

Министерство ФГБОУ
Югорский государственный университет
Институт Цифровой экономики

Отчет по проекту D
На тему «Агентная модель распространения инфекции(SIR)»
Вариант 9

Выполнил:

Грабовский А.С.

Группа: 11916

Ханты-Мансийск

2023

Оглавление

Введение3

Формализация5

D18

Эксперимент 114

Эксперимент 216

Эксперимент 320

Заключение22

Источники23

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.

Концептуальная модель

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

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 (выздоровевший) 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

Компьютерная модель

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

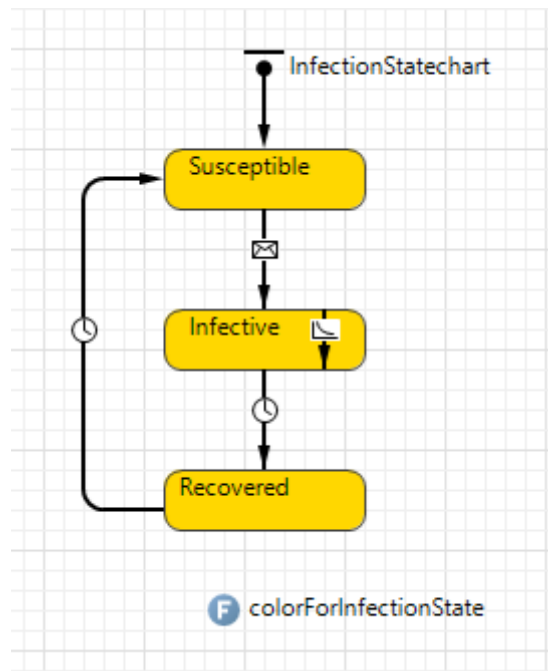


Рисунок 1 — Модель

Модель представляет собой диаграмму состояний, состоящую из трёх состояний:

- Susceptible — восприимчивые к заболеванию
- Infective — зараженные
- Recovered — выздоровевшие

Модель имеет два перехода $\text{Susceptible} \rightarrow \text{Infective}$, которые происходят при получении сообщений "Inf0" (отправляется при запуске модели, заражение первого человека) и "Inf" (отправляется с заданной интенсивностью, отправка происходит внутри состояния Infective).

Из $\text{Infective} \rightarrow \text{Recovered}$ ведёт переход, срабатывающий по таймауту. Таймаут соответствует времени протекания болезни. Аналогичный переход — $\text{Recovered} \rightarrow \text{Susceptible}$, ссоответствует времени сохранения иммунитета.

D1

Запускаем AnyLogic, указываем название и местоположение, также выбираем единицу модельного времени.

Строим модель, используя следующие блоки из Библиотеки моделирования процессов:

Создание типа агента.

Создадим нового агента и назовем «Person»

Разместим на холсте main четыре параметра

Построение состояний.

Создадим три элемента Состояние на холсте «Person». Назовем состояния: Susceptible, Infective, Recovered и для каждого состояния укажем свой цвет

Добавим элемент «Начало диаграммы состояний» над состоянием Susceptible и назовем «InfectionStatechart»

Построение переходов.

Воспользуемся инструментом «Переход» и построим переход от первого состояния ко второму

В свойствах перехода в поле «Происходит» установим «При получении данного сообщения». В поле «Сообщение» установим "Inf". В поле «Доп. условие» введем: randomTrue(main.p)

Воспользуемся инструментом «Переход» и построим переход от второго состояния к третьему

В свойствах перехода в поле «Происходит» установим «По таймауту» и введем значение 14 дней

Используем специальный тип перехода для моделирования распространения инфекции, называемый внутренним переходом. Внутренний переход разместим внутри второго состояния.

В свойствах перехода в поле «Происходит» установим «С заданной интенсивностью» и укажем значение `main.c` в день. В поле Действие введем: `«sendToAllConnected("Inf");»` // передает инфекцию всем соседним агентам

Создадим функцию изменения цвета при переходах на холсте `Person` и назовем ее «`colorForInfectionState`»

В Свойствах в пункте «Возвращает значение» обозначим «Тип»: «Другой» и в свободное поле введем «`Color`». В разделе «Тело функции» введем следующий код:

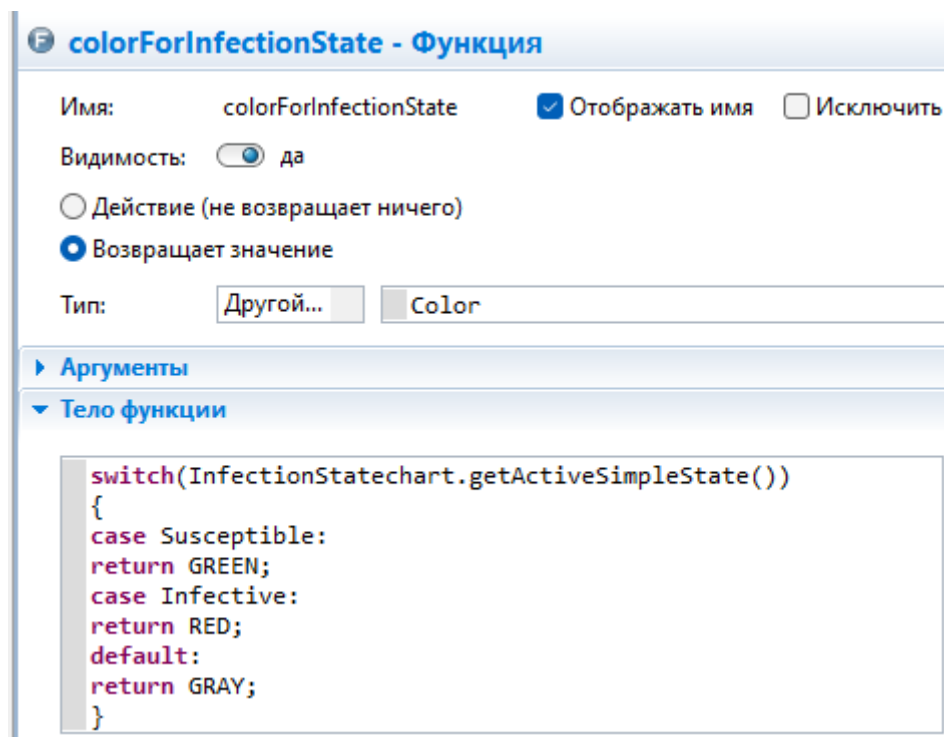


Рисунок 2 – Свойства функции «`colorForInfectionState`»

На холст «`Pearson`» поместим элемент «Овал» в начало координат

В свойствах укажем Окружность радиуса 3. В секции Цвет заливки выбираем «Динамическое значение» и введем название функции `colorForInfectionState`

Создание популяции.

Для этого на холст «Main» добавим объект «Pearson» и назовем его «People»

В свойствах укажем, что это будет популяция агентов. Начальное количество агентов равно «total»

Топология пространства.

Объект «Main» является средой, в которой размещена популяция «People». В свойствах объекта «Main», в секции «Пространство и сеть» установим флажок напротив имени выбранной популяции. «Тип пространства» - «Непрерывное». «Тип расположения» - «Случайный». «Тип сети» - «Согласно расстоянию». «Радиус соединения» = r

Первоначальный посев инфекции можно обеспечить, если в свойствах объекта «Main» в разделе «Действия агента», в строке «При запуске» введем код: `this.deliverToRandomAgentInside("Inf0");` // случайным образом происходит первоначальный посев инфекции

Построенная модель имитирует процесс, когда люди не могут повторно заболеть, т.е. у них выработался постоянный иммунитет. Если же требуется промоделировать процесс, когда люди начинают заново болеть после того, как выздоровели, необходимо добавить ещё один переход.

На холсте «Person», установим переход от «Recovered» к «Susceptible» значение «Происходит» указать «По таймауту» со значение в 600 дней.

В свойствах укажем значение «Происходит» - «По таймауту» со значением 600 дней

Создадим функции сбора статистики для подсчёта людей, восприимчивых к заболеванию. Для этого в свойствах объекта People перейдем на вкладку «Статистика», добавляем функцию, задаем имя функции – Susceptible. Тип функции – кол-во. Условие: `item.InfectionStatechart.isStateActive(item.Susceptible)`. item – это агент

(элемент реплицированного объекта people). Аналогично создадим ещё две функции: Infective и Recovered

Добавление графика.

Добавим элемент временной график на холст «Main», построим три временных графика функций Susceptible, Infective и Recovered

Проведем настройку свойств графиков

Получаем следующую структуру проекта

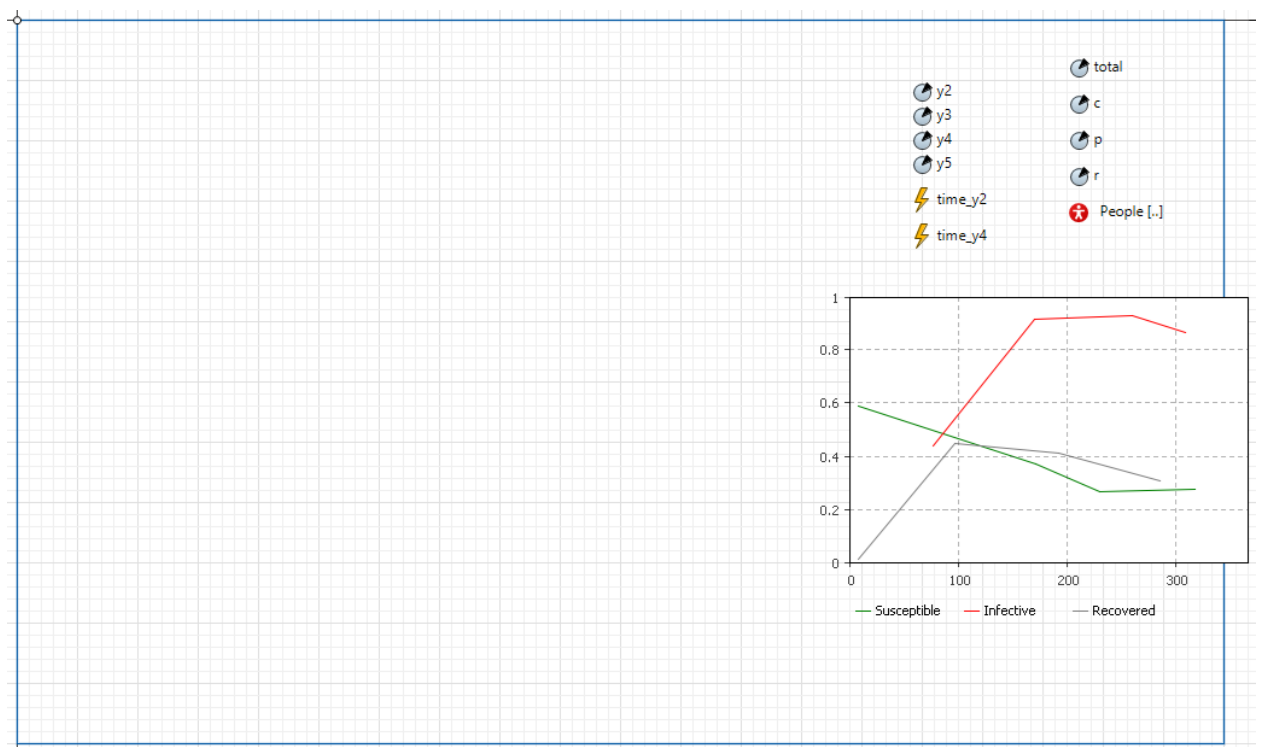


Рисунок 3 – Структура проекта в Main

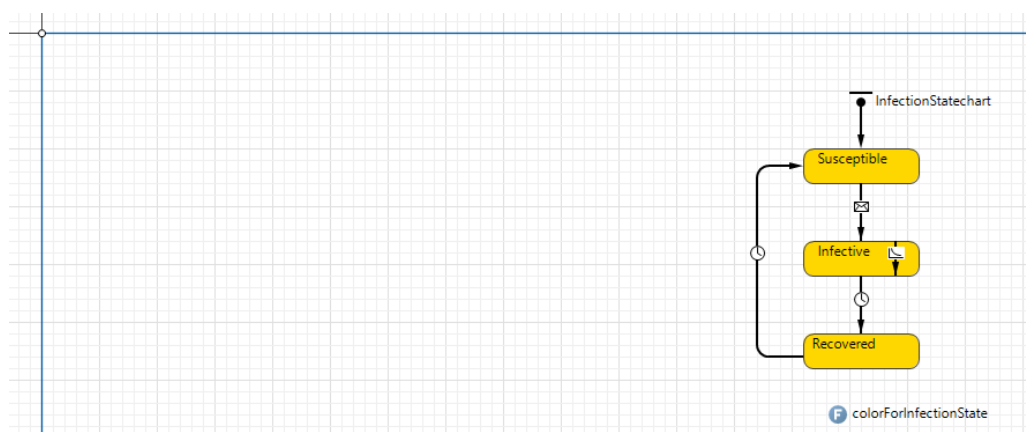


Рисунок 4 – Структура проекта в Person

Для проведения экспериментов я решил добавить на холст «Main» еще несколько элементов.

Для выявления числа восприимчивых людей по прошествии заданного времени (под заданным временем понимается время окончания эксперимента, т.е. 365 день) добавлено событие «time_y2» для определения времени прекращения инфекции и «time_y4» для определения числа зараженных людей по прошествии заданного времени.

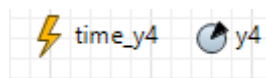


Рисунок 5 – Событие «time_y4» и параметр «y4»

A screenshot of a software configuration window titled 'time_y4 - Событие'. The window contains several settings: 'Имя: time_y4' with a checked 'Отображать имя' checkbox; an unchecked 'Исключить' checkbox; 'Видимость: да' with a toggle switch; 'Тип события: При выполнении условия' in a dropdown menu; 'Условие: time()==365' in a text field; a checked 'Записывать лог в базу данных' checkbox with a link 'Включить логирование выполнения модели'; a 'Действие' section with 'y4=People.Infective()' in a text field; and an 'Описание' section with a right-pointing arrow.

Рисунок 6 – Свойство события «time_y4»

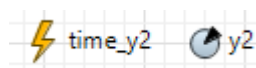


Рисунок 7 – Событие «time_y2» и параметр «y2»

⚡ time_y2 - Событие

Имя: `time_y2` ☒ Отображать имя

☐ Исключить

Видимость: ☒ да

Тип события: `При выполнении условия`

Условие: `People.Infective()<=0`

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

▼ Действие

`y2=time()`

► Описание

Рисунок 8 – Свойства события «getInfectiveEnd»

В итоге структура имеет следующий вид

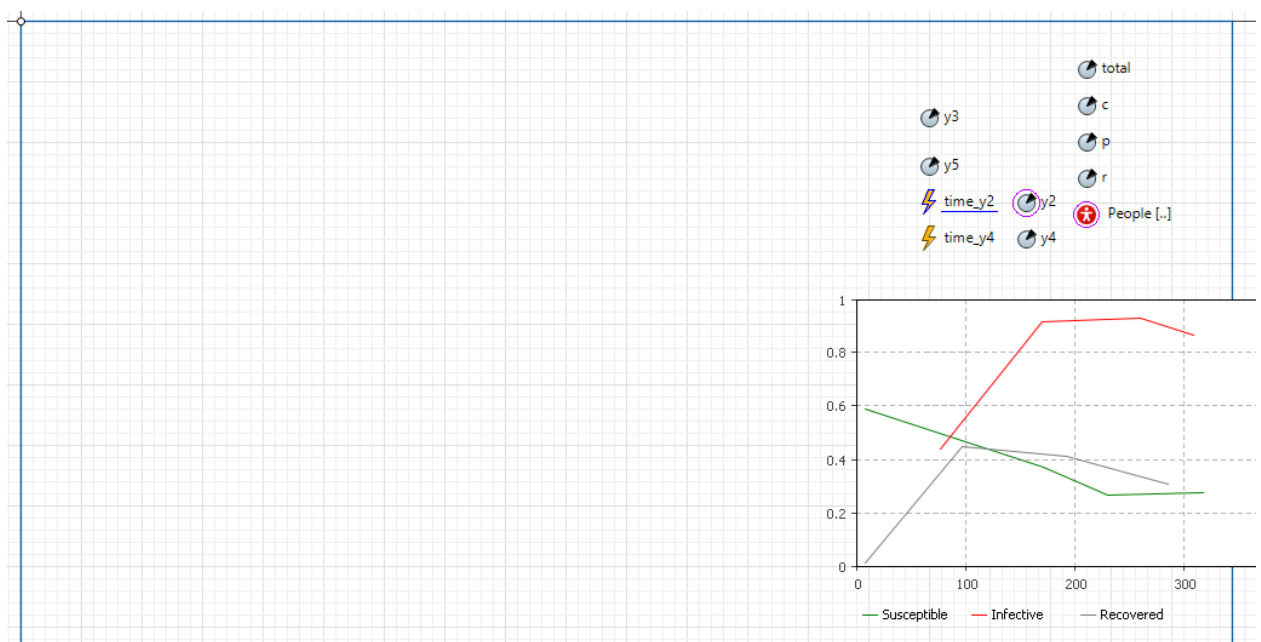


Рисунок 9 – Структура проекта для экспериментов

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 9:

Формальное обозначение	Обозначение	Название	Значение
x_1	P	Количество населения (тыс. человек)	19
x_2	I	Интенсивность заражения (частота рассылки сообщений в день)	0,5
x_3	NatI	Характер заражения	RANDOM_NEIGHBOR
x_4	CR	Радиус контакта (размер окрестности, в которой может происходить взаимодействие)	2
x_5	TIR	Время перехода из состояния «Infection» в состояние «Recovered» (в днях)	16
x_6	TRS	Время перехода из состояния «Recovered» в состояние	30

		«Susceptible» (в днях)	
--	--	---------------------------	--

* При использовании данного параметра заражение происходит мгновенно в первый же день (рисунок 40). Исходя из-этого для эксперимента использован стандартный *sendToAllConnected*

Результаты эксперимента:

Формальное обозначение	Название	Значение
y ₁	Внешний вид распространения инфекции	Рисунок 11
y ₂	Время прекращения инфекции	20
y ₃	Число восприимчивых людей по прошествии заданного времени	18998
y ₄	Число зараженных людей по прошествии заданного времени	2
y ₅	Число людей с иммунитетом по прошествии заданного времени	2

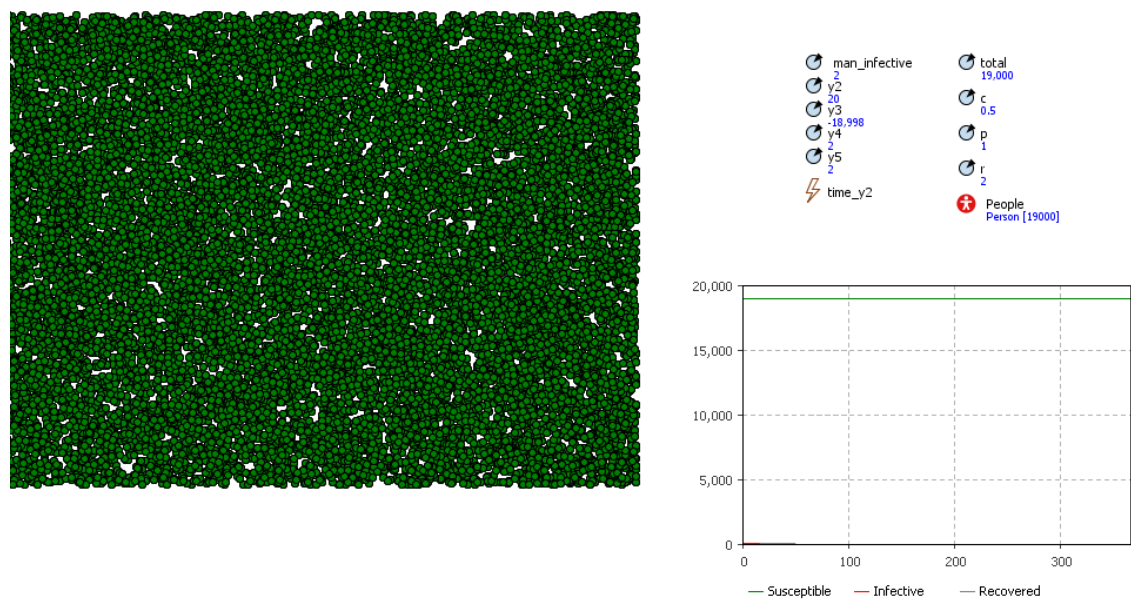


Рисунок 10 – Симуляция модели

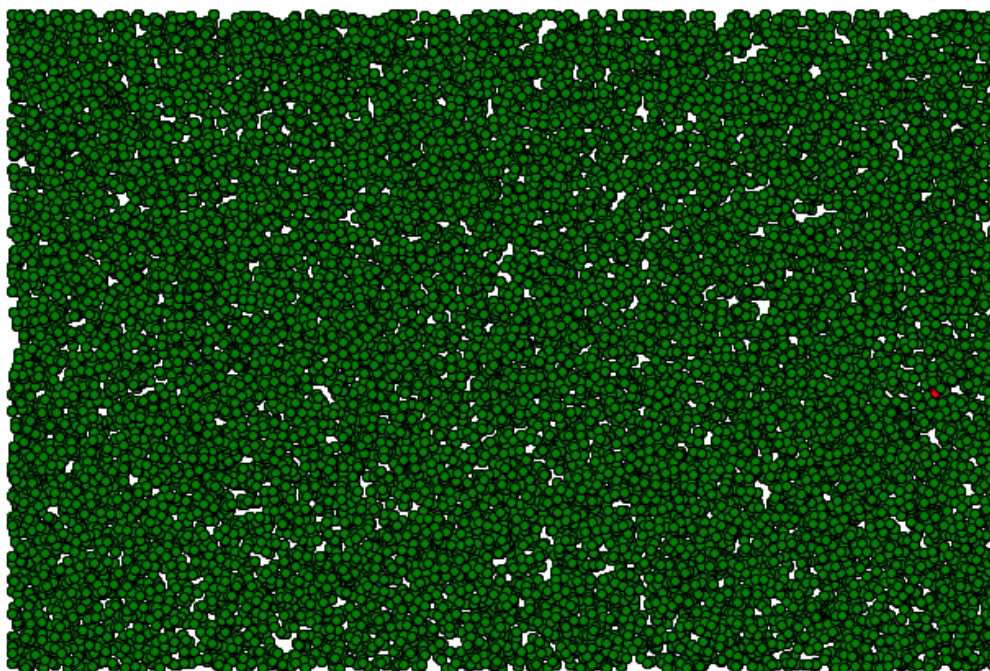


Рисунок 11 – Внешний вид распространения инфекции

Вывод: исходя из данных графика, мы видим, что инфекция не распространилась по населению.

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 9:

Формальное обозначение	Обозначение	Название	Значение
x_1	P	Количество населения (тыс. человек)	19
x_2	I	Интенсивность заражения (частота рассылки сообщений в день)	$[0,4; 0,8; 0,2]$

x ₃	NatI	Характер заражения	RANDOM_NEIGHBOR*
x ₄	CR	Радиус контакта (размер окрестности, в которой может происходить взаимодействие)	2
x ₅	TIR	Время перехода из состояния «Infection» в состояние «Recovered» (в днях)	16
x ₆	TRS	Время перехода из состояния «Recovered» в состояние «Susceptible» (в днях)	30

$X_2 = 0.4$:

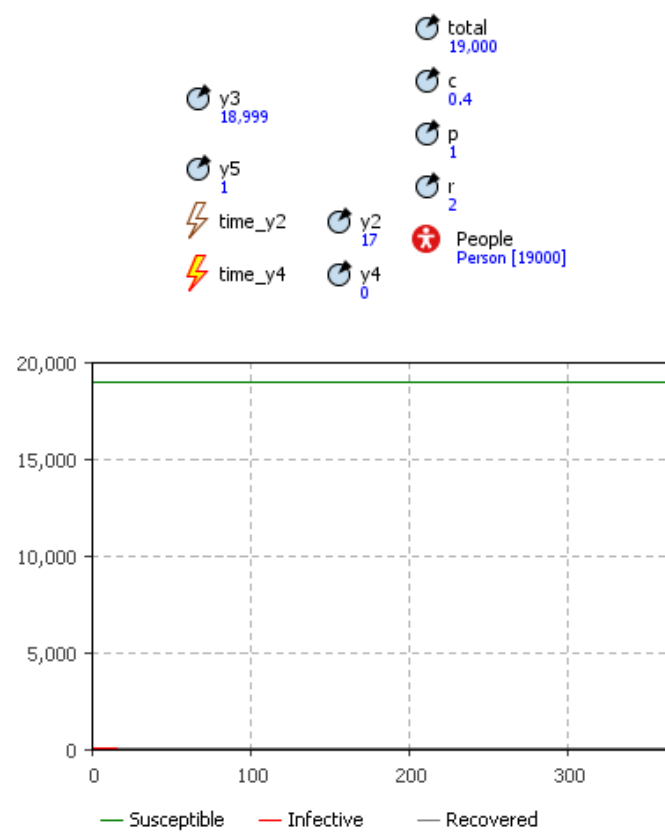


Рисунок 12 – Динамика количества инфицированных при $X_2 = 0.4$

$X_2 = 0.6$:

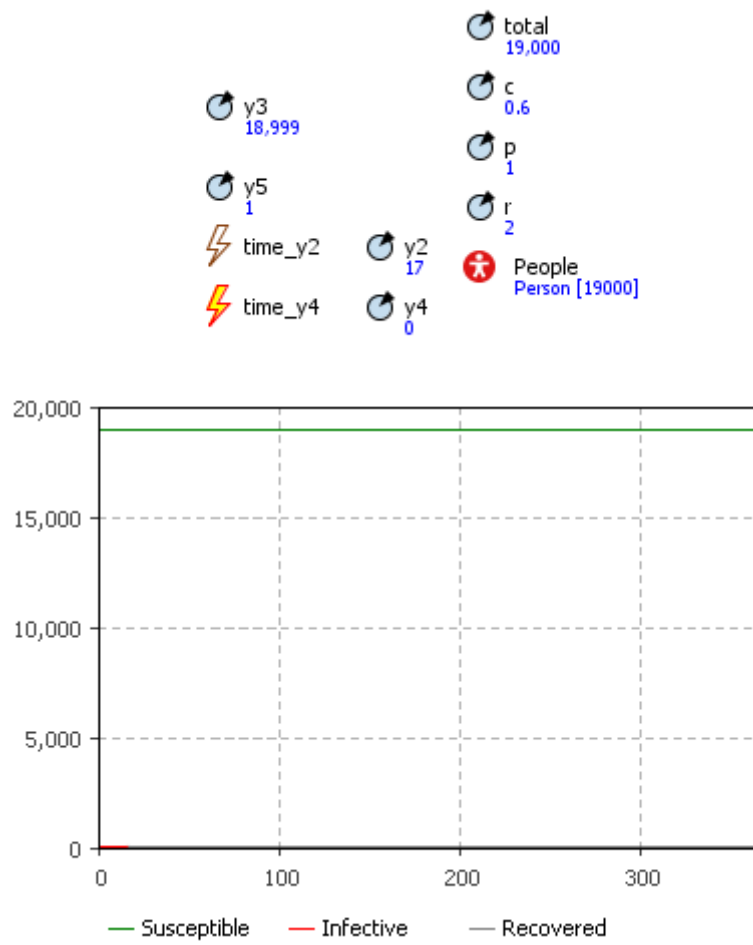


Рисунок 13 – Динамика количества инфицированных при $X_2 = 0.6$

$X_2 = 0.8$:



Рисунок 14 – Динамика количества инфицированных при $X_2 = 0.8$

Вывод: с увеличением интенсивности заражения болезнь все равно не прогрессирует.

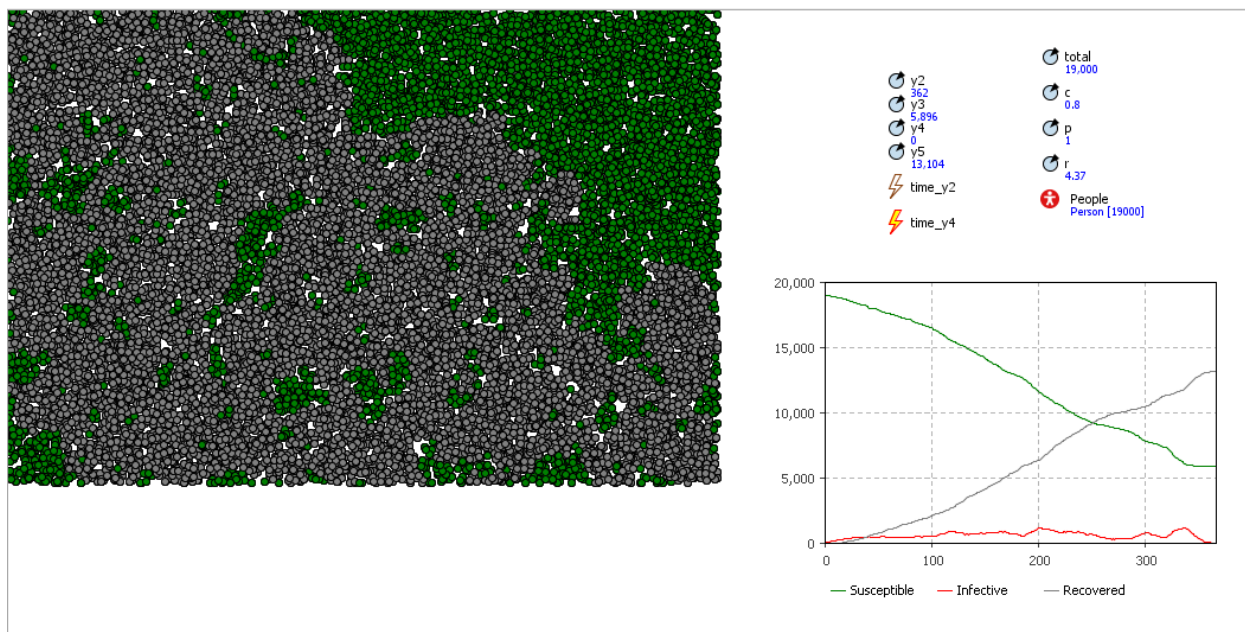
Эксперимент 3

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 30%, не позже, чем за 1 год.

Для этого эксперимента мне пришлось изменить еще один параметр для выполнения (x_3 с RANDOM_NEIGHBOR на ALL_CONNECTED).



Вывод: доля инфицированных составляет не менее 30% при радиусе 4.37. При меньшем радиусе не удаётся инфицировать значимое кол-во человек. Этот радиус оказался минимальным для того, чтобы приблизить его к 30%.

Заключение

В ходе работы над лабораторной работой D, были освоены технологии стейчартов, построения переходов, а также задания топологии пространства.

Источники

- 1) <https://eluniver.ugrasu.ru/course/view.php?id=1689>