

Лабораторная работа

Модель распространения эпидемии

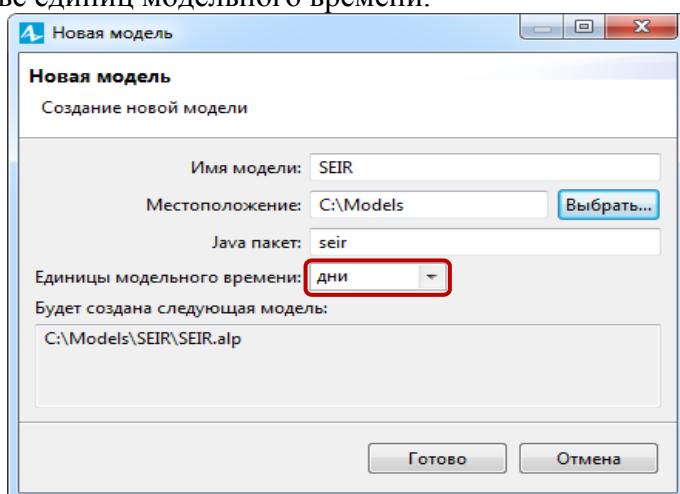
Постановка задачи

Мы построим модель, изучающую распространение инфекционного заболевания среди населения. рассмотрим численность населения, равную 10 000 человек, которую обозначим как `TotalPopulation`. Вначале заражен только один человек, а все остальные лишь восприимчивы к болезни.

- Во время болезни один человек в среднем контактирует с другими с интенсивностью `ContactRateInfectious`, равной 1.25 человека в день.
- Если заразившийся человек контактирует с восприимчивым к болезни, то вероятность передачи инфекции `Infectivity` равняется 0.6.
- После того, как человек заражается, инкубационный период `AverageIncubationTime` длится 10 дней.
- Средняя длительность болезни после инкубационного периода `AverageIllnessDuration` (другими словами, длительность периода, когда этот человек может заражать других) составляет 15 дней.
- Выздоровевшие люди получают иммунитет к болезни и не могут снова заболеть.

Фаза 1. Создание диаграммы потоков и накопителей

1. Создайте новую модель, выбрав пункт меню **Файл > Создать > Модель**. Назовите модель `SEIR` и выберите **дни** в качестве единиц модельного времени.



Начнем с того, что нарисуем диаграмму накопителей и потоков.

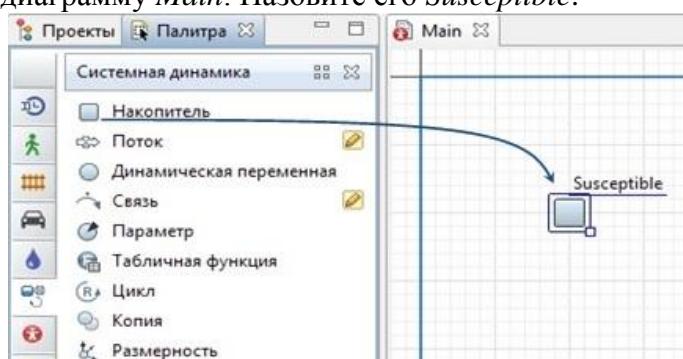
В данной модели мы не будем учитывать все разнообразие населения, а лишь выделим четыре категории людей, имеющие значение для изучаемого нами процесса:

- `Susceptible` – Восприимчивые к заражению люди, которые еще не были заражены вирусом.
- `Exposed` – Люди, находящиеся в латентной стадии 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).

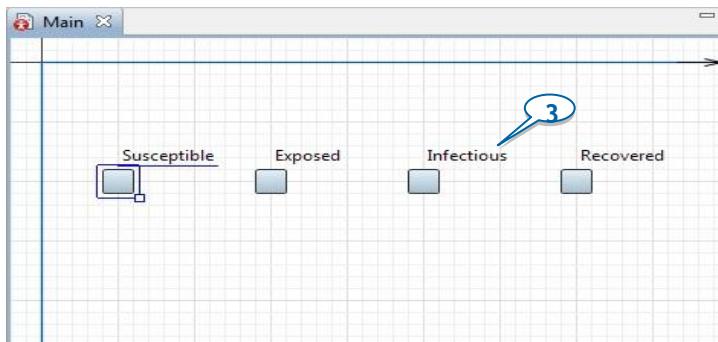
Название модели `SEIR` – это аббревиатура, образованная сокращением названий основных стадий распространения инфекции: `Susceptible - Exposed - Infectious - Recovered`.

В нашей модели можно естественным образом выделить четыре накопителя, по одному на каждую стадию заболевания. Давайте и начнем с их создания.

2. Откройте палитру **Системная Динамика**. Перетащите элемент **Накопитель**  из палитры **Системная Динамика** на диаграмму `Main`. Назовите его `Susceptible`.



3. Добавьте еще три накопителя. Расположите их, как показано на рисунке ниже, и назовите *Exposed*, *Infectious* и *Recovered*.



Накопители и потоки

В системной динамике **накопители** (иногда они также называются *уровнями* или *фондами*) представляют собой переменные, которые эквивалентны объему определенного «вещества» (это могут быть деньги, знания, люди, жидкости и т.п.).

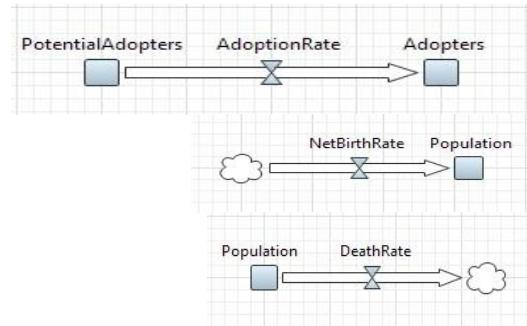
Потоки задают динамику системы. Значения накопителей изменяются с течением времени именно согласно существующим в системе потокам. Входящий в накопитель поток увеличивает значение данного накопителя, исходящий из накопителя поток уменьшает его значение. Ниже приведены примеры накопителей и потоков:

| Накопитель | Входящие потоки | Исходящие потоки |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|
| Население | Рождаемость Иммиграция | Смертность Эмиграция |
| Бак с горючим | Заправка | Потребление горючего |

Один и тот же поток может служить исходящим потоком для одного накопителя и входящим - для другого; в этом случае говорится, что это поток из первого накопителя во второй:

Если поток начинает течение "из ниоткуда", то в его начальной точке рисуется общепринятый для таких случаев символ облака.

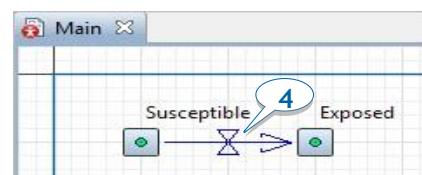
Аналогично, облако рисуется у конечной точки потока, если поток течет не в какой-то другой накопитель, а "в никуда".



Направление стрелки потока обозначает влияние этого потока на накопители.

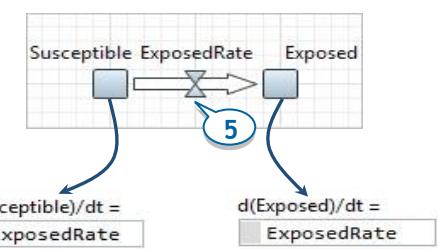
Основная логика нашей модели такова: восприимчивые к заболеванию люди подвергаются заражению вирусом, болеют и заражают других, а затем выздоравливают. Чтобы промоделировать перемещение людей между нашими четырьмя накопителями, нам нужно добавить три потока.

4. Добавьте первый поток, который ведет из накопителя *Susceptible* в накопитель *Exposed*. Сделайте двойной щелчок мышью по накопителю, из которого поток выходит (*Susceptible*) и затем щелкните по накопителю, в который поток входит (*Exposed*).



5. Назовите этот поток *ExposedRate*.

6. Обратите внимание на формулы накопителей *Susceptible* и *Exposed*. Из них следует, что поток *ExposedRate* уменьшает значение накопителя *Susceptible* и увеличивает значение накопителя *Exposed*.



Формулы накопителей

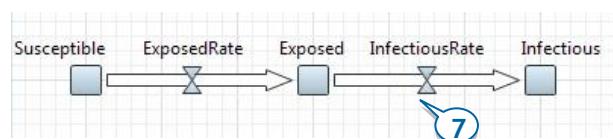
AnyLogic автоматически формирует формулу накопителя в соответствии с создаваемой пользователем диаграммой потоков и накопителей.

Значение накопителя вычисляется согласно потокам, входящим и исходящим из него. Значения входящих потоков, то есть тех, которые увеличивают значение накопителя, прибавляются к текущему значению накопителя, а значения исходящих потоков, соответственно, вычитаются из него:

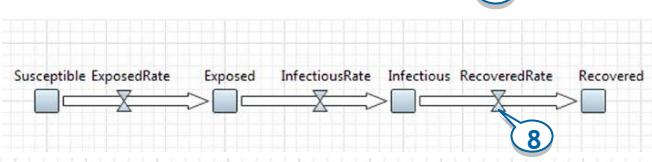
Входящий Поток 1 + входящий Поток 2 + ... - исходящий Поток 1 – исходящий Поток 2 ...

В классическом режиме задания формулы накопителя формула является нередактируемой, и в ней могут фигурировать только потоки.

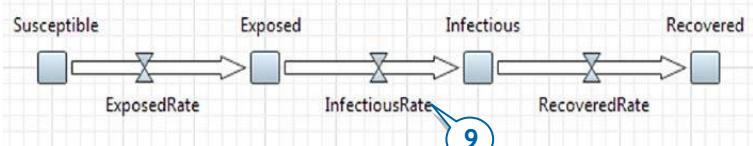
7. Добавьте поток, ведущий из накопителя Exposed в накопитель Infectious, и назовите его InfectiousRate.



8. Добавьте поток из накопителя Infectious в накопитель Recovered и назовите его RecoveredRate.

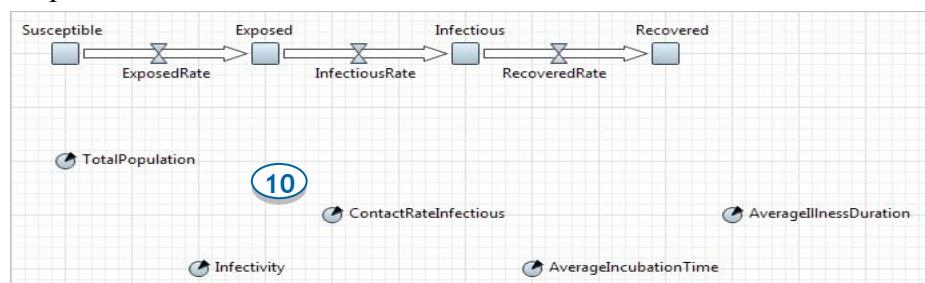


9. Расположите метки с именами потоков, как показано на рисунке справа. Чтобы переместить метку, выделите поток в графическом редакторе и затем переместите его имя.



10. Теперь давайте зададим параметры и зависимости. Добавьте пять элементов **Параметр**, задайте их имена и значения по умолчанию, как указано ниже:

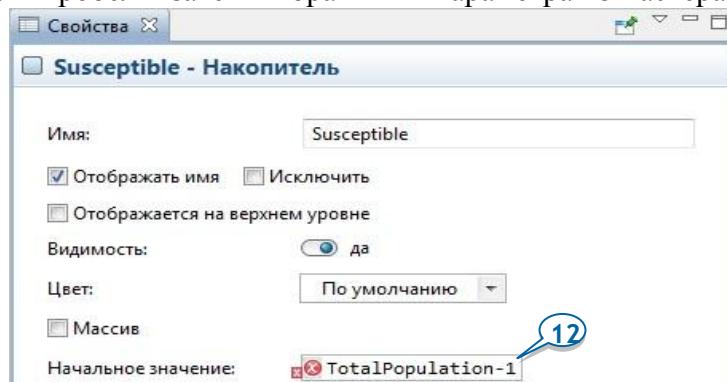
- TotalPopulation = 10 000
- Infectivity = 0.6
- ContactRateInfectious = 1.25
- AverageIncubationTime = 10
- AverageIllnessDuration = 15



11. Задайте первоначальное количество инфицированных людей, указав значение 1 в качестве **Начального значения** накопителя Infectious.

12. Задайте **Начальное значение** накопителя Susceptible: TotalPopulation-1.

Вы можете нажать Ctrl+пробел и затем выбрать имя параметра из мастера подстановки кода).



Слева от введенного выражения вы увидите красный значок - индикатор ошибки. Причина ошибки в том, что вы задали логическую зависимость между элементами диаграммы накопителей и потоков (начальное значение накопителя Susceptible зависит от параметра TotalPopulation), но эта зависимость не задана графически на диаграмме.

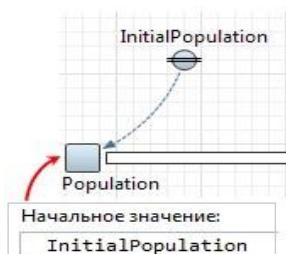
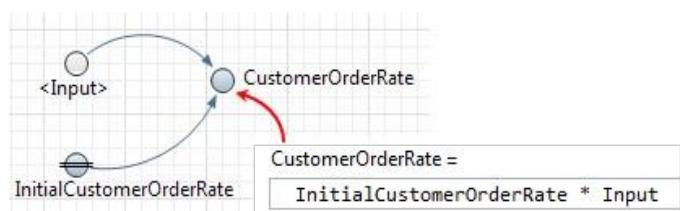
Связи зависимостей

Связь используется для задания зависимости между элементами диаграммы потоков и накопителей.

Зависимости в диаграммах потоков и наполнителей могут быть двух типов:

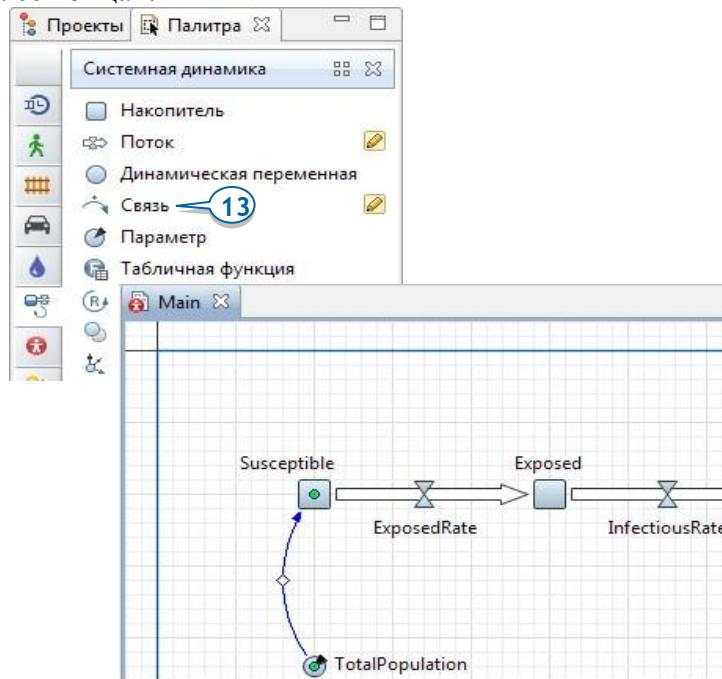
- Переменная (это может быть накопитель, поток, вспомогательная переменная или параметр) упоминается в формуле потока или вспомогательной переменной. Такой тип связи отображается сплошной линией:

Переменная фигурирует в формуле начального значения накопителя. Этот тип связи отображается пунктирной линией:



13. Нарисуйте связь, ведущую из параметра TotalPopulation в накопитель Susceptible.

Сделайте двойной щелчок мышью по элементу **Связь** палитры **Системная динамика**, щелкните по параметру TotalPopulation и затем щелкните по накопителю Susceptible. Вы увидите связь с точками соединения на ее концах:



14. Задайте формулу потока ExposedRate. Выделите поток щелчком мыши и введите следующую формулу с помощью мастера подстановки кода:

$\text{Infectious} * \text{ContactRate} * \text{Infectious} * \text{Infectivity} * \text{Susceptible} / \text{TotalPopulation}$



Нам необходимо нарисовать связи зависимостей, ведущие от указанных в формуле переменных и параметров к этому потоку. Может показаться забавным, но в некоторых других инструментах системной динамики все связи придется рисовать вручную. Мы же предпочитаем использовать механизм автоматического создания связей.

15. Щелкните правой кнопкой мыши по потоку ExposedRate в графическом редакторе и выберите опцию **Исправить ошибки в связях > Создать недостающие связи** из контекстного меню. При этом появятся недостающие для этого потока связи зависимостей:

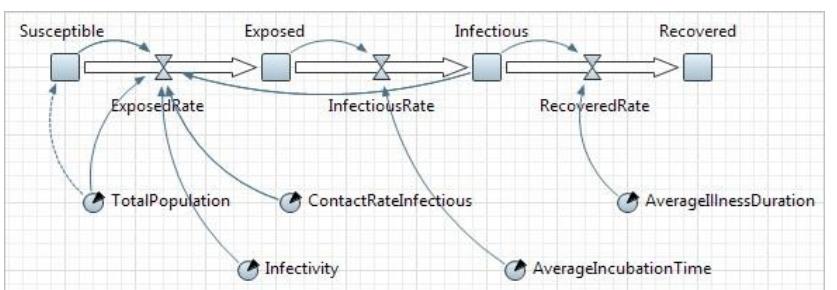
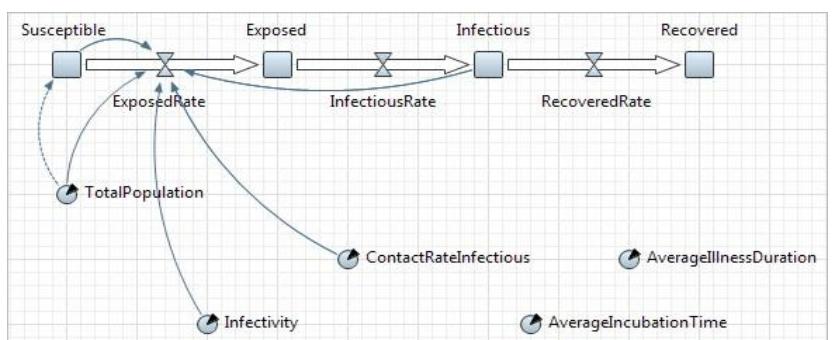
16. Задайте следующую формулу для потока InfectiousRate:

$$\text{Exposed} / \text{AverageIncubationTime}$$

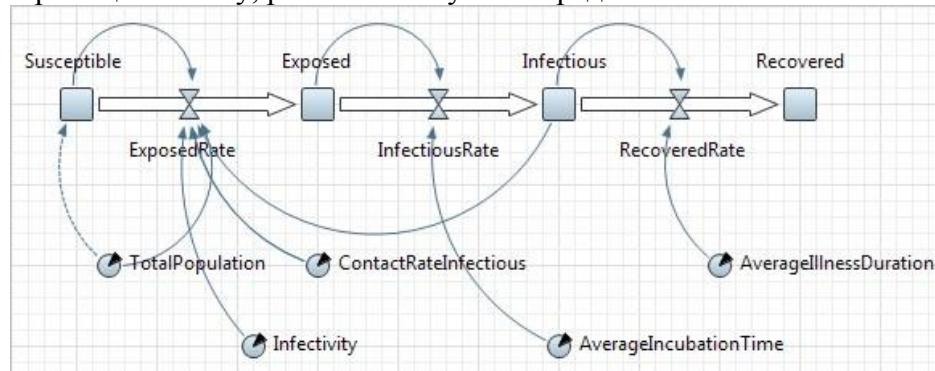
17. Задайте следующую формулу для потока RecoveredRate:

$$\text{Infectious} / \text{AverageIllnessDuration}$$

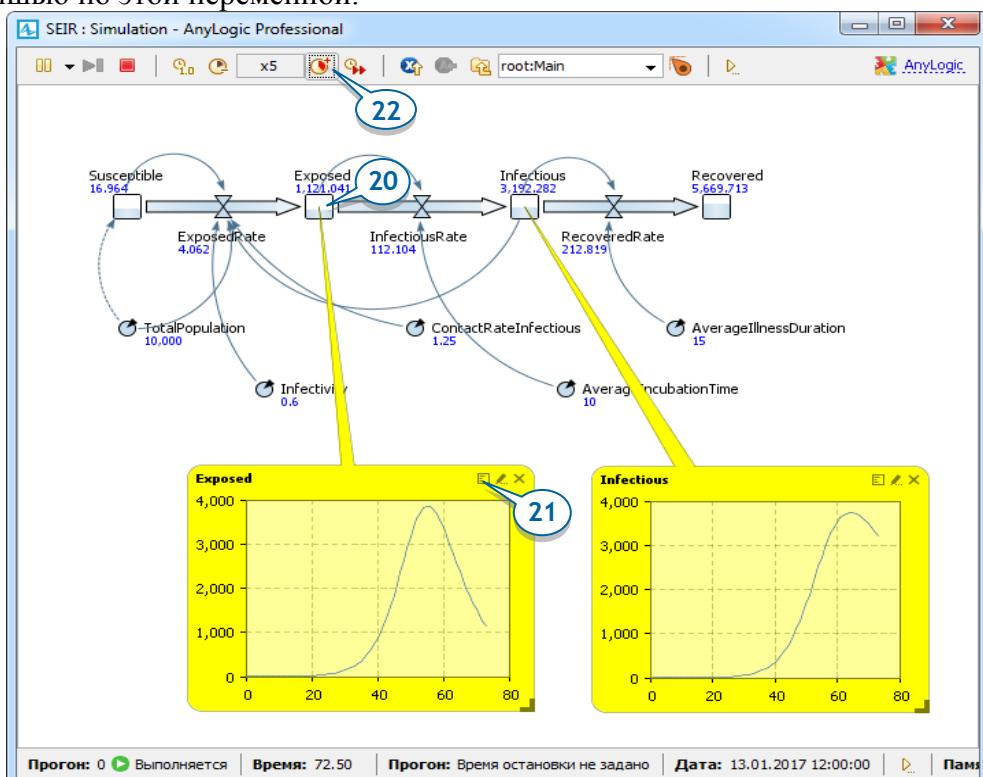
18. Добавьте все недостающие связи зависимостей. В результате диаграмма потоков и накопителей должна будет выглядеть следующим образом:



19. Подкорректируйте вид связей. Измените радиусы дуг связей, чтобы сделать диаграмму более красивой и читаемой, например, как на рисунке ниже. Чтобы изменить изгиб связи, выделите связь в редакторе и перетащите метку, расположенную посередине связи.



20. Запустите модель и исследуйте динамику процесса с помощью похожих на виджеты информационных окон этих переменных. Открыть информационное окно переменной можно, щелкнув мышью по этой переменной.



21. Чтобы переключить виджет в режим графика, щелкните самый левый значок его панели управления. Чтобы изменить размер окна, потяните за правый нижний угол этого окна.

22. Увеличьте скорость выполнения модели, чтобы моделирование проходило быстрее.

Фаза 2. Добавление графика для визуализации динамики процесса

Циклы обратной связи: уравновешивающие и усиливающие.

Системная динамика изучает системы с обратными связями, то есть системы, образованные (возможно, зависящими друг от друга) циклами обратной связи.

Есть два типа циклов обратной связи: *усиливающие* и *уравновешивающие*. Определить тип цикла можно с помощью следующих правил.

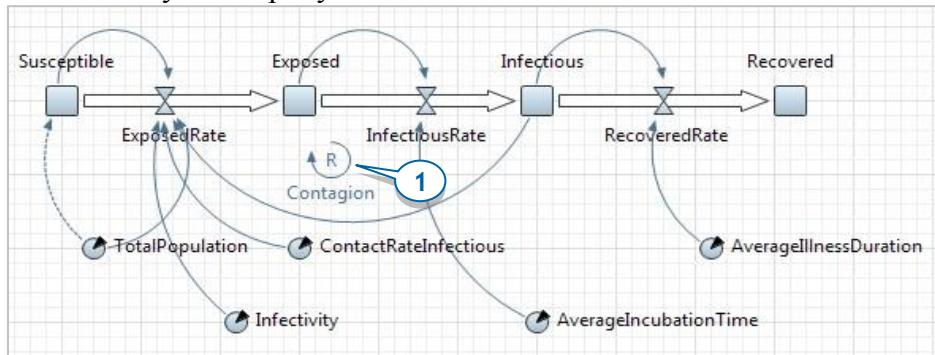
Начните с предположения, что значение переменной увеличивается, и проследите за изменением значений входящих в цикл переменных.

Цикл является:

- *усиливающим*, если после прохождения по циклу вы видите тот же результат, что был допущен при начальном предположении;
- *уравновешивающим*, если результат противоречит начальному предположению.
- Есть и другой способ определения типа цикла:
- *Усиливающие* циклы содержат четное (или нулевое) количество отрицательных связей (то есть, связей, уменьшающих значение зависимой переменной).
- *Уравновешивающие* циклы содержат нечетное количество отрицательных связей.

Добавим на диаграмму метку для образовавшегося в нашей системе цикла зависимостей.

- Перетащите элемент **Цикл** из палитры **Системная динамика** на диаграмму и расположите его так, как показано на следующем рисунке.



- Перейдите в панель **Свойства** и измените **Тип** цикла на **R** (что означает *Reinforcing*, то есть «усиливающий»). Оставьте заданное по умолчанию **Направление:** **по часовой стрелке** и укажите текст, который AnyLogic будет отображать возле значка цикла: **Contagion** (то есть, «заражение»).

Элемент «Цикл»

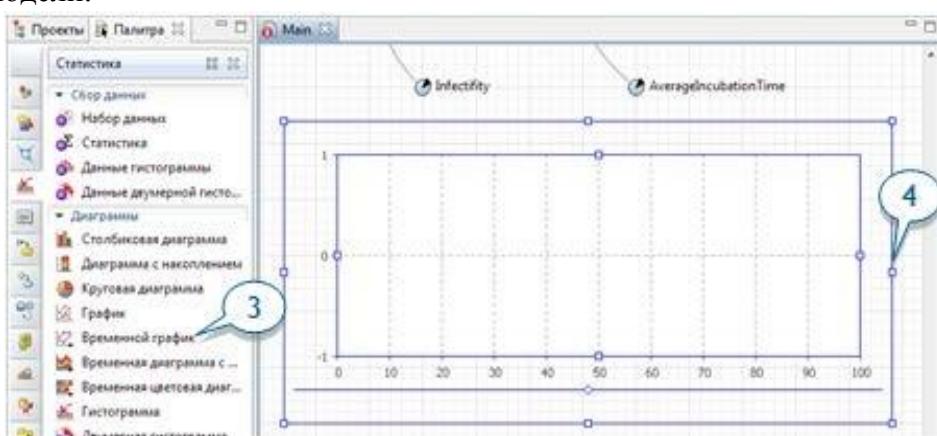
Элемент AnyLogic **Цикл** представляет собой графический значок, состоящий из метки с описанием смысла цикла и стрелки, показывающей направление этого цикла. Элемент не задает саму логику зависимостей в моделируемой системе, а только показывает информацию об образовавшемся цикле влияний переменных друг на друга. Добавляя на диаграмму значки циклов, вы можете облегчить понимание существующих в этой диаграмме циклов обратной связи будущим пользователям этой модели.

Давайте определим тип нашего цикла **Contagion**. Увеличение значения накопителя **Infectious** ведет к увеличению значения потока **ExposedRate**, что в свою очередь увеличивает значение накопителя **Exposed**. Следовательно, цикл **Contagion** является усиливающим. Все связи в этом цикле положительные.

Определите, какие еще циклы присутствуют в моделируемой системе? Каких они типов?

Теперь давайте добавим временной график для просмотра динамики изменения численности каждой категории людей в нашей модели.

- Перетащите элемент **Временной график** из палитры **Статистика** на диаграмму и увеличьте размер графика, как показано на рисунке справа.



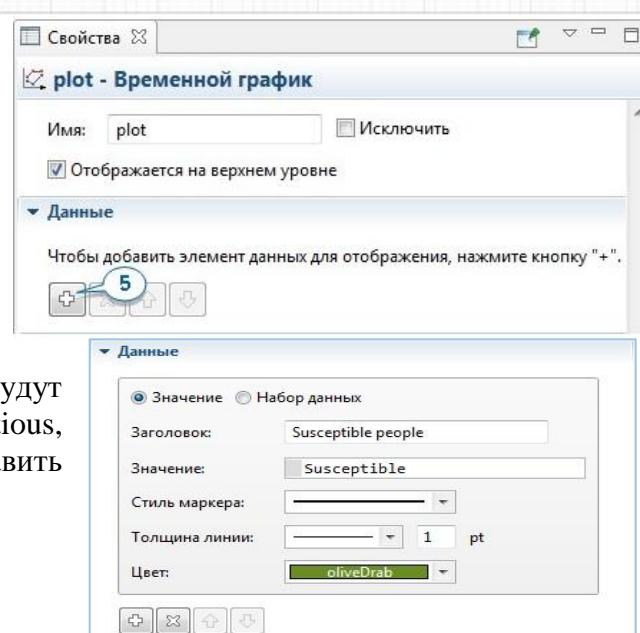
- Добавьте элемент данных, который будет отображаться на графике. В панели **Свойства** перейдите в раздел **Данные** и щелкните по

кнопке **Добавить**.

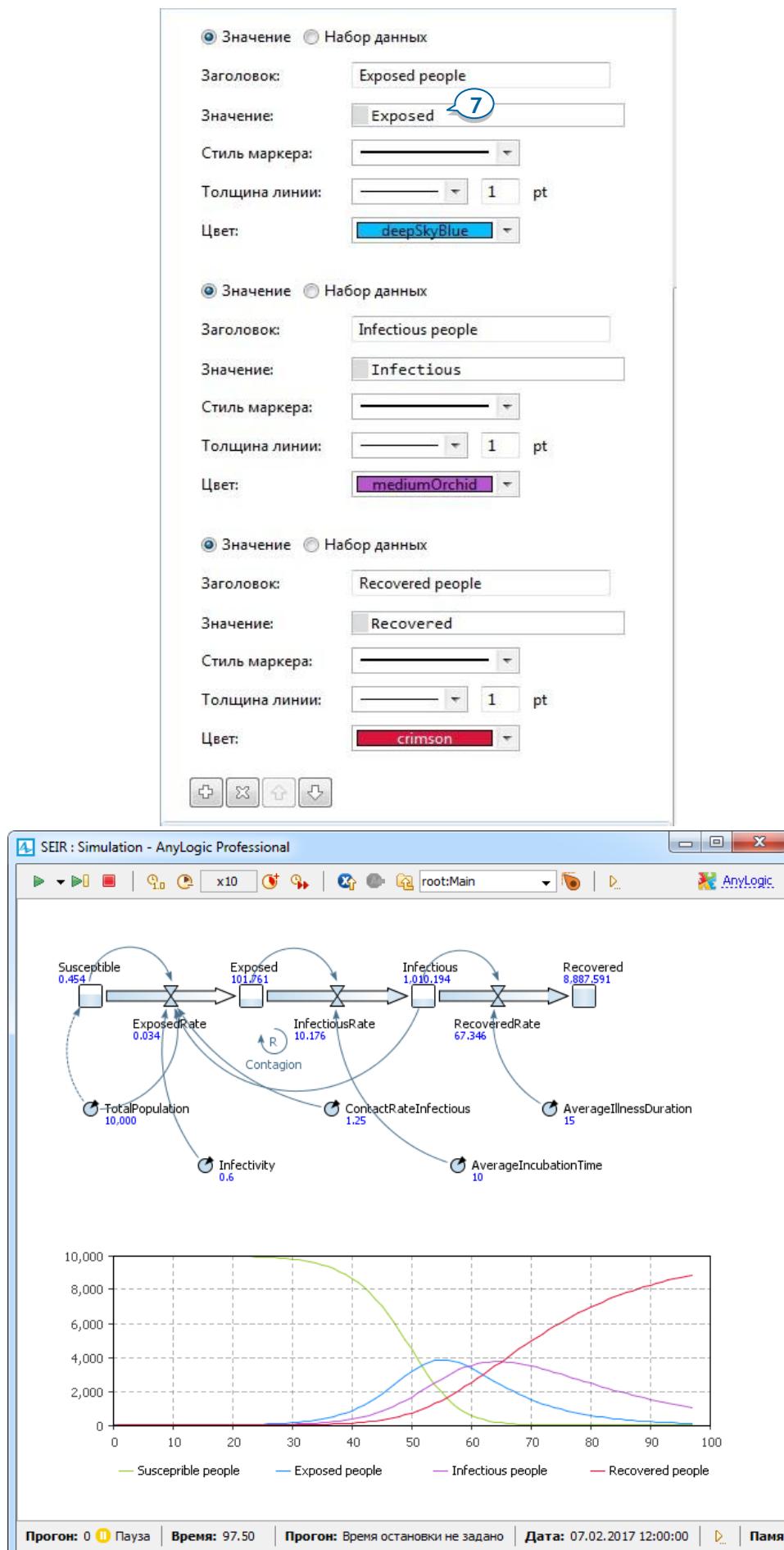
- Измените свойства созданного элемента данных графика:

- Заголовок:** **Susceptible people** (то есть, восприимчивые к заболеванию люди).
- Значение:** **Susceptible** (при введении имени переменной используйте мастер подстановки кода).

- Добавьте еще три элемента данных, которые будут отображать значения накопителей **Exposed**, **Infectious**, и **Recovered** соответственно. Не забудьте проставить каждому элементу соответствующий **Заголовок**.



7. Мы закончили создание модели. Запустите ее и изучите динамику распространения болезни с помощью нашего временного графика.



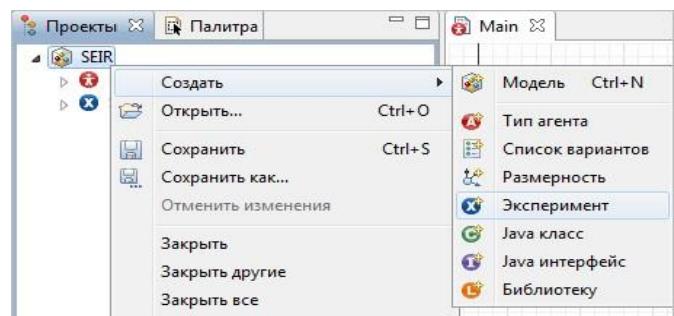
Фаза 3. Эксперимент варьирования параметров

Теперь давайте изучим, как меняется динамика распространения эпидемии при различных значениях интенсивности контактов между людьми, воспользовавшись экспериментом варьирования параметров.

Эксперимент варьирования параметров

Эксперимент варьирования параметров автоматически выполняет несколько повторных прогонов имитационного эксперимента, последовательно выбирая для каждого прогона свою комбинацию значений параметров. Вы явно задаете диапазон возможных значений для каждого варьируемого параметра: минимум, максимум, а также величину шага (инкремента), определяющего допустимые значения данного параметра внутри диапазона. Модель будет запускаться столько раз, сколько нужно для того, чтобы перебрать все возможные комбинации значений варьируемых параметров. AnyLogic предоставляет возможность отображения результатов всех прогонов модели на одном графике, облегчая тем самым сравнение результатов модели, полученных при различных значениях ее параметров.

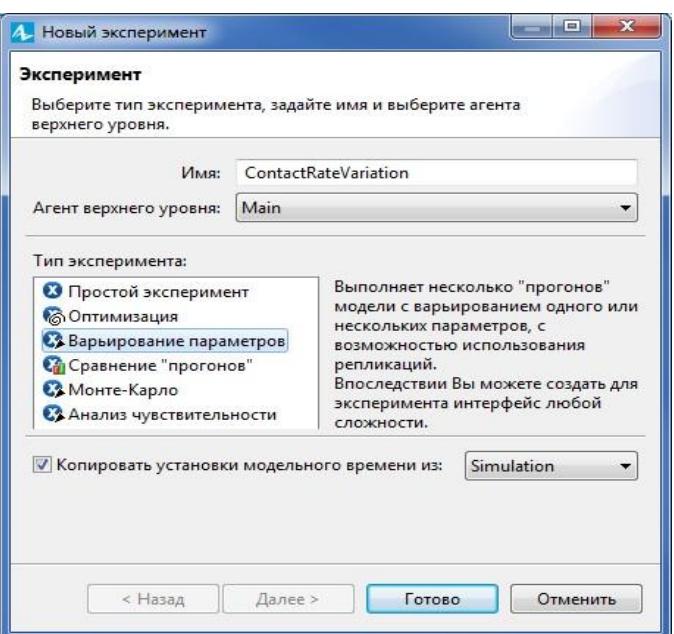
- Чтобы создать эксперимент, щелкните правой кнопкой мыши по модели в панели **Проекты** и выберите из контекстного меню пункт **Создать > Эксперимент**.



- Откроется диалоговое окно **Новый эксперимент**. Введите ContactRateVariation в поле **Имя**. Тип агента Main будет по умолчанию выбран как **Агент верхнего уровня**.
- Выберите **Варьирование параметров** в списке **Тип эксперимента** и щелкните по кнопке **Готово**.
- Перейдите в секцию свойств эксперимента **Параметры**. В ней отображаются параметры агента верхнего уровня данного эксперимента (то есть, агента Main).

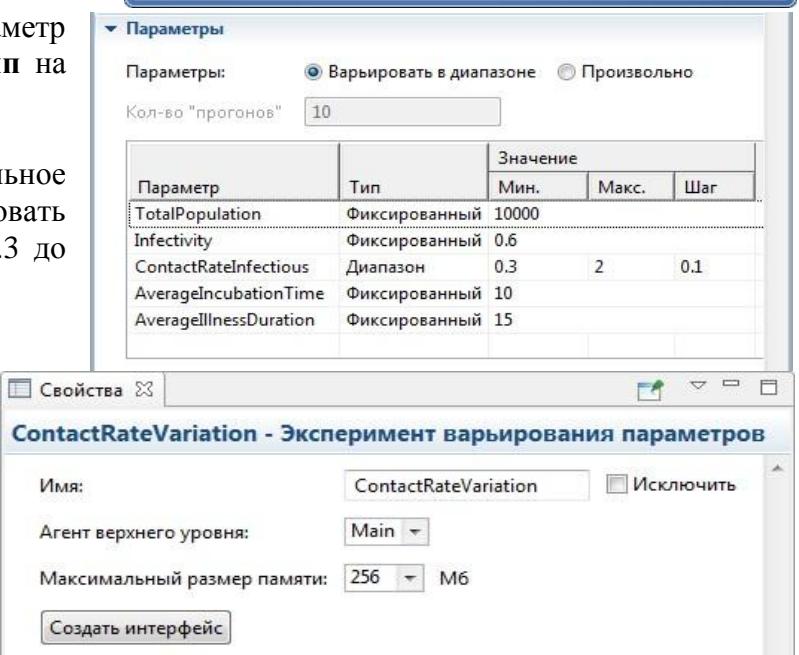
По умолчанию все параметры имеют **Фиксированный** тип. Значения фиксированных параметров не будут меняться экспериментом.

- Чтобы наш эксперимент варьировал интенсивность контактов зараженных людей, найдите в списке параметр ContactRateInfectious и измените его **Тип** на **Диапазон**.



- Задайте минимальное и максимальное значения параметра. Мы будем варьировать параметр в диапазоне от **Мин.** значения 0.3 до **Макс.** 2 с **Шагом** 0.1.

- Выше в свойствах эксперимента, щелкните 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.

- Чтобы каждый прогон моделировал только 300 дней модельного времени, нам нужно ограничить период моделирования. Щелкните по эксперименту ContactRateVariation в панели **Проекты**, чтобы открыть его свойства. В свойствах эксперимента раскройте 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**.

Теперь давайте добавим временной график для отображения результатов эксперимента. Но сначала мы настроим сбор данных о количестве зараженных людей.

- Откройте диаграмму Main, затем щелкните правой кнопкой мыши по накопителю Infectious и выберите из контекстного меню опцию **Создать набор данных**.

- Будет создан набор данных InfectiousDS. Переийдите в его свойства. Мы хотим наблюдать за динамикой развития болезни во времени, поэтому оставьте выбранной опцию **Использовать время в качестве значения по оси X**.

- Выберите опцию **Обновлять данные автоматически** и оставьте **Период** равным 1, чтобы в набор данных добавлялись новые измерения для каждого моделируемого дня.

- Чтобы увидеть на графике все собранные значения, задайте в свойствах набора данных: **Хранить до 300 последних измерений**.

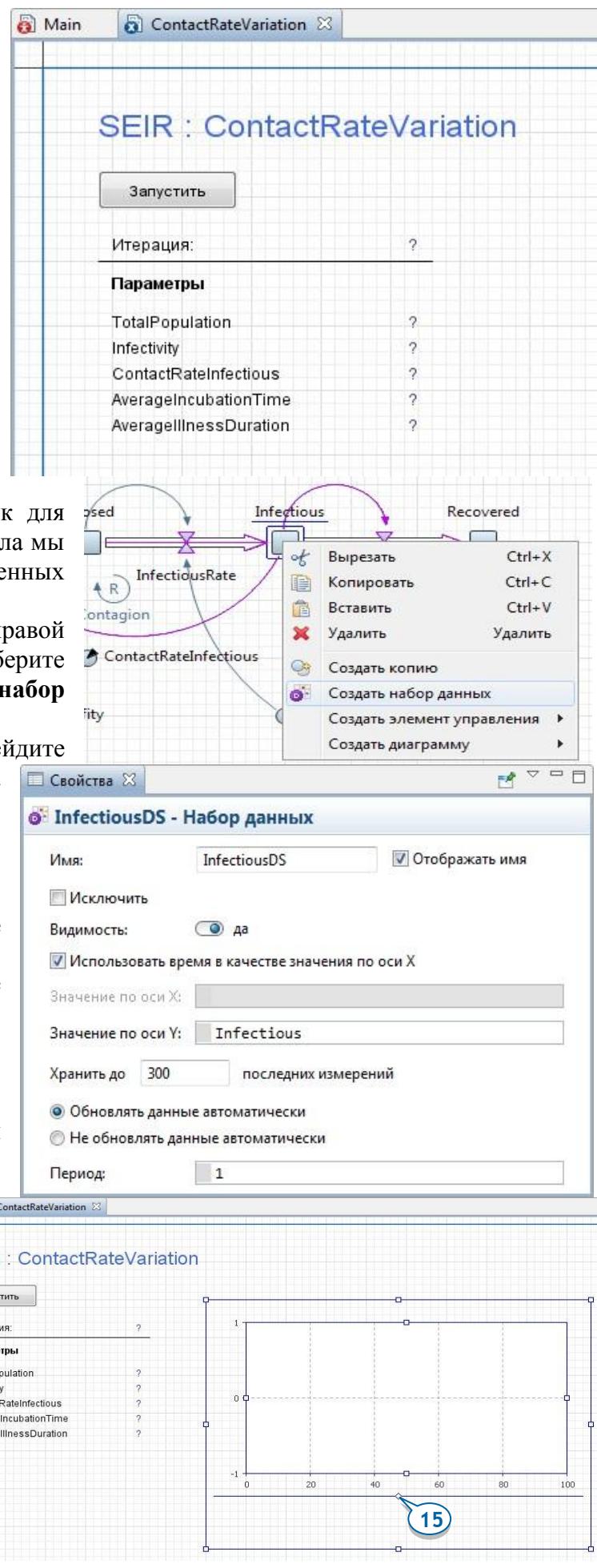
Теперь мы можем добавить график, который будет отображать результаты этого эксперимента.

- Откройте диаграмму эксперимента ContactRateVariation и перетащите туда элемент **Временной график**  из палитры **Статистика** .

- Перейдите в свойства временного графика. В секции **Масштаб** нам нужно задать **Временной диапазон: 300 единиц модельного времени**.

- Увеличьте площадь графика, отведенную под легенду, как показано на рисунке справа, потянув за ромбовидную метку.

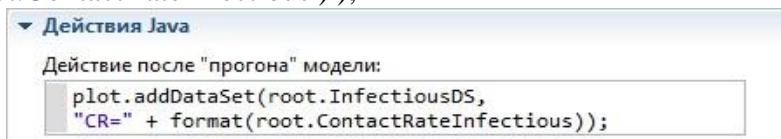
Этот график будет отображать динамику распространения болезни, собранную набором данных InfectiousDS при заданной интенсивности контактов людей друг с другом.



16. Выделите эксперимент ContactRateVariation в панели **Проекты** и перейдите в его свойства. Мы 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 ) );
```



Мы бы хотели, чтобы наш график отображал по одной кривой на каждый прогон модели, но мы не можем сделать это привычным нам образом в свойствах графика. Причина в том, что каждый прогон модели уничтожает агента верхнего уровня и все его данные, поэтому пользователь должен самостоятельно позаботиться о сохранении данных модели на уровне эксперимента.

После каждого выполнения модели AnyLogic собирает данные в наборе данных InfectiousDS, который находится на диаграмме Main. Агент верхнего уровня эксперимента доступен здесь как root, поэтому, чтобы получить доступ к набору данных, мы указываем root.InfectiousDS.

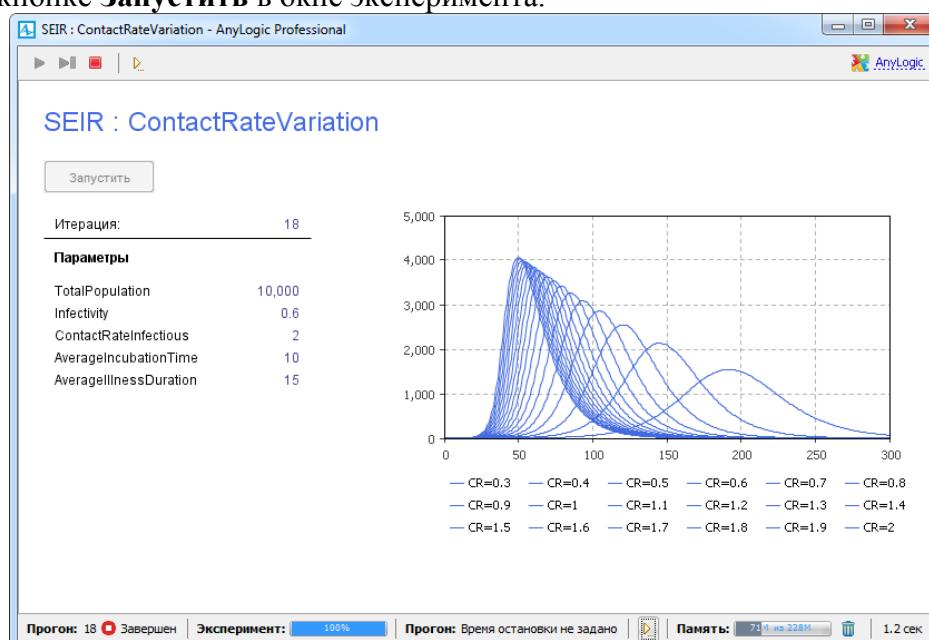
Мы могли бы использовать функцию графика addDataset(root.InfectiousDS), чтобы добавить набор данных в график с заданным по умолчанию заголовком "Data set" и линией предустановленного цвета и толщины. Но мы хотим добавить для каждой кривой ее отличительную легенду, которая бы давала нам понять, какому именно прогону модели эта кривая соответствует. Поэтому мы используем нотацию функции addDataSet() с двумя аргументами: addDataSet(DataSet ds, String title).

Для каждой кривой мы формируем легенду в виде строки, состоящей из имени параметра CR= («contact rate», то есть, «частота контактов») и его значения. Так как параметр ContactRateInfectious задан в агенте верхнего уровня (доступном в коде эксперимента как root), то мы получаем доступ к значению параметра, написав root.ContactRateInfectious. Затем мы используем функцию format(double value), которая форматирует текстовое представление численных данных (округляет такие значения, как 0.3000001 до 0.3).

17. Откройте секцию свойств эксперимента **Специфические** и снимите флажок с опции **Разрешить параллельное выполнение итераций**.

18. Мы готовы запустить эксперимент и посмотреть результаты разных прогонов модели на графике. Выберите SEIR / ContactRateVariation из списка вариантов кнопки Запустить или щелкните правой кнопкой мыши по эксперименту в дереве модели и выберите **Запустить**.

19. Щелкните по кнопке **Запустить** в окне эксперимента.



AnyLogic выполнит серию прогонов модели с разными значениями параметра ContactRateInfectious и добавит результаты каждого прогона на график.

Результаты эксперимента варьирования параметров говорят о том, что при более высокой интенсивности контактов между людьми инфекция распространяется быстрее.

В ходе эксперимента было выполнено 18 итераций для различных значений параметра ContactRateInfectious в диапазоне от 0.3 до 2, и наш график, соответственно, отображает 18 различных сценариев распространения инфекции. Вы можете выделить определенную кривую, щелкнув мышью по ее легенде.

Фаза 4. Калибровка параметров модели

Мы знаем, что созданная нами диаграмма потоков и накопителей абсолютно точно отражает моделируемый процесс распространения эпидемии. Но значения определенных параметров (а именно - Infectivity и ContactRateInfectious) нельзя измерить напрямую, поэтому, чтобы быть уверенными в достоверности результатов работы модели, нам нужно провести валидацию значений этих параметров до того, как мы начнем использовать модель. Если у вас есть наблюдения за поведением моделируемой системы в реальной жизни, то лучше всего с этой задачей справится *калибровка* - эксперимент, который подбирает значения параметров таким образом, чтобы поведение модели наиболее точно совпадало с поведением моделируемого объекта реального мира.

Калибровка

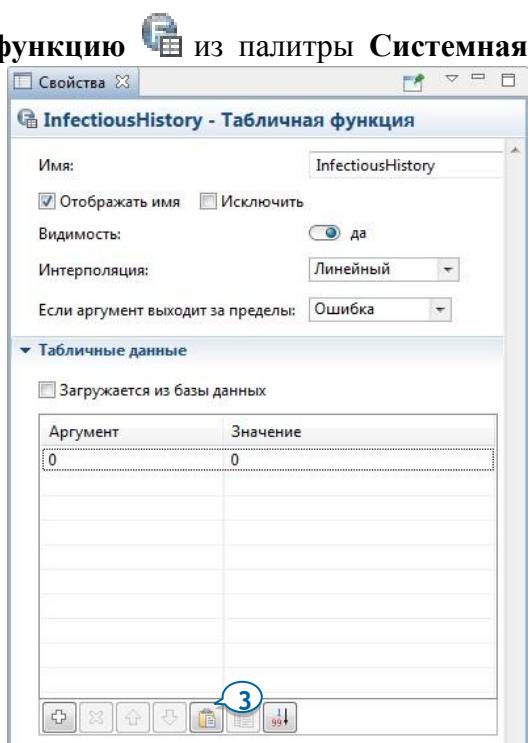
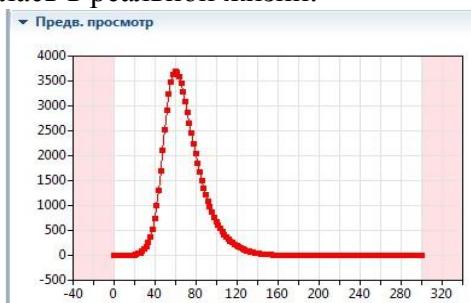
- Эксперимент калибровки многократно запускает модель и сравнивает результаты каждого прогона с реальными (историческими) данными. Используя эвристический алгоритм, оптимизатор предлагает новую комбинацию значений параметров для каждого последующего прогона модели. После выполнения указанного количества прогонов, эксперимент выберет значения параметров, при которых результаты моделирования были наиболее близки к реальной ситуации.
- Эксперимент калибровки AnyLogic использует встроенный оптимизатор OptQuest, разработанный компанией OptTek Systems, Inc.

Вначале добавим в модель исторические данные: проведенные в реальной жизни ежедневные измерения количества заболевших людей во время вспышки эпидемии. Эти данные хранятся в текстовом файле в виде таблицы, и мы сможем построить по этим данным график динамики распространения заболевания с помощью табличной функции AnyLogic.

Табличная функция

- Табличная функция – это функция, данные которой заданы в табличном виде. Пользователь указывает несколько пар (аргумент, значение), и AnyLogic строит функцию, используя эти данные и заданный пользователем тип интерполяции.
- При вызове функции пользователь указывает значение аргумента функции, и она возвращает соответствующее этому аргументу значение. Если данный аргумент отсутствует в табличных данных, то для получения соответствующего ему значения функции используется интерполяция.
- С помощью табличных функций можно задавать сложные нелинейные зависимости, которые не могут быть описаны как сочетание стандартных функций. Также табличные функции могут использоваться для приведения заданных в табличном виде экспериментальных данных в непрерывный вид.

1. Откройте диаграмму Main и добавьте на нее **Табличную функцию** из палитры **Системная динамика**. Назовите эту функцию InfectiousHistory.
2. Откройте файл HistoricData.txt (или HistoricData.xlsx).
3. Скопируйте содержимое текстового файла в буфер обмена, затем перейдите в секцию свойств табличной функции **Табличные данные** и щелкните по кнопке **Вставить из буфера** . Столбцы таблицы **Аргумент** и **Значение** заполняются данными.
4. Откройте секцию свойств табличной функции **Предв. просмотр** и вы увидите кривую динамики распространения болезни, которая наблюдалась в реальной жизни.



Выше в свойствах, выберите 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**.

Поскольку мы выбрали опцию **Ближайший**, функция будет экстраполироваться, используя значения, заданные для крайних (минимального и максимального) допустимых аргументов. Это значит, что для всех аргументов слева (справа) от допустимой области аргументов, значение функции будет равно значению, которое она принимает в самой левой (правой) точке интервала своих аргументов. График в секции **Предв. просмотр** отображает текущие настройки интерполяции и экстраполяции табличной функции.

Дальнейшее создание эксперимента рассмотрите в устной форме, не выполняя практические задания.

Теперь мы готовы к созданию эксперимента.

- Щелкните правой кнопкой мыши по модели SEIR в панели **Проекты** и выберите из контекстного меню пункт **Создать > Эксперимент**. В окне мастера **Новый эксперимент** выберите **Калибровка** в секции **Тип эксперимента** и затем щелкните **Далее**.

- В случае эксперимента калибровки, настройка его параметров проводится прямо в окне Мастера создания эксперимента. Измените тип параметров, которые мы хотим калибровать (**Infectivity** и **ContactRateInfectious**), с фиксированного на **непрерывный**. Задайте минимальное (**Мин**) и максимальное (**Макс**) значения диапазона калибровки.

- Ведите следующую информацию в расположенную ниже таблицу критериев калибровки:

– **Заголовок:** Infectious curve match

– **Тип:** выберите из списка **набор данных**

– **Результат моделирования:**

root.InfectiousDS

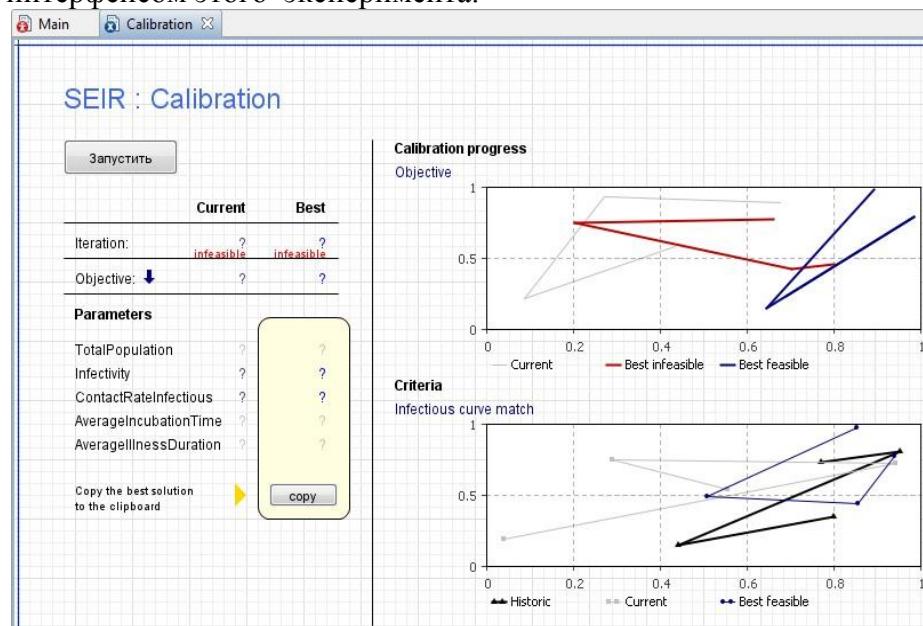
– **Реальные данные:** root.InfectiousHistory

– **Коэффициент:** 1,0

Агент верхнего уровня Main доступен здесь как root. Результаты работы нашей модели сохраняются в набор данных InfectiousDS. После окончания прогона модели хранящиеся в этом наборе данные будут сравниваться с данными из табличной функции InfectiousHistory.

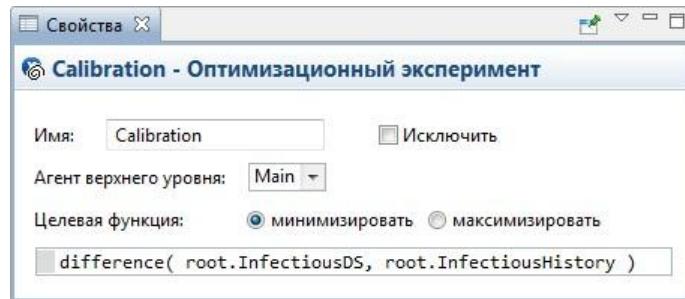
В нашей модели только один критерий калибровки, но их может быть и несколько, в таком случае вы можете присвоить критериям различные весовые коэффициенты.

- Щелкните по кнопке **Готово**. При этом откроется диаграмма эксперимента Calibration с созданным по умолчанию интерфейсом этого эксперимента.

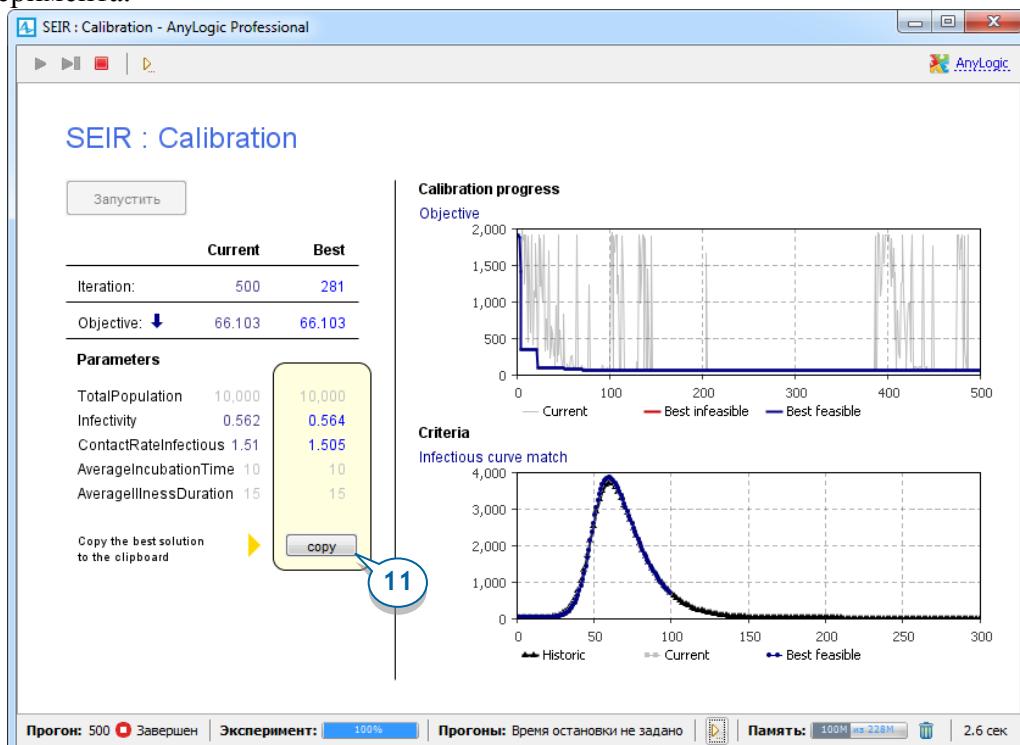


На рисунке ниже показаны свойства эксперимента.

Цель эксперимента – минимизировать различия между результатами моделирования и реальными (историческими) данными. Для определения оптимального результата используется метод наименьших квадратов.



9. Откройте секцию свойств **Специфические** и снимите флажок **Разрешить параллельное выполнение итераций**.
10. Запустите эксперимент: щелкните правой кнопкой мыши в панели **Проекты** по эксперименту Calibration и выберите **Запустить** из контекстного меню.
11. Когда эксперимент калибровки будет завершен, вы сможете скопировать полученные значения параметров, щелкнув по кнопке **copy**. Чтобы использовать скопированные значения параметров в нашем эксперименте Simulation, щелкните по кнопке **Вставить из буфера** на странице свойств этого эксперимента.



Найденные экспериментом калибровки значения параметров Infectivity и ContactRateInfectious будут подставлены в соответствующие поля.

Теперь мы можем провести эксперимент Simulation с откалиброванными параметрами и на этом завершить работу с данной моделью.

Контрольные вопросы

- Что такое «Накопители» в системной динамике? Приведите примеры.
- Что такое «Потоки» в системной динамике? Приведите примеры.
- Для чего используются связи зависимостей в системной динамике и как они устанавливаются? Почему в одних случаях линия связи пунктирная, а в некоторых случаях сплошная?
- Опишите циклы обратной связи, применяемые в системной динамике. Что показывает элемент  в программе AnyLogic?
- Определите, какие циклы присутствуют в моделируемой системе? Каких они типов?
- Как организуется эксперимент варьирования параметров в моделируемой системе?
- Для чего проводится калибровки параметров моделируемой системы? Опишите процедуру проведения калибровки модели.

Приложение 1. Содержание файла HistoricData.txt

| | | |
|---------|---------|-------|
| 2 1 | 102 615 | 202 1 |
| 4 1 | 104 546 | 204 1 |
| 6 2 | 106 484 | 206 1 |
| 8 2 | 108 428 | 208 1 |
| 10 3 | 110 379 | 210 1 |
| 12 5 | 112 335 | 212 0 |
| 14 7 | 114 296 | 214 0 |
| 16 10 | 116 261 | 216 0 |
| 18 15 | 118 230 | 218 0 |
| 20 21 | 120 203 | 220 0 |
| 22 31 | 122 179 | 222 0 |
| 24 45 | 124 158 | 224 0 |
| 26 65 | 126 139 | 226 0 |
| 28 93 | 128 122 | 228 0 |
| 30 134 | 130 108 | 230 0 |
| 32 191 | 132 95 | 232 0 |
| 34 272 | 134 83 | 234 0 |
| 36 384 | 136 73 | 236 0 |
| 38 537 | 138 64 | 238 0 |
| 40 740 | 140 56 | 240 0 |
| 42 1001 | 142 50 | 242 0 |
| 44 1324 | 144 43 | 244 0 |
| 46 1701 | 146 38 | 246 0 |
| 48 2114 | 148 34 | 248 0 |
| 50 2533 | 150 29 | 250 0 |
| 52 2923 | 152 26 | 252 0 |
| 54 3251 | 154 23 | 254 0 |
| 56 3495 | 156 20 | 256 0 |
| 58 3644 | 158 17 | 258 0 |
| 60 3703 | 160 15 | 260 0 |
| 62 3682 | 162 13 | 262 0 |
| 64 3596 | 164 12 | 264 0 |
| 66 3459 | 166 10 | 266 0 |
| 68 3287 | 168 9 | 268 0 |
| 70 3092 | 170 8 | 270 0 |
| 72 2884 | 172 7 | 272 0 |
| 74 2670 | 174 6 | 274 0 |
| 76 2457 | 176 5 | 276 0 |
| 78 2249 | 178 5 | 278 0 |
| 80 2049 | 180 4 | 280 0 |
| 82 1860 | 182 4 | 282 0 |
| 84 1682 | 184 3 | 284 0 |
| 86 1517 | 186 3 | 286 0 |
| 88 1364 | 188 2 | 288 0 |
| 90 1224 | 190 2 | 290 0 |
| 92 1096 | 192 2 | 292 0 |
| 94 979 | 194 2 | 294 0 |
| 96 874 | 196 1 | 296 0 |
| 98 778 | 198 1 | 298 0 |
| 100 692 | 200 1 | 300 0 |