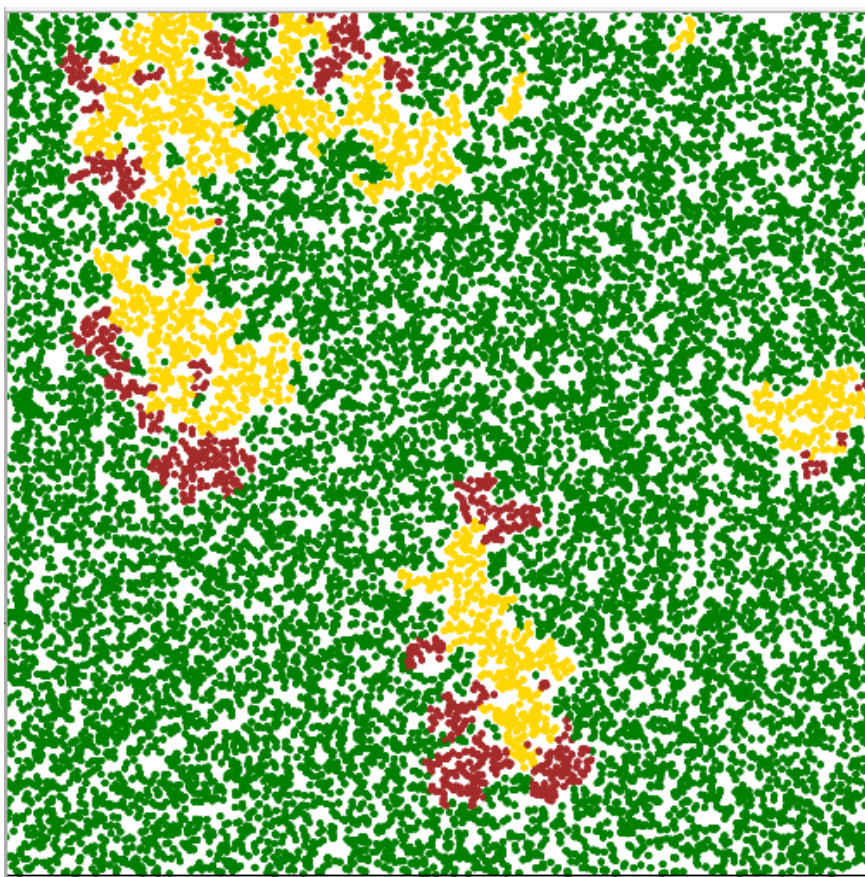


Рис. 6 — Внешний вид распространения инфекции, 150 день

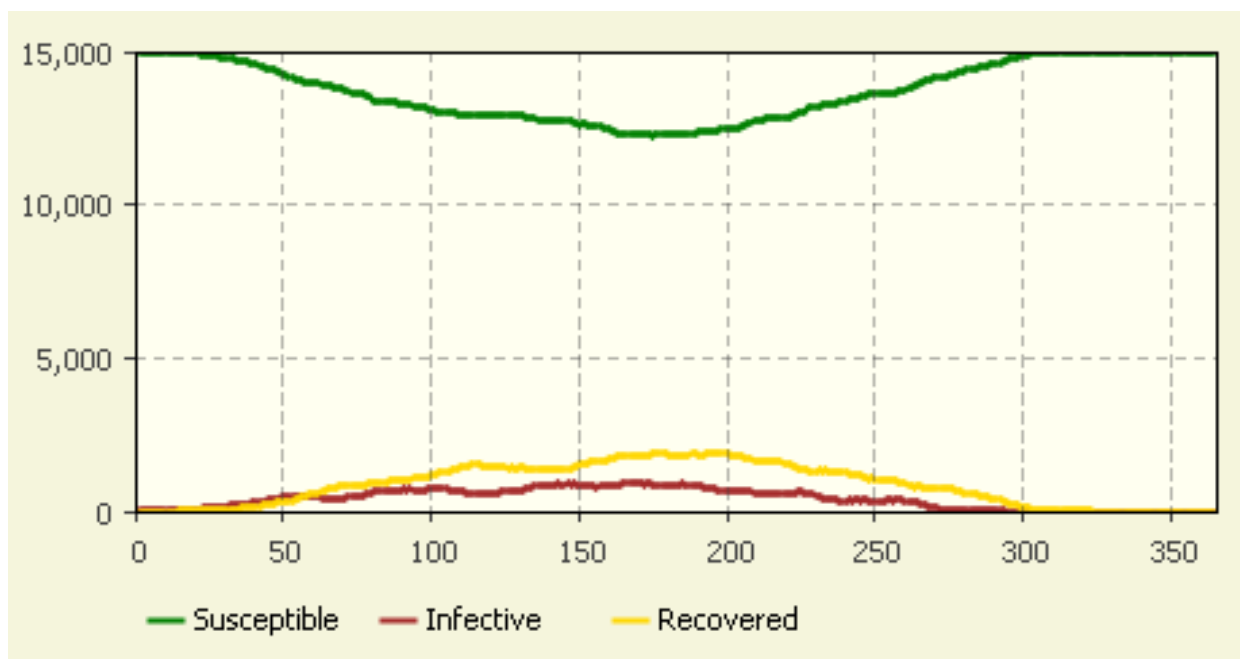


Рис. 7 — график распространения

**Вывод:** единовременно болела небольшая часть населения в результате чего на рисунке 7 видно, что число заражённых и иммунных было стабильным (пусть и не очень высоким) в течении большей части года, в результате чего переболела ~69% населения (10301 человек).

## 5.2 Эксперимент 2

Исследовать зависимость динамики количества инфицированных от интенсивности заражения (частота рассылки сообщений). Запись  $[a; b; h]$  означает интервал от  $a$  (начальное значение) до  $b$  (конечное) с шагом  $h$ .

Задачи:

1. Проанализируйте влияние параметра  $x_2$  на динамику количества инфицированных.

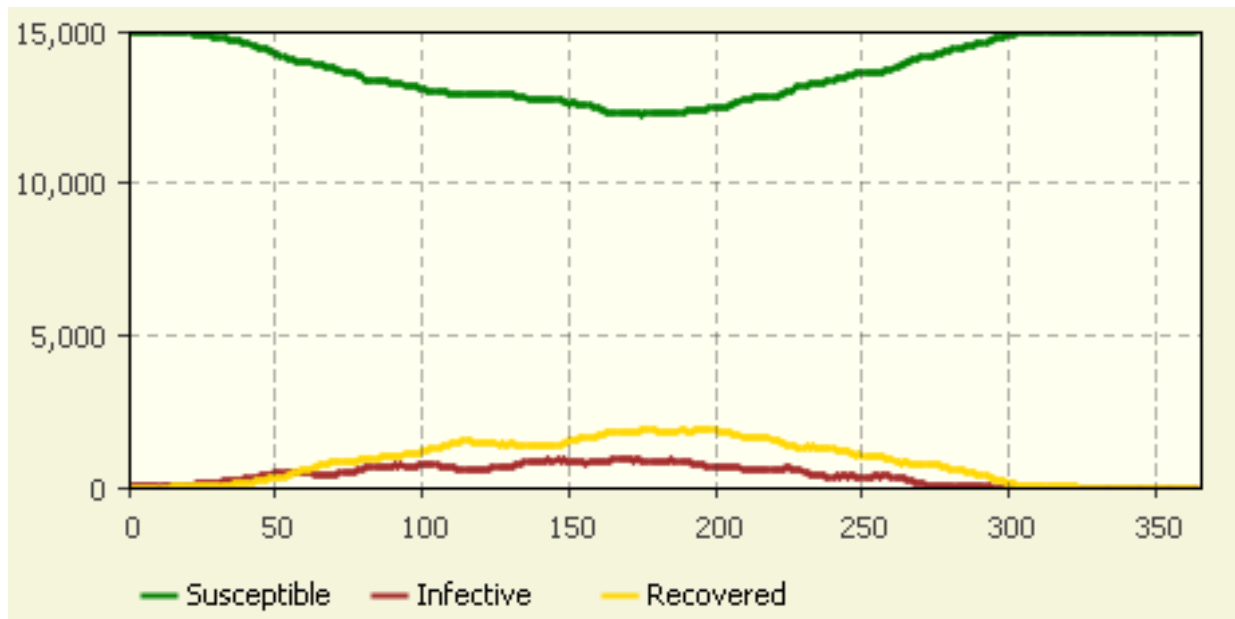
Данные эксперимента, согласно варианту 1:

Формальное обозначение	Обозначение	Название	Значение
$x_1$	P	Количество населения (тыс. человек)	15
$x_2$	I	Интенсивность заражения (частота рассылки сообщений в день)	$[0,5; 2; 0,5]$
$x_3$	NatI	Характер заражения	RANDOM_NEIGHBOR*
$x_4$	CR	Радиус контакта (размер окрестности, в которой может происходить взаимодействие)	5
$x_5$	TIR	Время перехода из состояния «Infection» в состояние «Recovered» (в днях)	14
$x_6$	TRS	Время перехода из состояния «Recovered» в состояние «Susceptible» (в днях)	30

\* При использовании функции `sendToRandomNeighbor("Inf");` получаем ошибку (`d != com.anylogic.engine.MessageDeliveryType`). Использован стандартный `sendToAllConnected("Inf");`

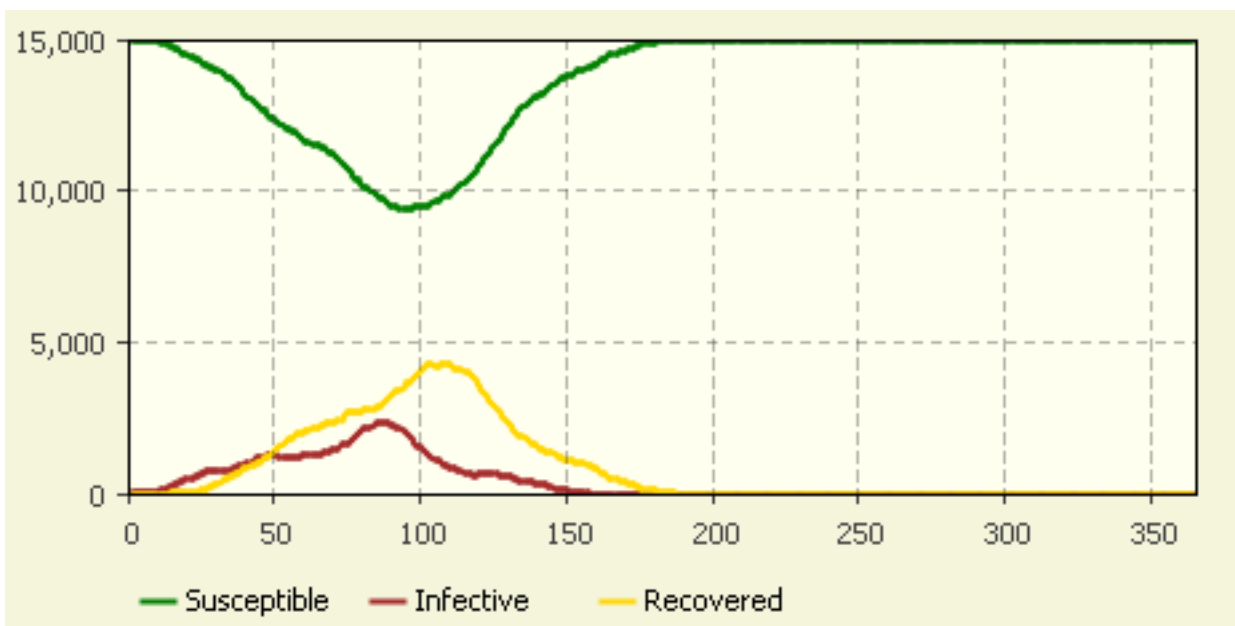
**$X_2 = 0.5$ :**

Динамика количества инфицированных:



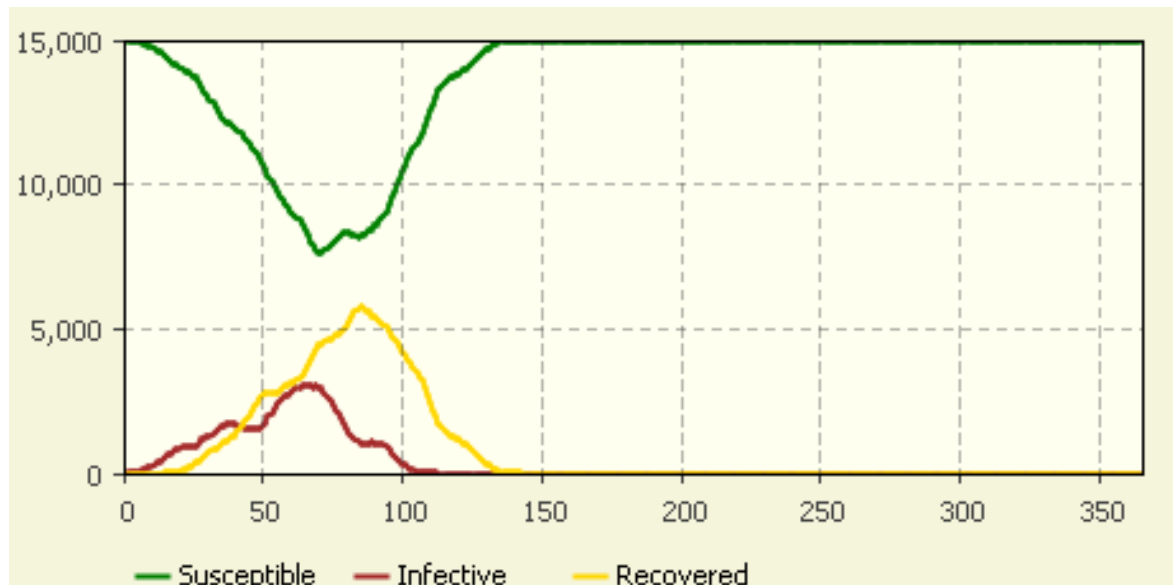
**$X_2 = 1$ :**

Динамика количества инфицированных:



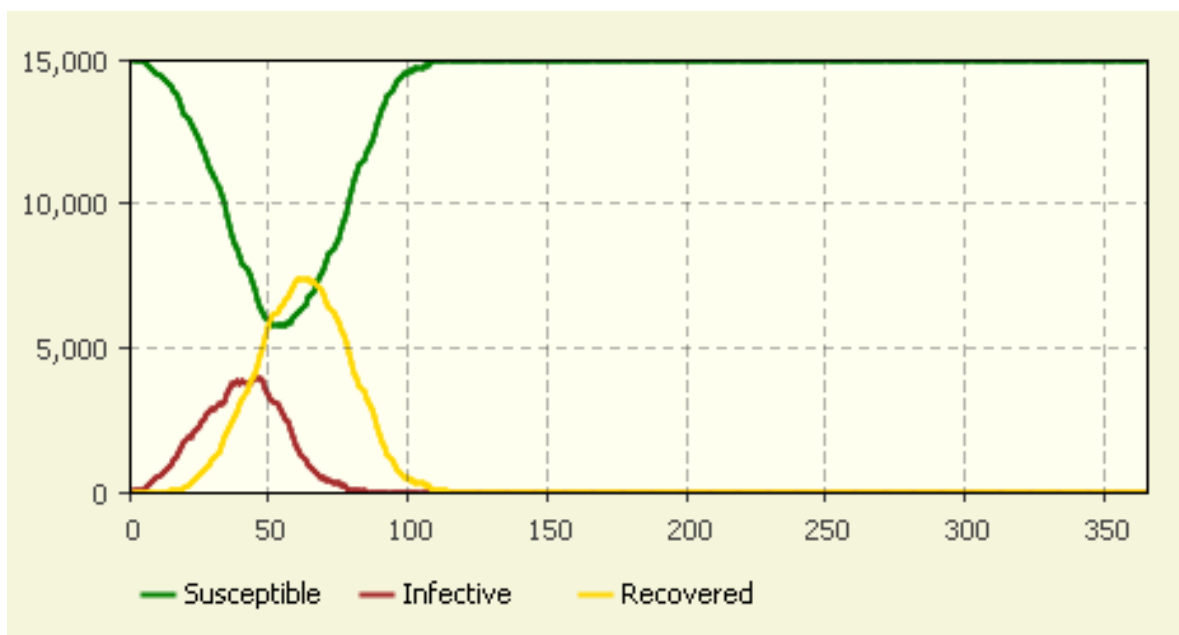
$X_2 = 1.5$ :

Динамика количества инфицированных:



$X_2 = 2$ :

Динамика количества инфицированных:



**Вывод:** с увеличением интенсивности заражения увеличиваются темпы заражения. Из-за этого пик заражения также увеличивается. Но поскольку большое кол-во людей быстрее заражается, популяция, с увеличением интенсивности заражения, быстрее получает иммунитет и следовательно, эпидемия быстрее оканчивается.

### 5.3 Эксперимент 3

В ходе эксперимента используются входные данные первого эксперимента (кроме параметра радиус контакта ( $x_4$ ))

Задачи:

1. Найти такой радиус контакта ( $x_4$ ), чтобы доля инфицированных составляла не менее 40% (6000 человек), не позже, чем за 1 год

$x_4$	5	2.5	3.75	4,375	4.6875	4,843 75	4.922	4.96	4.98	4.99
Доля	69%	0.04%	0.04%	0.06%	0.06%	0.06%	0.06%	0.06%	0.06%	69%

\* поиск радиуса проводился по принципу бинарного поиска

**Вывод:** доля инфицированных составляет не менее 40% (а именно 69%) при радиусе равно 4.99. При меньшем радиусе не удаётся инфицировать значимое кол-во человек.



## **Заключение:**

Проведён анализ распространения инфекционного заболевания.

Выявлена зависимость между динамикой количества инфицированных и интенсивности заражения. Чем больше интенсивность, тем быстрее растёт кол-во инфицированных, однако вместе с этим ускоряется появление иммунных к болезни и следовательно, уменьшается время эпидемии.

Также выявлена зависимость доли инфицированных от радиуса заражения. При недостаточном радиусе не удаётся заразить значимое кол-во людей.

## **Список использованных источников**

1. [https://eluniver.ugrasu.ru/pluginfile.php/386538/mod\\_resource/content/1/Проект%20D%20Модель%20распространения%20инфекции.pdf](https://eluniver.ugrasu.ru/pluginfile.php/386538/mod_resource/content/1/Проект%20D%20Модель%20распространения%20инфекции.pdf)
2. <https://help.anylogic.ru/>
3. <https://futurepubl.ru/ru/nauka/article/37206/view>