



Решение задач системной динамики в среде Anylogic
ст. преподаватель кафедры Вычислительной техники
Тихвинский В.И.



6.1 Постановка задачи(а)

Необходимо построить модель, изучающую распространение инфекционного заболевания среди населения. Численность населения пусть будет равна 10 000 человек, и задаваться параметром с именем TotalPopulation. На первоначальном этапе заражения популяции болен один человек, а все остальные лишь восприимчивы к болезни. Человек, в организм которого попал вирус, становится латентно зараженным. Латентно зараженные люди, это те люди, у которых инкубационный период для вируса еще не прошел, и нет выраженных симптомов болезни, в этот период вирус в организме человека не способен заражать других людей. После инкубационного периода человек становится больным с выраженными симптомами, и вирус, находящийся в его организме, способен заражать других людей на протяжении болезни человека. Любой человек после выздоровления становится невосприимчивым к болезни т.к. у него вырабатывается иммунитет. Предполагается, что все зараженное население оправится от болезни вызванной вирусом и приобретет иммунитет к нему.



6.1 Постановка задачи(б)

Для решения задачи введем параметр `ContactRateInfectious`, он показывает, что один зараженный человек в среднем контактирует с другими незараженными людьми с интенсивностью равной 1,25 человек в день.

Вероятность передачи инфекции восприимчивому к болезни человеку будет равна 0.6 и задаваться параметром `Infectivity`.

Длительность инкубационного периода в днях задается параметром `AverageIncubationTime` и равна 10.

Средняя длительность болезни после инкубационного периода составляет 15 дней и задается параметром `AverageIllnessDuration`.

Название нашей модели SEIR. SEIR – это аббревиатура, образованная сокращением названий основных стадий распространения инфекции: Susceptible - Exposed - Infectious - Recovered.

•



6.1 Постановка задачи(в)

- Susceptible – Восприимчивые к заражению люди, которые еще не были заражены вирусом.
- Exposed – Люди, находящиеся в латентной стадия заражения (они уже заражены, но еще не могут заражать других).
- Infectious – Люди в активной стадии заражения (они могут заражать других людей).
- Recovered – Выздоровевшие люди (они приобрели иммунитет к данному заболеванию).

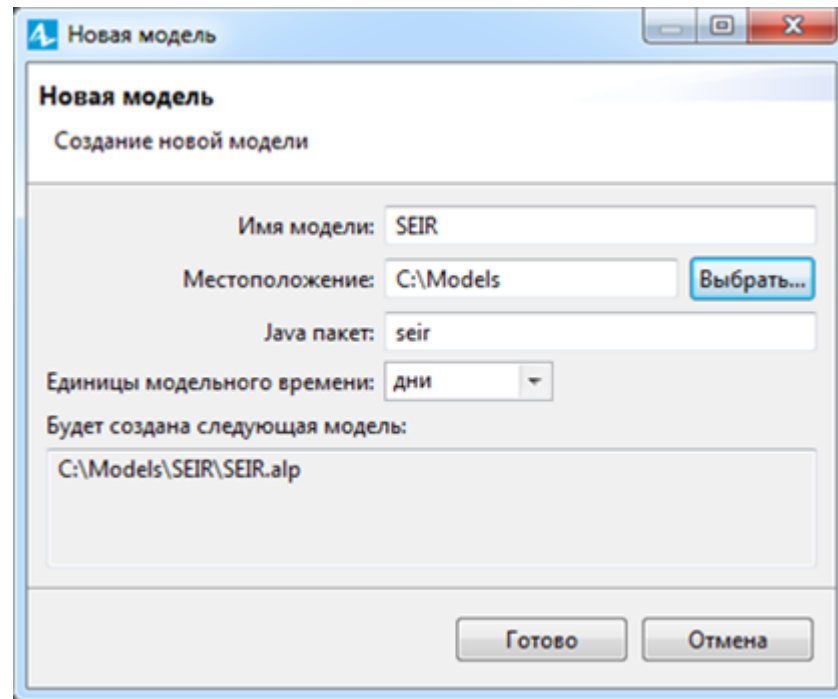
Стадии распространения инфекций естественным образом определяют четыре накопителя модели, по одному на каждую стадию заболевания, имя накопителей совпадает с названиями стадий.



6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

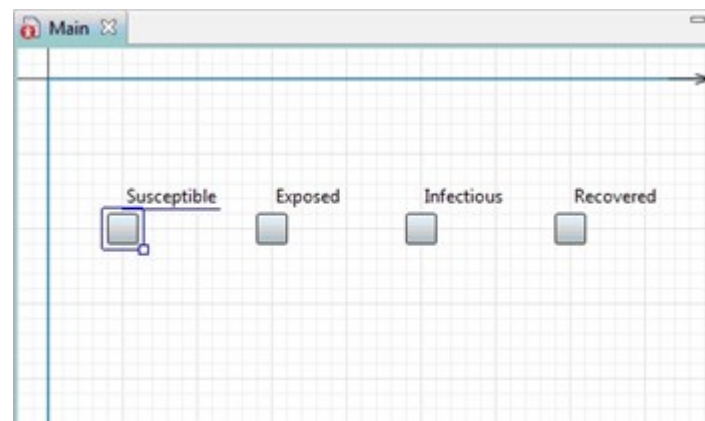
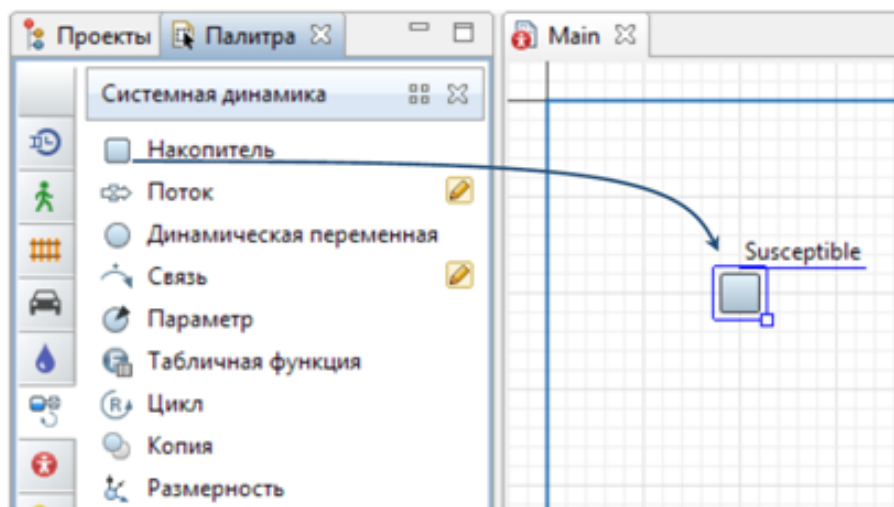
1. Создадим новую модель через пункт меню: Файл-Создать-Модель. Назовем модель SEIR и выберем дни в качестве единиц модельного времени.



6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

2. Откроем палитру Системная Динамика и перетащим элемент Накопитель из палитры Системная динамика на диаграмму Main. Назовем его Susceptible.
3. Аналогичным образом создадим накопители Exposed, Infectious и Recovered.

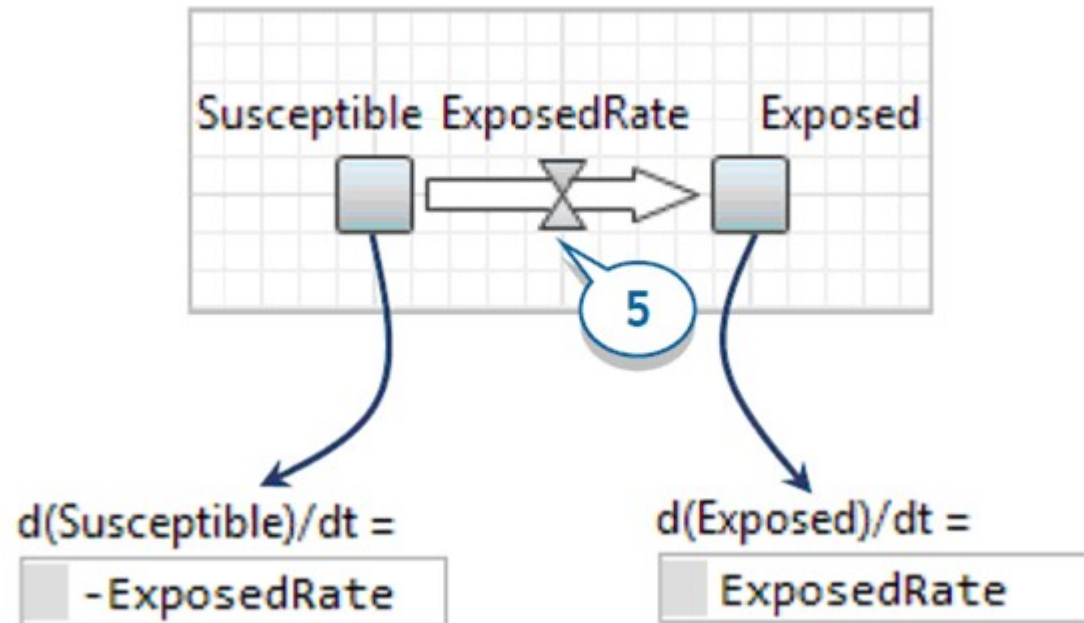
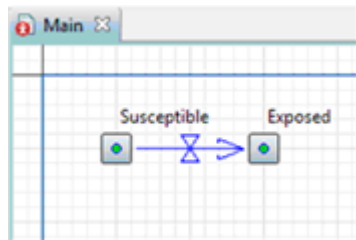


6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

4. Добавим первый поток, который ведет из накопителя Susceptible в накопитель Exposed. Для этого щелкнем двойным кликом мыши по накопителю, из которого поток выходит (Susceptible) и затем щелкнем по накопителю, в который поток входит (Exposed) .

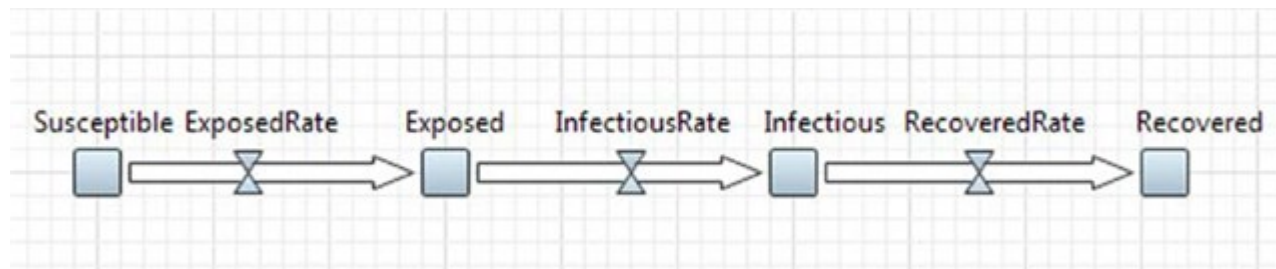
5. Назовем поток ExposedRate. После создания и переименования потока автоматически создадутся соответствующие формулы накопителей.



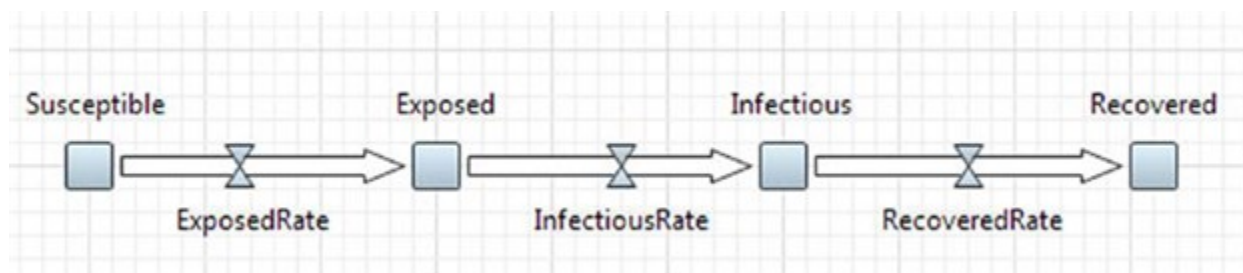
6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

6. Создадим еще два потока модели с именами InfectiousRate, RecoveredRate.



7. Расположим метки с именами потоков, как показано на рисунке 6.7 Чтобы переместить метку, выделим поток в графическом редакторе и затем переместим метку с именем.

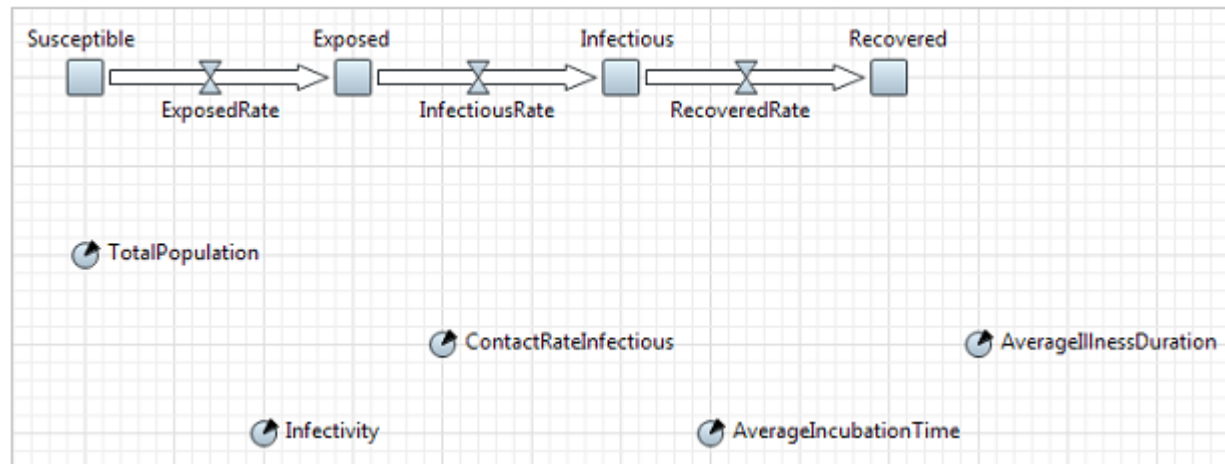




6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

8. Добавим пять Параметров перетащив их с панели палитра на диаграмму Main, и через панель свойств зададим им имена и значения по умолчанию
 $TotalPopulation = 10000$, $Infectivity = 0.6$, $ContactRateInfectious = 1.25$,
 $AverageIncubationTime = 10$, $AverageIllnessDuration = 15$.

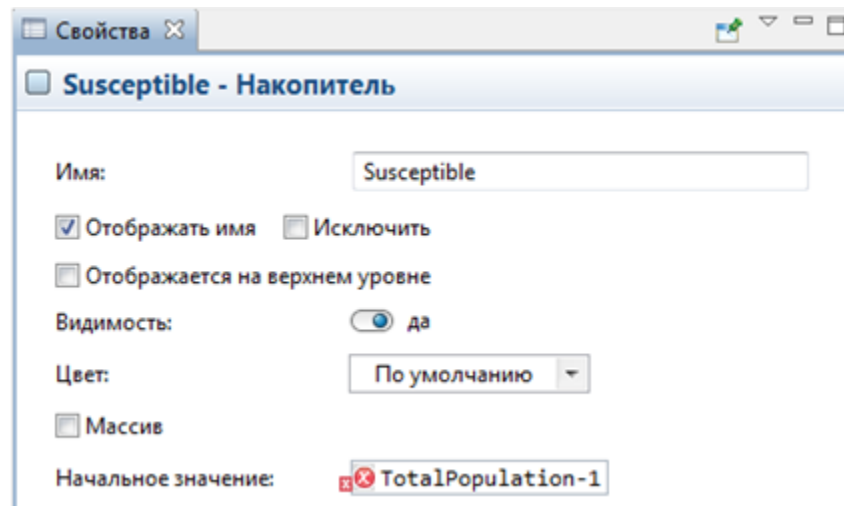


6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

9. Через панель свойств зададим накопителю Infectious начальное значение равное 1.

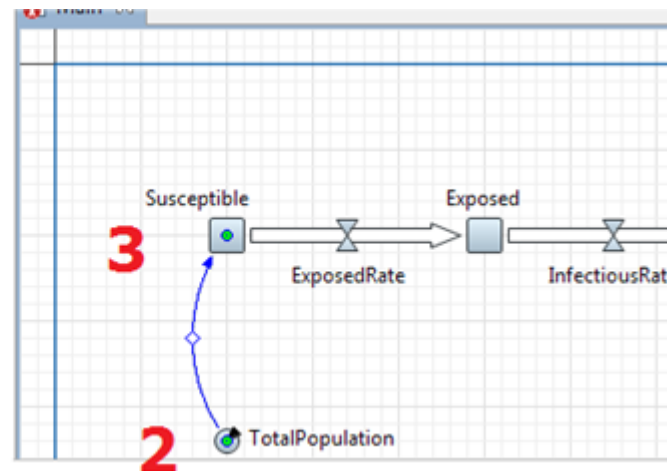
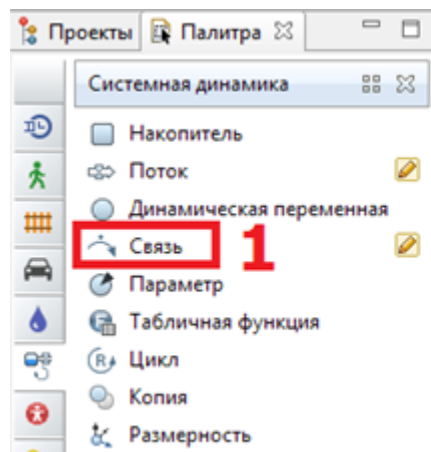
10. Зададим накопителю Susceptible начальное значение равное TotalPopulation-1. Для ввода формулы вызовем мастер подстановки кода (горячие клавиши Ctrl+пробел, в Mac OS: Alt+пробел), затем выберем имя параметра из мастера подстановок.



6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

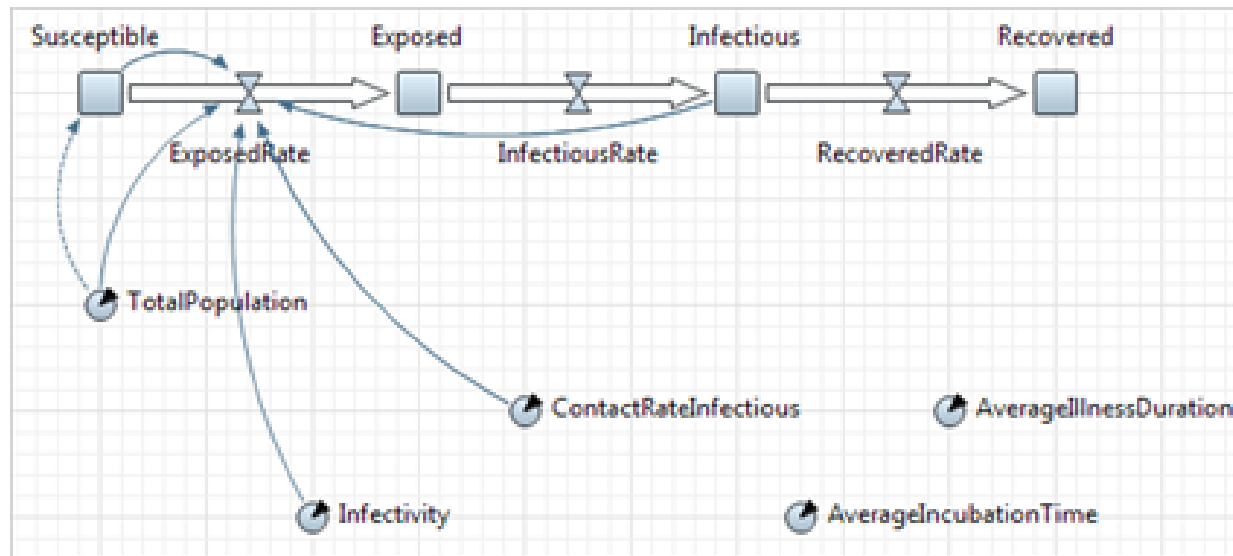
11. Нарисуем связь, ведущую из параметра TotalPopulation в накопитель Susceptible. Для этого щелкнем двойным кликом мышью по элементу Связь палитры Системная динамика, затем щелкнем по параметру TotalPopulation и затем щелкнем по накопителю Susceptible.



6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

13. Создадим новые связи. Для этого в графическом редакторе кликнем правой кнопкой мыши по потоку ExposedRate и выберем опцию Исправить ошибки в связях-Создать недостающие связи из контекстного меню. При этом появятся недостающие для этого потока связи зависимостей.

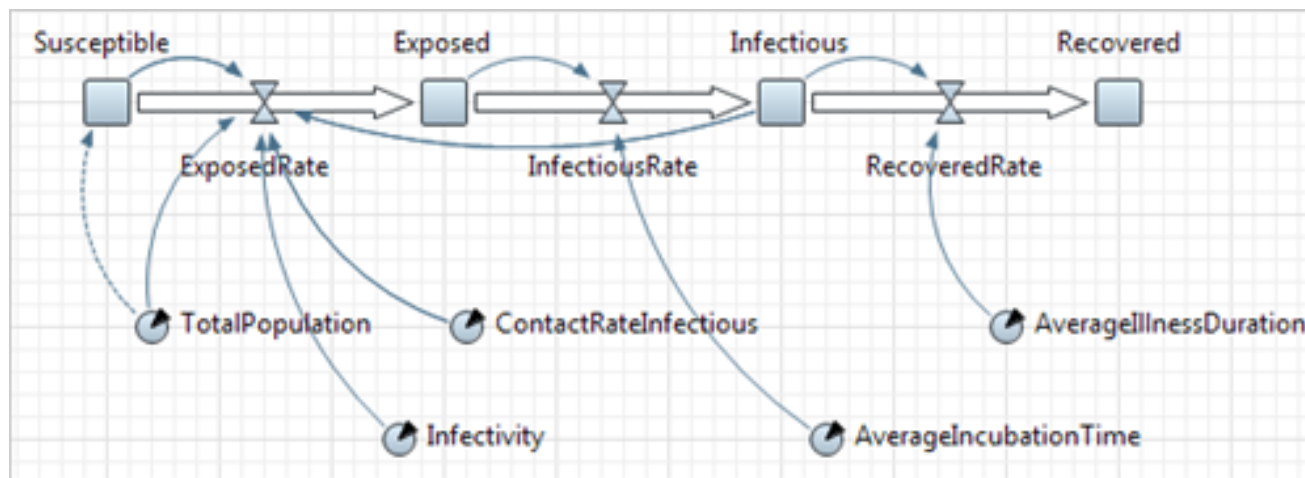


6.2 Проектирование задачи

Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

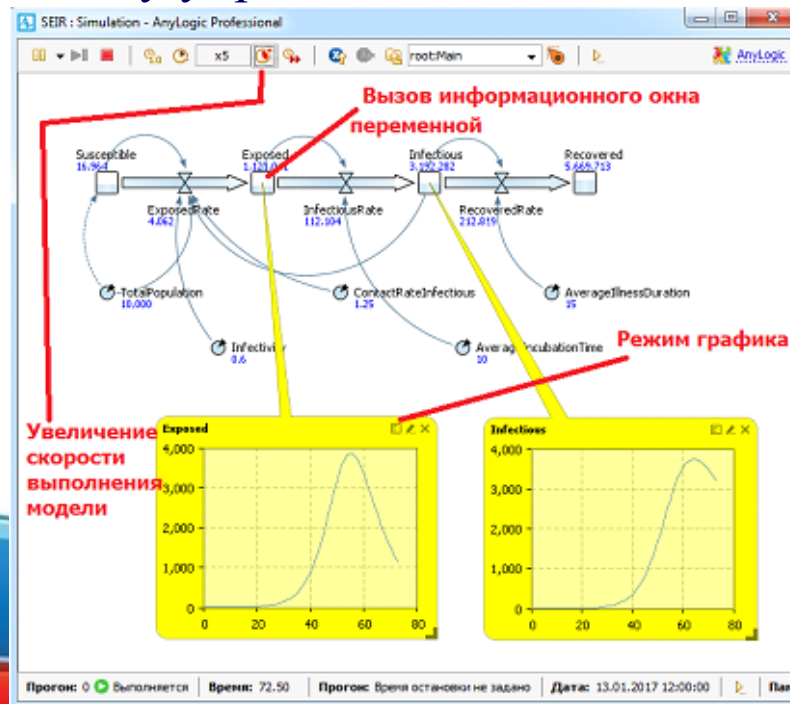
14. Зададим формулу $\text{Exposed} / \text{AverageIncubationTime}$ для потока InfectiousRate , и формулу $\text{Infectious} / \text{AverageIllnessDuration}$ для потока RecoveredRate .

15. Добавим все недостающие связи зависимостей.




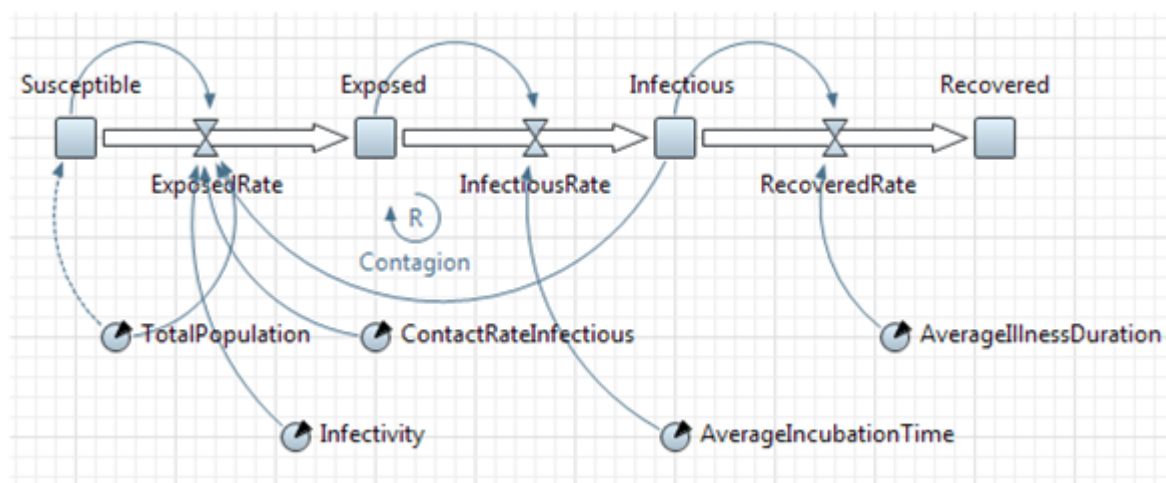
Этап 1 Создание диаграммы потоков и накопителей

16. Запустим модель и исследуя динамику процесса с помощью похожих на виджеты информационных окон этих переменных. Открыть информационное окно переменной можно, щелкнув мышью по этой переменной.
17. Для переключения виджета в режим графика, щелкнем самый левый значок его панели управления. Чтобы изменить размер окна, необходимо потянуть его мышью за правый нижний угол.
18. Для увеличения скорости выполнения модели необходимо кликнуть мышью по соответствующему элементу управления.





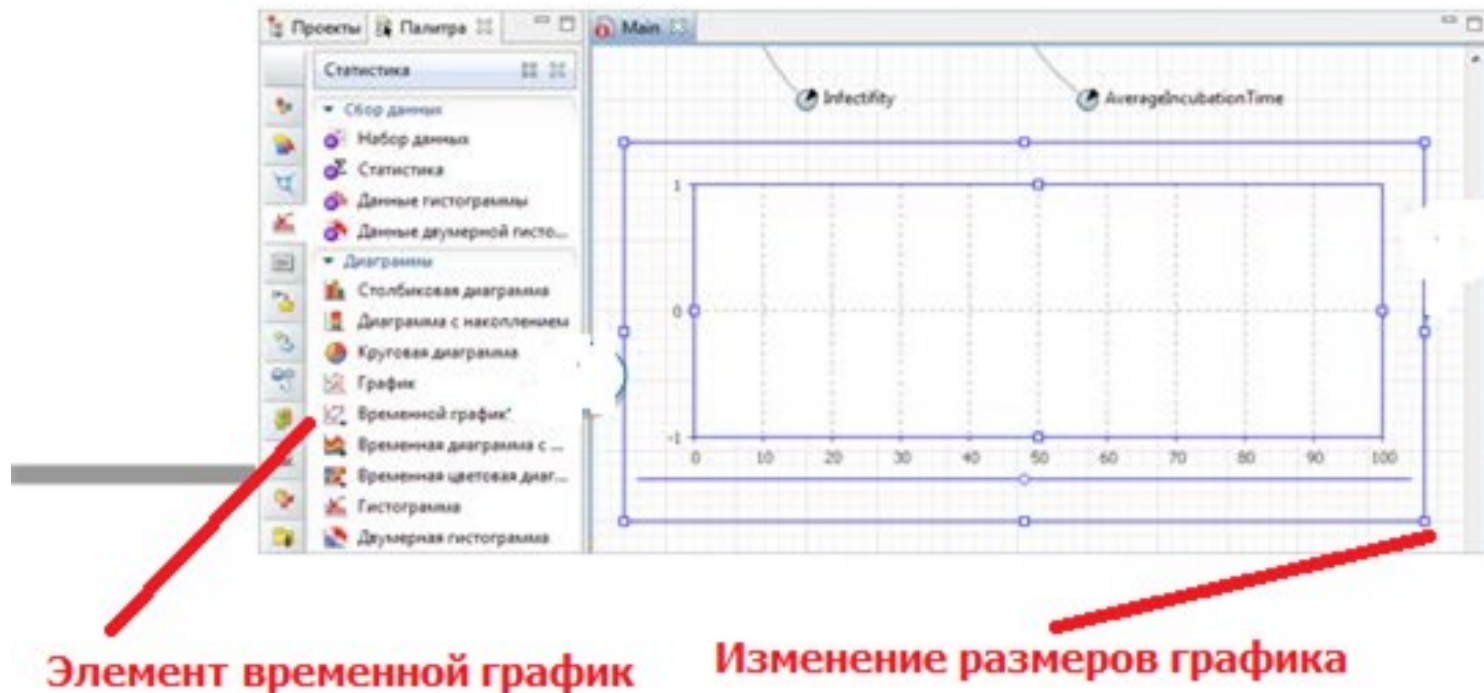
Этап 2 Добавление графика для визуализации динамики процесса

1. Перетащим элемент  Цикл из палитры Системная динамика на диаграмму.
2. Перейдем в панель Свойства и изменим Тип цикла на R (что означает Reinforcing, то есть «усиливающий»). Оставим заданное по умолчанию Направление: по часовой стрелке и укажем текст, который AnyLogic будет отображать возле значка цикла: Contagion (то есть, «заражение»).




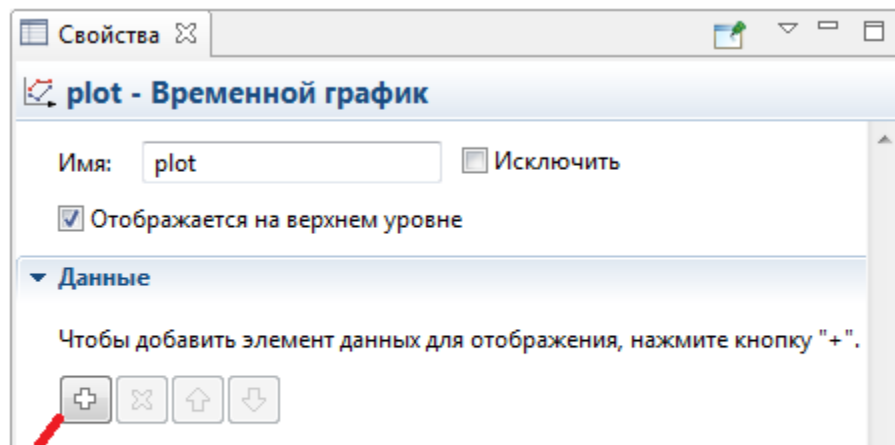
Этап 2 Добавление графика для визуализации динамики процесса

3. Перетащим элемент  Временной график из палитры Статистика  на диаграмму и увеличим размер графика.

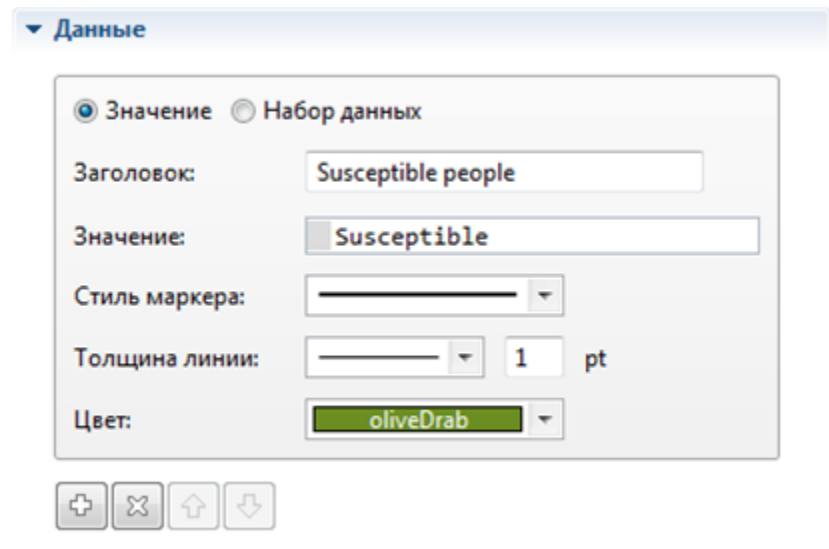


Этап 2 Добавление графика для визуализации динамики процесса

4. Для добавления элемента данных, который будет отображаться на графике, в панели Свойства перейдем в раздел Данные и щелкнем по кнопке Добавить . В появившемся окне изменим свойства созданного элемента данных: Заголовок = Susceptible people (то есть, восприимчивые к заболеванию люди), Значение = Susceptible (при введении имени переменной используйте мастер подстановки кода).



Кнопка Добавить





Этап 2 Добавление графика для визуализации динамики процесса

5. Добавим еще три элемента данных, которые будут отображать значения накопителей Exposed, Infectious, и Recovered соответственно. Каждому элементу необходимо задать соответствующий заголовок.

☒ Значение ☐ Набор данных

Заголовок:

Значение:

Стиль маркера:

Толщина линии: pt

Цвет:

☒ Значение ☐ Набор данных

Заголовок:

Значение:

Стиль маркера:

Толщина линии: pt

Цвет:

☒ Значение ☐ Набор данных

Заголовок:

Значение:

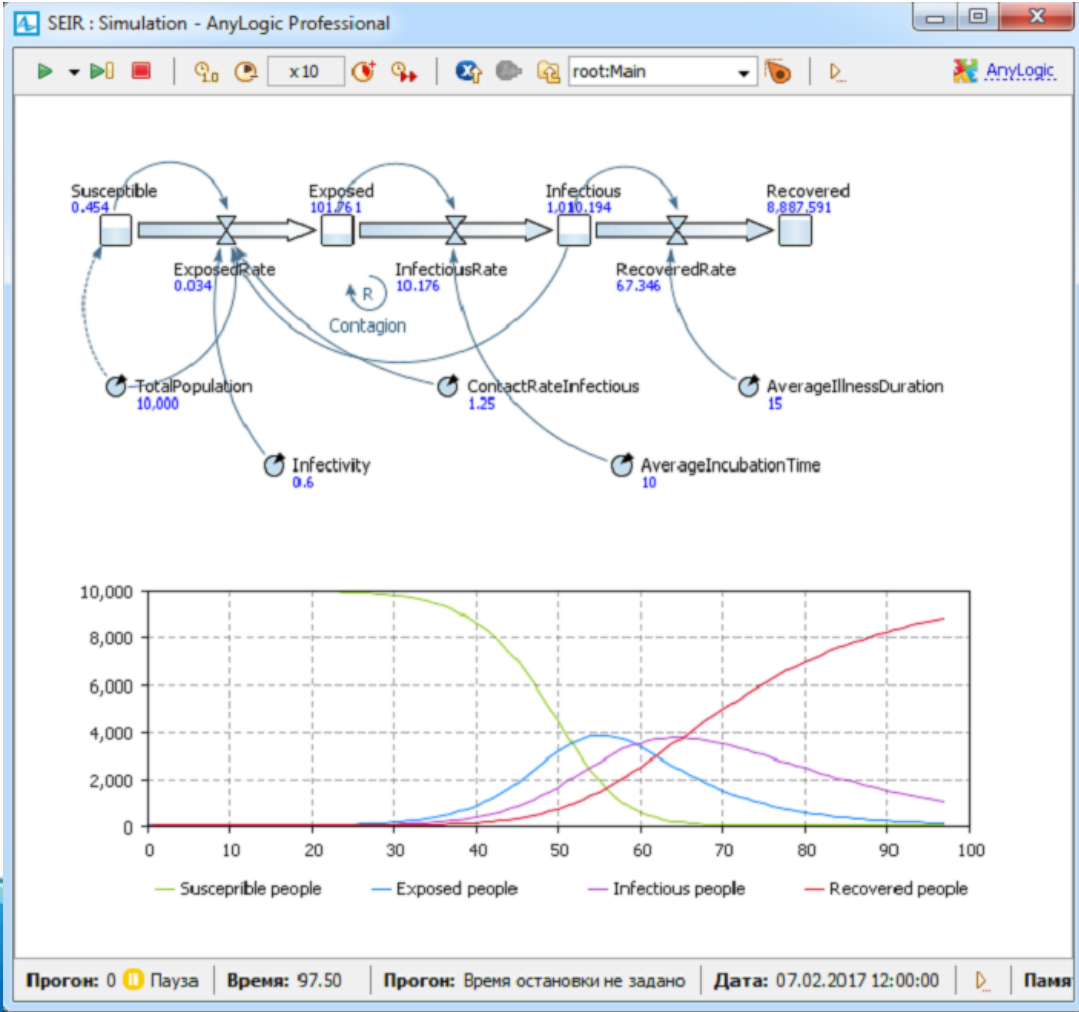
Стиль маркера:

Толщина линии: pt

Цвет:

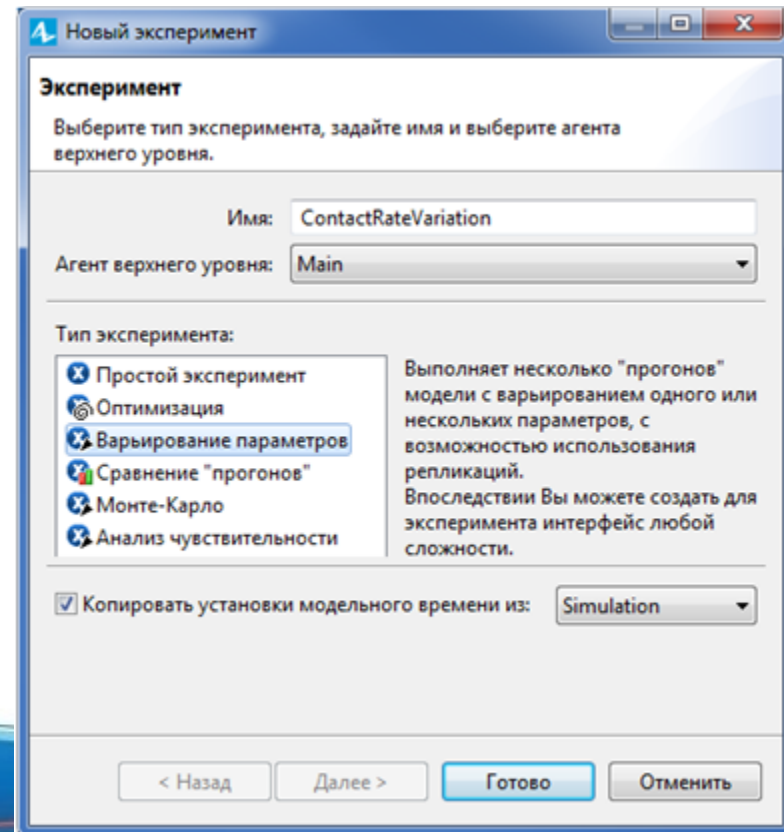
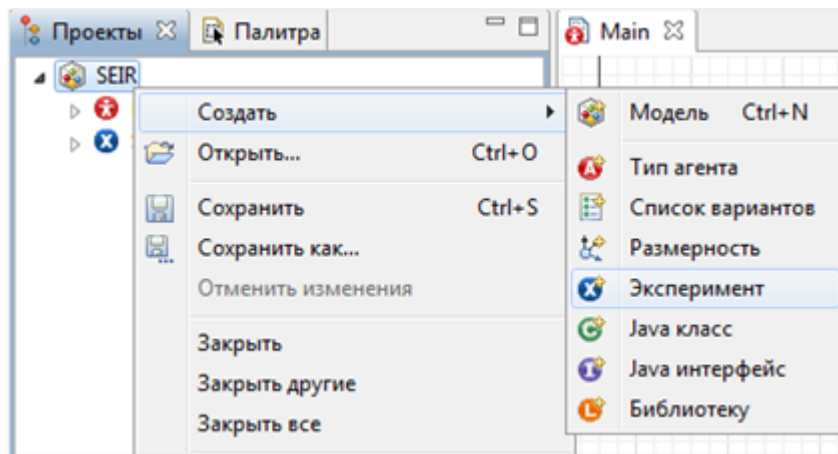
Этап 2 Добавление графика для визуализации динамики процесса

6. Запустим модель и изучим динамику распространения болезни с помощью временного графика.



Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

1. Чтобы создать эксперимент, щелкнем правой кнопкой мыши по модели в панели Проекты и выберите из контекстного меню пункт Создать –Эксперимент. В появившемся окне Новый эксперимент введем ContactRateVariation в поле Имя, оставим по умолчанию тип агента верхнего уровня равным Main, выберем Варьирование параметров в списке Тип эксперимента и нажмем кнопку Готово.





Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

2. В панели свойств нового эксперимента перейдем в секцию Параметры. Выберем в списке параметр ContactRateInfectious и изменим его минимальное и максимальное значения параметра (от Мин. 0.3 до Макс. 2), а также зададим Шаг 0.1.

▼ Параметры

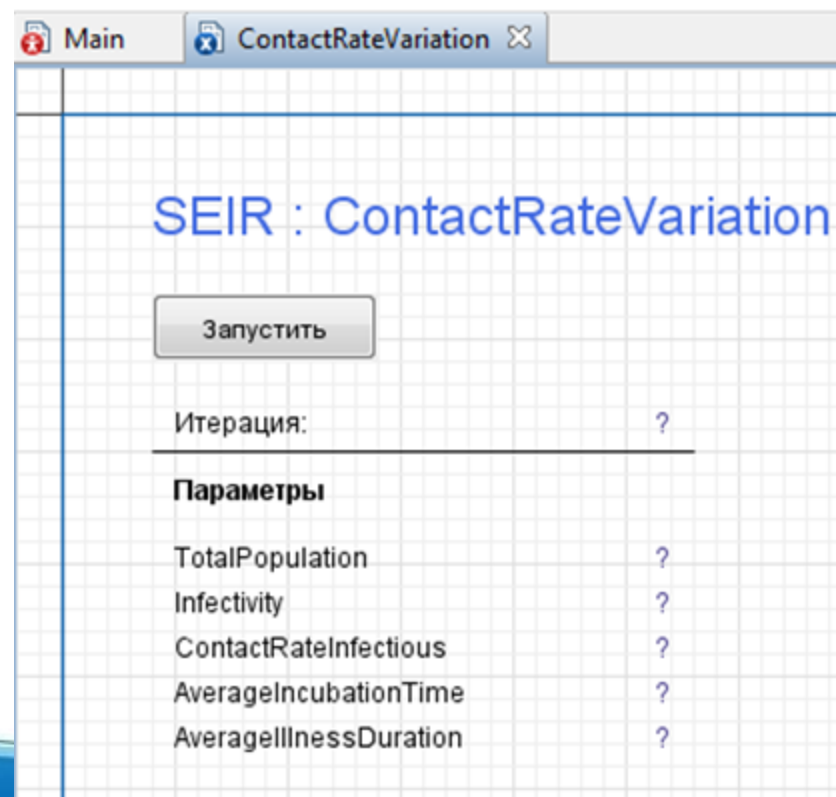
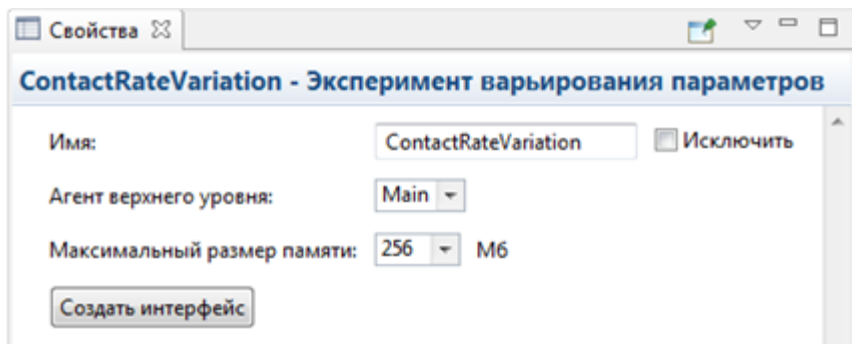
Параметры: ☒ Варьировать в диапазоне ☐ Произвольно

Кол-во "прогонов"

Параметр	Тип	Значение		
		Мин.	Макс.	Шаг
TotalPopulation	Фиксированный	10000		
Infectivity	Фиксированный	0.6		
ContactRateInfectious	Диапазон	0.3	2	0.1
AverageIncubationTime	Фиксированный	10		
AverageIllnessDuration	Фиксированный	15		

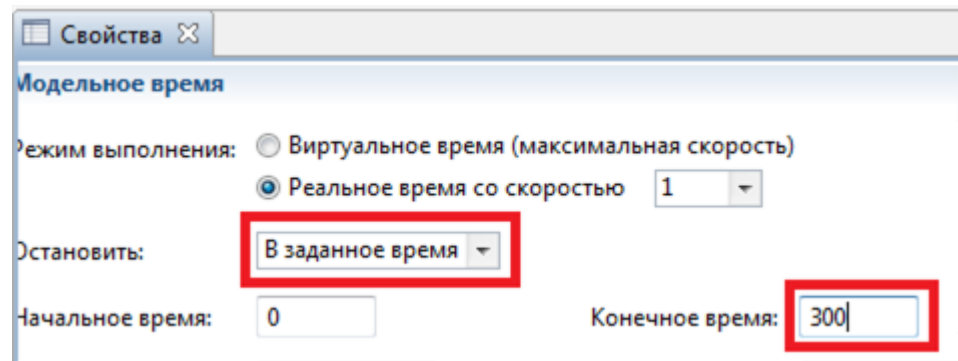
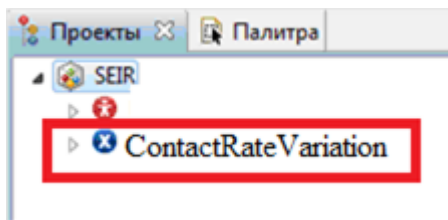
Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

3. Выше в свойствах эксперимента, кликнем по кнопке Создать интерфейс. В графическом редакторе появится стандартный интерфейс, создаваемый по умолчанию для данного типа эксперимента: текстовые метки, отображающие имена и текущие значения параметров модели.



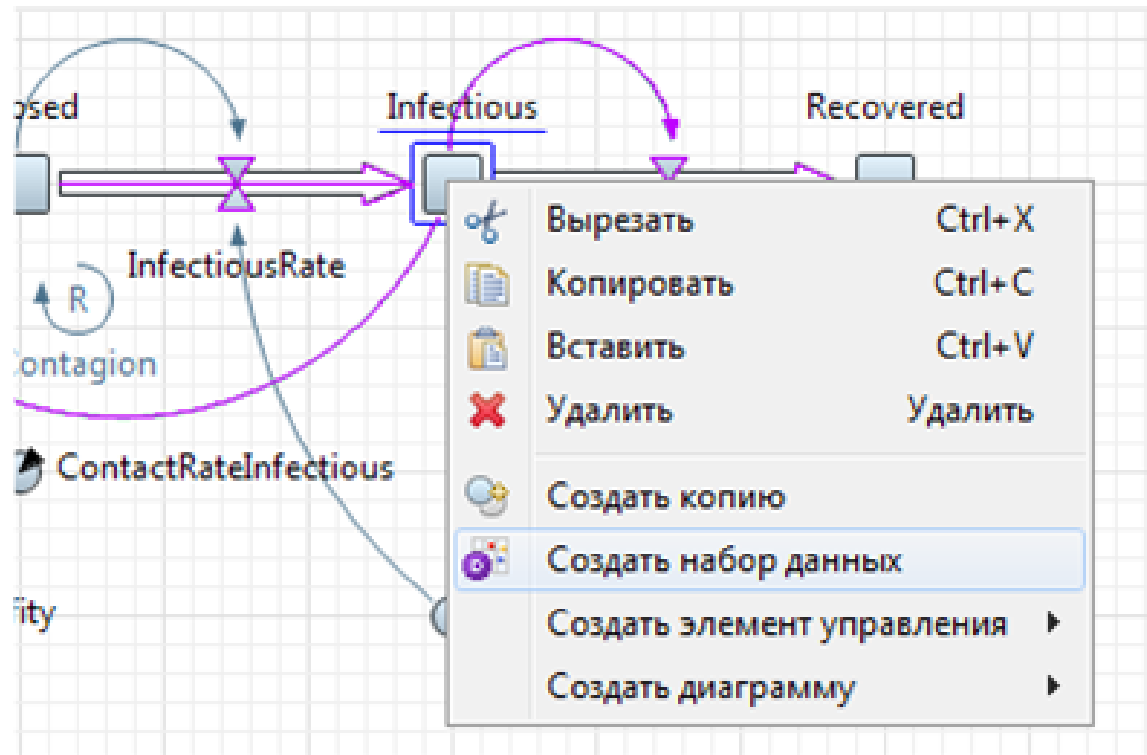
Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

4. Для ограничения периода моделирования кликнем мышью по эксперименту `ContactRateVariation` в панели Проекты, чтобы открыть панель Свойства. В свойствах эксперимента раскроем секцию Модельное время. По умолчанию, в выпадающем списке Остановить уже выбрана опция В заданное время, поэтому нам нужно только задать 300 в поле Конечное время.



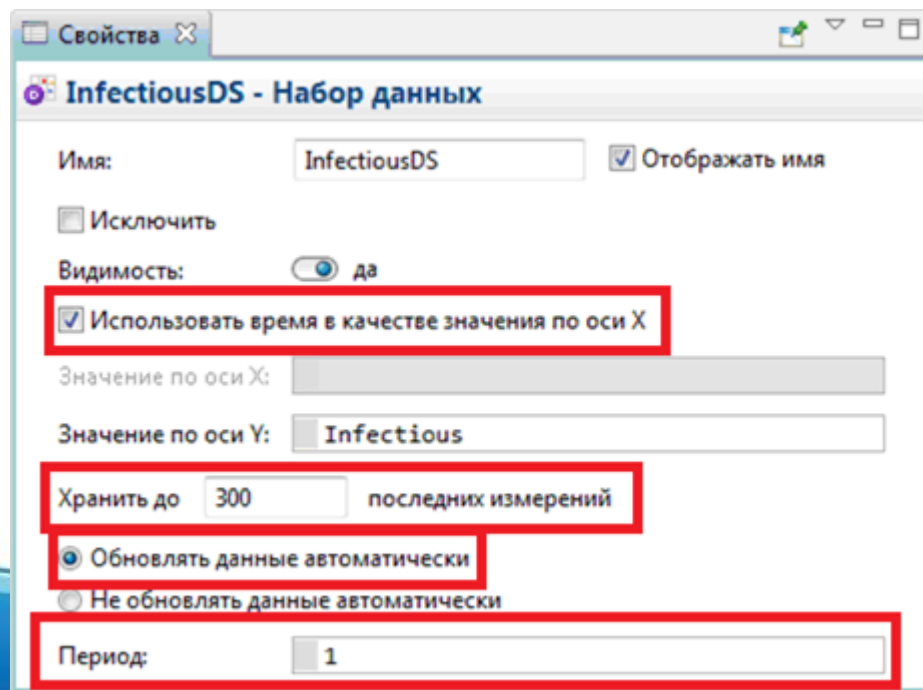
Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

5. Для добавления временного графика откроем диаграмму Main, затем кликнем правой кнопкой мыши по накопителю Infectious и выберем из контекстного меню опцию Создать набор данных.




Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

6. Перейдем в панель свойств созданного набор данных InfectiousDS. Мы хотим наблюдать за динамикой развития болезни во времени, поэтому оставим выбранную опцию Использовать время в качестве значения по оси X. Выберем опцию Обновлять данные автоматически и оставим Период равным 1, чтобы в набор данных добавлялись новые измерения для каждого моделируемого дня. Чтобы увидеть на графике все собранные значения, зададим в свойствах набора данных: Хранить до 300 последних измерений.

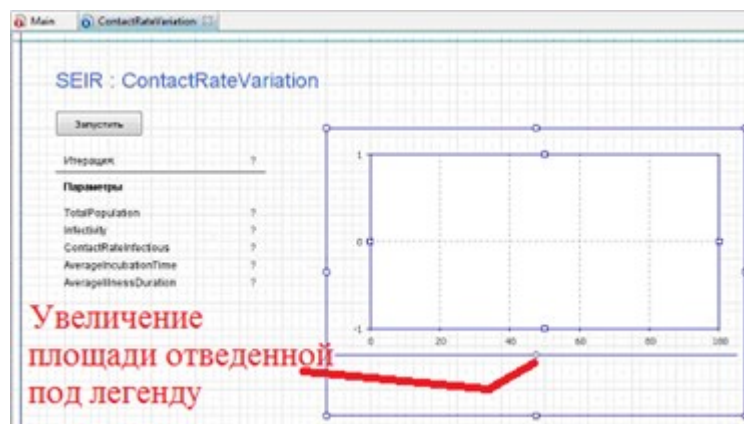


Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

7. Откроем диаграмму эксперимента ContactRateVariation и перетащим туда элемент Временной график из палитры Статистика  .

8. Перейдем в свойства временного графика. В секции Масштаб на панели свойств и зададим Временной диапазон равным 300 единицам модельного времени.

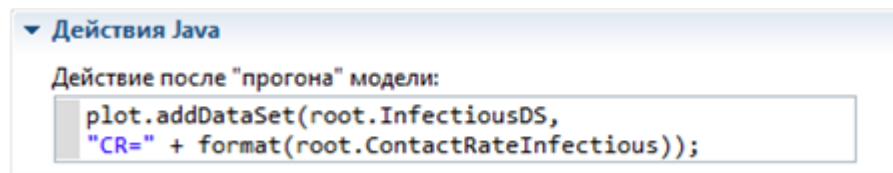
9. Увеличим площадь графика, отведенную под легенду, потянув за ромбовидную метку.





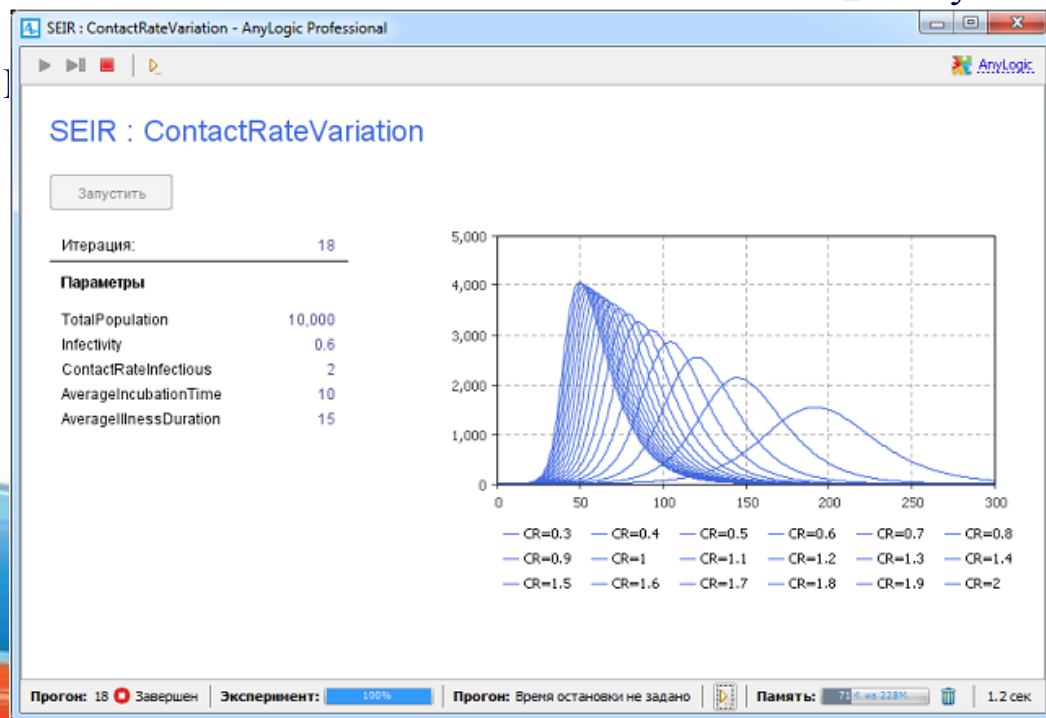
Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

Выделим эксперимент ContactRateVariation в панели Проекты и перейдем в его свойства. Добавим данные на график с помощью кода, который нужно ввести в секции свойства эксперимента Действия Java, в поле Действие после «прогона» модели: `plot.addDataSet(root.InfectiousDS, "CR=" + format(root.ContactRateInfectious)); *`






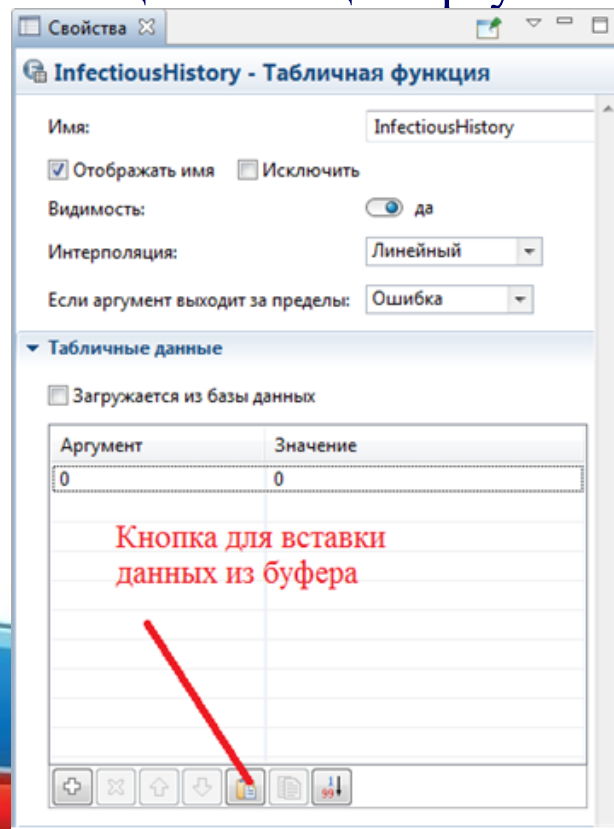
Этап 3 Эксперимент варьирования параметров

11. Откроем секцию свойств эксперимента Специфические и снимите флажок с опции Разрешить параллельное выполнение итераций.
12. Запустим новый эксперимент, для этого выберем SEIR / ContactRateVariation из списка вариантов кнопки Запустить или кликнем правой кнопкой мыши по эксперименту в дереве модели и выберем Запустить.
13. Запустим новый эксперимент, для этого выберем SEIR / ContactRateVariation из списка вариантов кнопки Запустить или кликнем правой кнопкой мыши по эксперименту в дереве модели и выберем Запустить.
14. В появившемся окне кликнем по кнопке Запустить в окне эксперимента.



Этап 4 Калибровка параметров модели

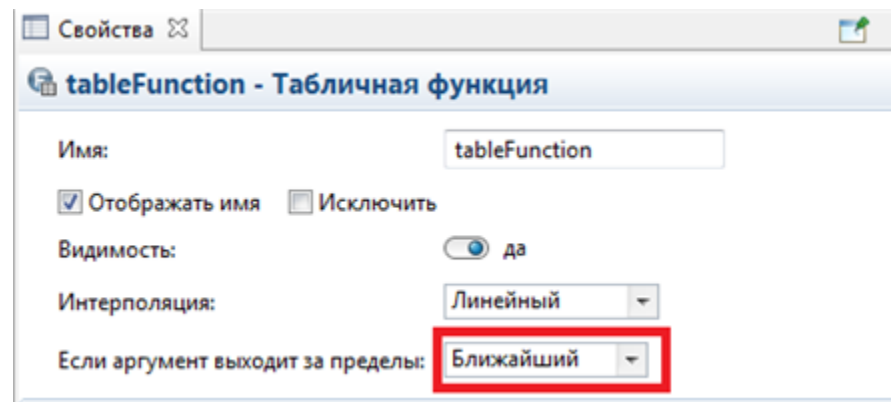
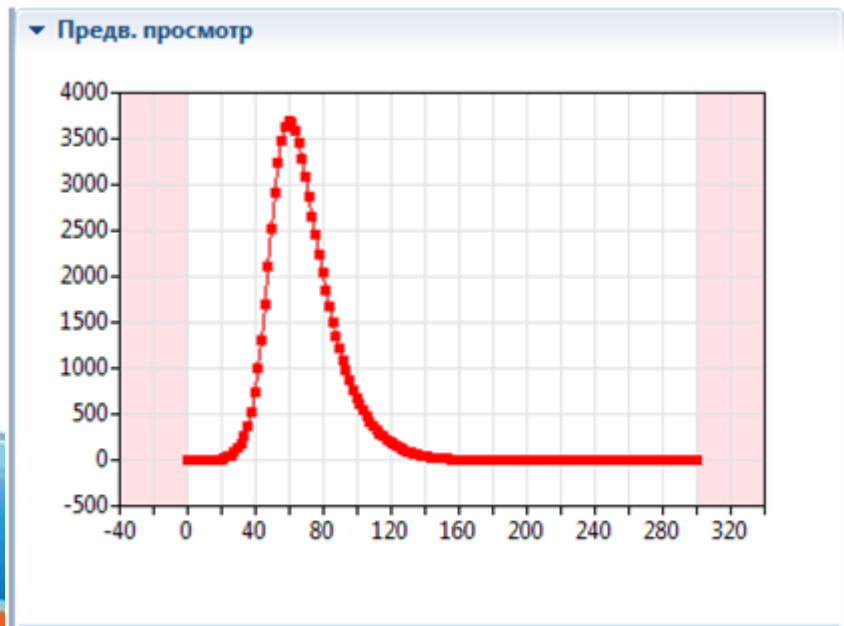
1. Откроем диаграмму Main и добавим на нее Табличную функцию  из палитры Системная динамика. Назовем эту функцию InfectiousHistory.
2. Откроем текстовый файл HistoricData.txt из папки Каталог C:\Program Files\AnyLogic 8 Personal Learning Edition\resources\AnyLogic in 3 days\SEIR1 и скопируем содержимое текстового файла в буфер обмена, затем перейдем в секцию свойств табличной функции Табличные данные и кликнем по кнопке Вставить из буфера . Столбцы таблицы Аргумент и Значение заполнятся данными .



Этап 4 Калибровка параметров модели

3. Открыв секцию свойств табличной функции Предв. просмотр, мы увидим кривую динамики распространения болезни, которая наблюдалась в реальной жизни.

4. Выше в свойствах, выберем у параметра Если аргумент выходит за пределы опцию Ближайший. В этом случае функция будет корректно обрабатывать случаи, когда функции передается аргумент, лежащий за пределами интервала аргументов, заданного нами в секции Табличные данные.





Этап 4 Калибровка параметров модели

5. Кликнем правой кнопкой мыши по модели SEIR в панели Проекты и выберите из контекстного меню пункт Создать-Эксперимент. В окне мастера Новый эксперимент выберем Калибровка в секции Тип эксперимента и затем щелкните Далее.
6. Мы выбрали эксперимент калибровки, в этом случае настройка параметров эксперимента проводится прямо в окне Мастера создания эксперимента. Изменим тип параметров, которые мы хотим калибровать (Infectivity и ContactRateInfectious), с фиксированного на непрерывный. Зададим минимальное (Мин) и максимальное (Макс) значения диапазона калибровки.

Параметры:					
Параметр	Тип	значение	Мин	Макс	Шаг
TotalPopulation	фиксированный				
Infectivity	непрерывный		0.005	1	
ContactRateInfectious	непрерывный		0.01	3	
AverageIncubationTime	фиксированный				
AverageIllnessDuration	фиксированный				



Этап 4 Калибровка параметров модели

7. Введите следующую информацию в расположенную ниже таблицу критериев калибровки:

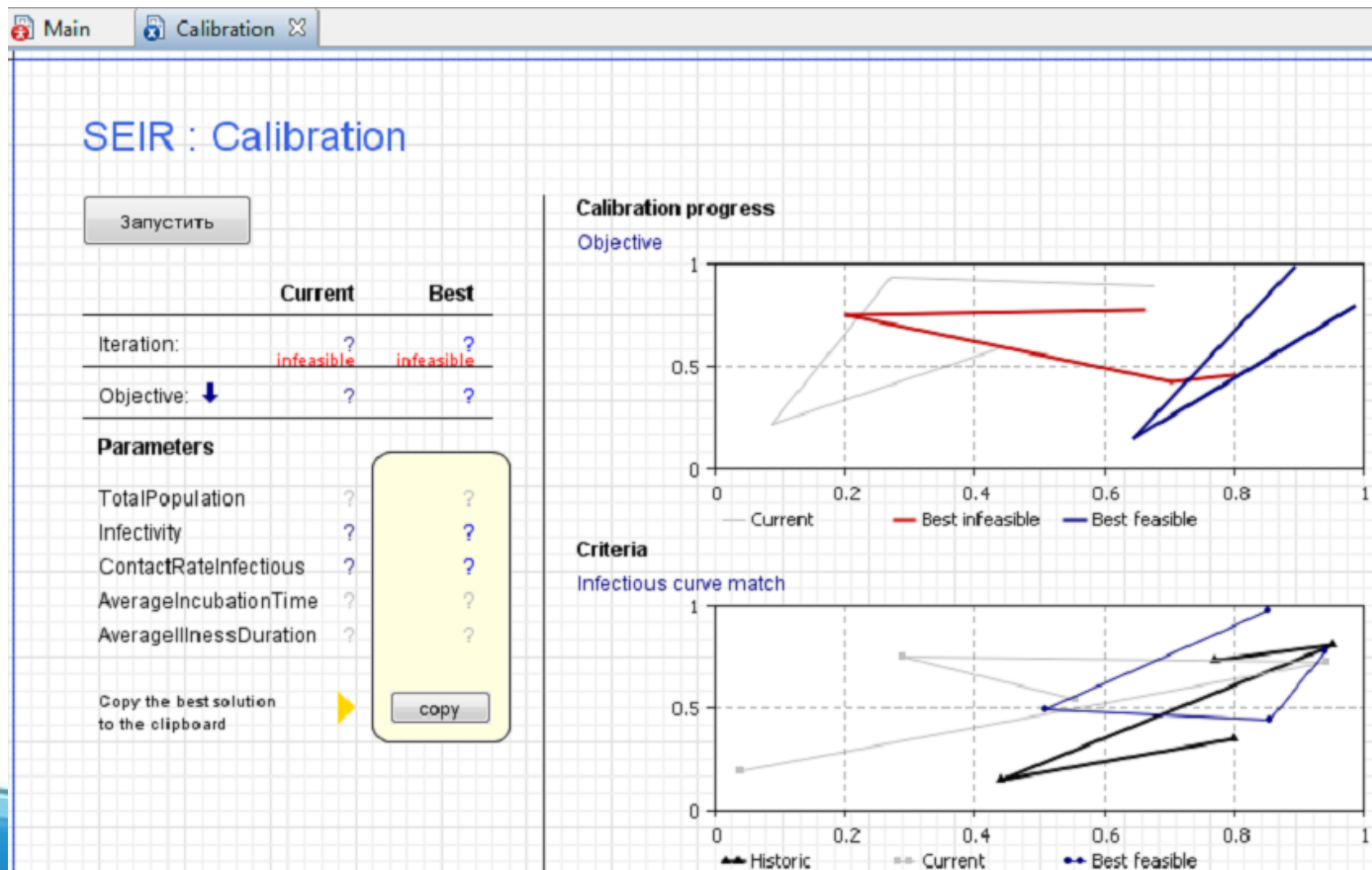
- Заголовок: Infectious curve match
- Тип: выберите из списка набор данных
- Результат моделирования: root.InfectiousDS
- Реальные данные: root.InfectiousHistory
- Коэффициент: 1.0.

Критерии:

Заголовок	Тип	Результат моделирования	Реальные данные	К...т
Infectious curve match	набор данных	root.InfectiousDS	root.InfectiousHistory	1.0

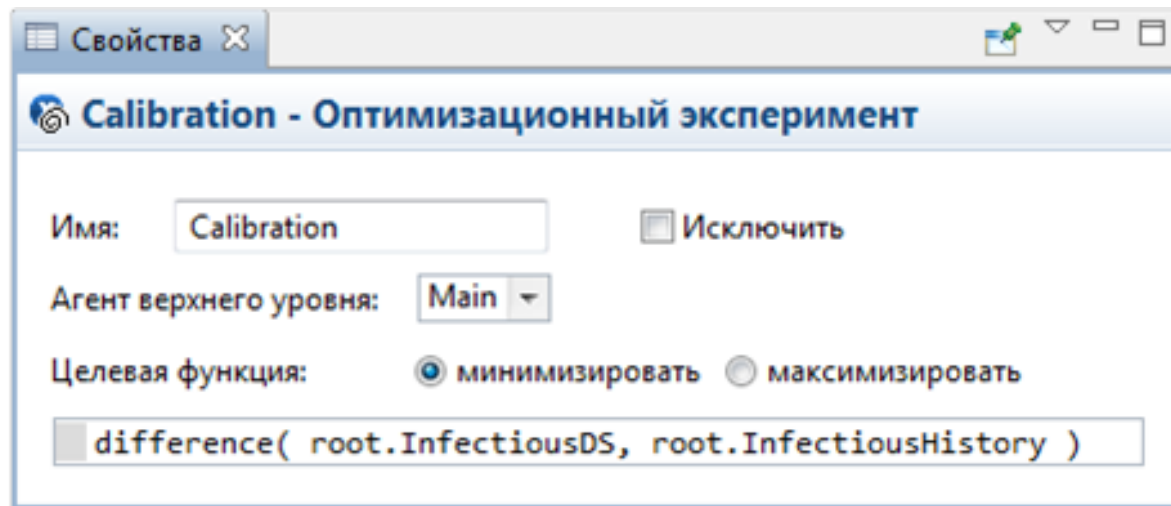
Этап 4 Калибровка параметров модели

8. Кликнем по кнопке Готово. При этом откроется диаграмма эксперимента Calibration с созданным по умолчанию интерфейсом этого эксперимента.



Этап 4 Калибровка параметров модели

9. В панели свойств эксперимента введем необходимые данные.

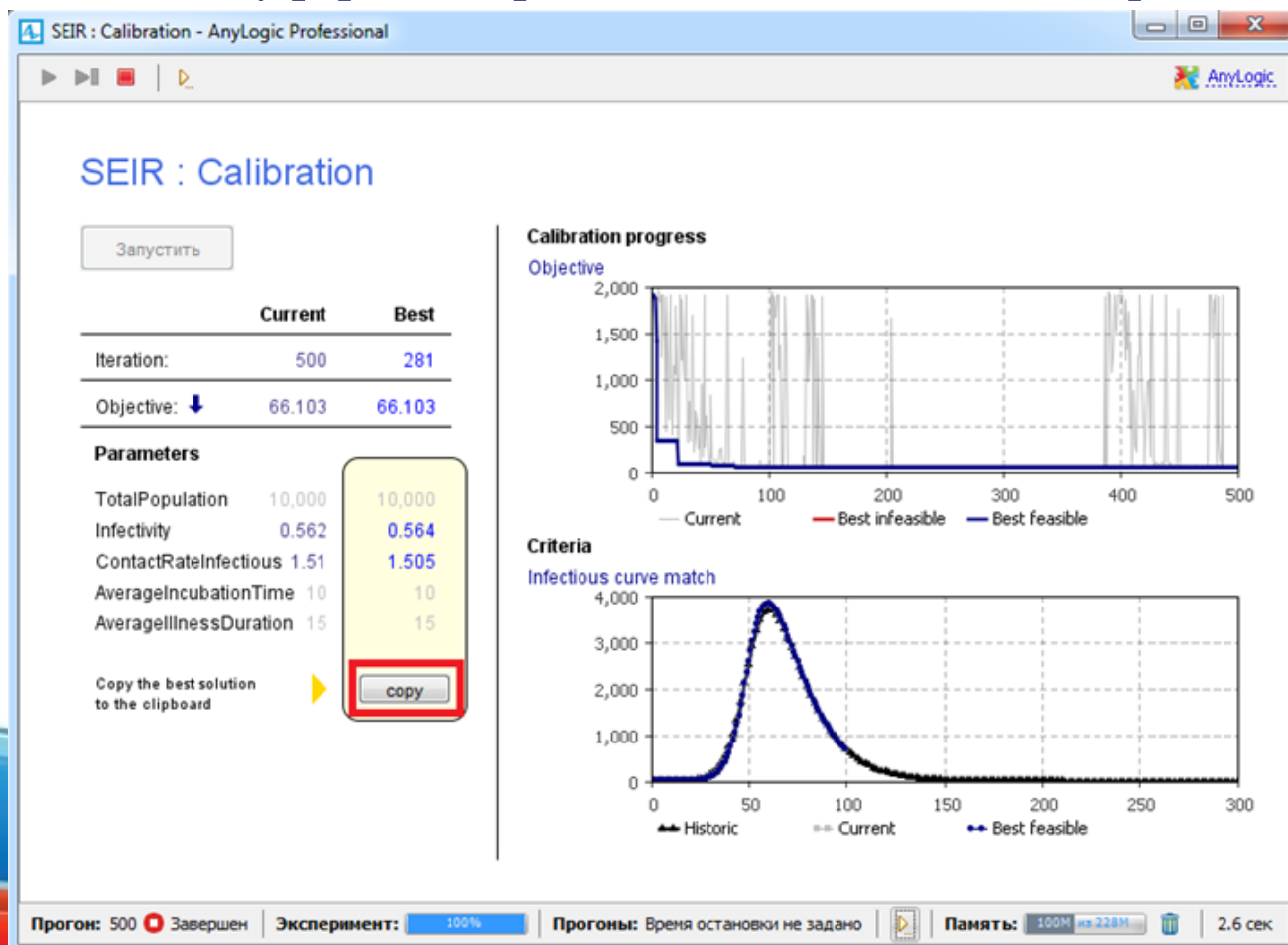


10. Откроем секцию свойств Специфические и снимем флажок Разрешить параллельное выполнение итераций.

11. Запустим эксперимент кликнув правой кнопкой мыши в панели Проекты по эксперименту Calibration и выберем  Запустить из контекстного меню.

Этап 4 Калибровка параметров модели

12. Когда эксперимент калибровки будет завершен, вы сможете скопировать полученные значения параметров, щелкнув по кнопке сору. Чтобы использовать скопированные значения параметров в нашем эксперименте Simulation, щелкните по кнопке Вставить из буфера на странице свойств этого эксперимента.





Спасибо за внимание!