

Лабораторная работа №3

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ
(ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ)**

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- изучить интерфейс и возможности пакета AnyLogic для построения имитационной модели системной динамики,
- научиться создавать и использовать модели системной динамики на примере модели распространения инноваций.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Согласно варианту, выданному преподавателем, смоделировать процесс продажи нового продукта в магазине, в который приходят потребители (клиенты). Построить имитационную модель системной динамики в среде Anylogic (рис.5.1), по которой необходимо:

- изучить динамику изменения численностей потребителей и потенциальных потребителей нового продукта;
- изучить интенсивность приобретения нового продукта;
- изучить различные составляющие потока и их влияние на результат продажи нового продукта.

Индивидуальные исходные данные приведены в таблице 5.1

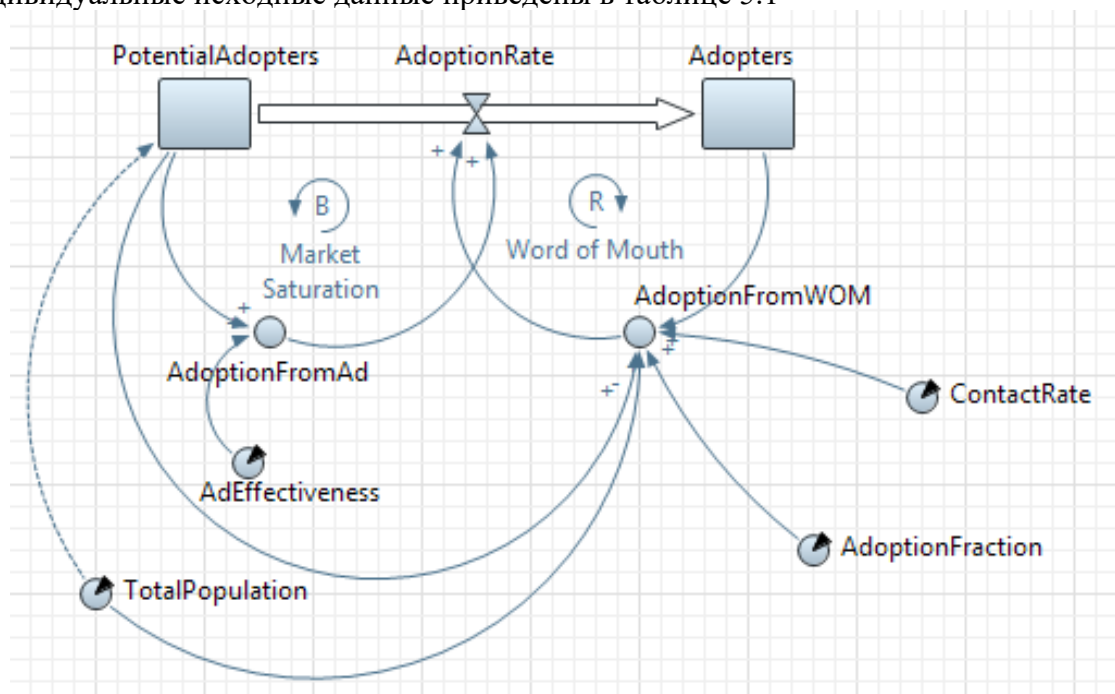


Рисунок 5.1 - Модель распространения инноваций

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом.
2. Создать имитационную модель системной динамики в среде AnyLogic для исследования процесса распространения нового продукта (рис 5.1).
3. Указать следующие зависимости параметров модели:

$$\frac{d(\text{ПотенциальныеКлиенты})}{dt} = -(\text{ПродажиИзЗаРекламы} + \text{ПродажиИзЗаУстнойРекламы})$$

;

$$\frac{d(\text{Клиенты})}{dt} = (\text{ПродажиИзЗаРекламы} + \text{ПродажиИзЗаУстнойРекламы});$$

$$\text{ПродажиИзЗаРекламы} = \text{ПотенциальныеКлиенты} \times \text{ЭффективностьРекламы};$$

$ПродажиИзЗаУстнойРекламы = Клиенты \times ЧастотаКонтактов \times$

$\times \frac{ПотенциальныеКлиенты}{ЧисленностьНаселения} \times ЭффективностьУстнойРекламы$

4. Внести индивидуальные исходные данные в созданную модель согласно варианту, выданному преподавателем (см. табл.5.1).

5. Провести анализ продаж нового продукта в магазине в соответствии с постановкой задачи. Сделать выводы.

6. Оформить отчет с описанием работы, графиками, диаграммами и необходимыми копиями экрана.

7. Продемонстрировать результаты работы преподавателю. Ответить на контрольные вопросы.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Имитационная модель - это компьютерная программа, которая описывает структуру и воспроизводит поведение реальной системы во времени. Имитационная модель позволяет получать подробную статистику о различных аспектах функционирования системы в зависимости от входных данных. Имитационное моделирование - разработка компьютерных моделей и постановка экспериментов на них. Целью моделирования в конечном счете является принятие обоснованных, целесообразных управленческих решений. Компьютерное моделирование становится сегодня обязательным этапом в принятии ответственных решений во всех областях деятельности человека в связи с усложнением систем, в которых человек должен действовать и которыми он должен управлять. Знание принципов и возможностей имитационного моделирования, умение создавать и применять модели являются необходимыми требованиями к инженеру, менеджеру, бизнес-аналитику.

Современные системы моделирования поддерживают весь арсенал новейших информационных технологий, включая развитые графические оболочки для целей конструирования моделей и интерпретации выходных результатов моделирования, мультимедийные средства, анимацию в реальном масштабе времени, объектно-ориентированное программирование, Internet - решения и др.

Динамические системы – это сложные объекты, поведение которых описывается системами алгебраических и дифференциальных уравнений, а также событиями, меняющими либо среду, либо модель, либо даже саму структуру системы. К этому классу относятся системы управления, системы обработки сигналов, а также физические объекты, объекты химической технологии и т. п.

Системная динамика – парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере. Такой вид моделирования помогает понять суть происходящего выявления причинно- следственных связей между объектами и явлениями. Системная динамика применяется для решения производственных, организационных и социально- экономических задач.

Системная динамика как метод имитационного моделирования включает в себя:

- структуризацию объекта;
- построение системной диаграммы объекта, где указываются связи между элементами;
- определение переменных для каждого элемента и темпов их роста;
- принятие гипотез о зависимости каждого темпа роста от переменных и формальное описание этих гипотез;
- процесс оценки введенных параметров с помощью имеющейся статистики.

Модель распространения инноваций (модель жизненного цикла продукта)

Модель представляет собой динамику процесса превращения потенциальных покупателей (потребителей) нового продукта (Potential_Adopters) во владельцев продукта (Adopters). Изначально продукт никому не известен, и для того, чтобы люди начали его приобретать, он рекламируется. В итоге люди покупают продукт либо под воздействием рекламы, либо узнав о нем от знакомых, по «сарафанному радио». Эффективность рекламы

Для описания модели в терминах системной динамики необходимо определить ключевые переменные модели и их влияние друг на друга, а затем создать потоковую диаграмму модели. При создании потоковой диаграммы нужно учесть, какие переменные должны быть представлены накопителями, какие потоками, а какие – вспомогательными переменными.

Потоки – это активные компоненты системы, они изменяют значения накопителей. В свою очередь, накопители системы определяют значения потоков.

При создании потоковой диаграммы выявляются переменные, которые накапливают значения с течением времени. В данной модели численности потребителей и потенциальных потребителей продукта являются накопителями, а процесс приобретения продукта – потоком.

The diagram illustrates the dynamics of product adoption through a stock-and-flow model and causal loops. At the top, a horizontal line represents a stock, with a valve symbol in the center. To the left of the stock is a purple square labeled 'Potential Customers' (Потенциальные потребители) and to the right is another purple square labeled 'Customers' (Потребители). A solid arrow points from the stock to the 'Customers' stock, and a dashed arrow points from the 'Customers' stock back to the 'Potential Customers' stock. Below the stock, two purple circles represent intermediate states. The left circle is labeled 'Adoption from Advertising' (Приобретения под влиянием рекламы) and the right circle is labeled 'Adoption from Word of Mouth' (Приобретения под влиянием общения). Arrows point from these circles to the 'Adoption Rate' (Приобретение продукта) stock. The 'Adoption Rate' stock is connected to the 'Customers' stock by a solid arrow. Below the 'Adoption from Advertising' circle, an arrow points to it from the label 'Advertising Effectiveness' (Эффективность рекламы). Below the 'Adoption from Word of Mouth' circle, an arrow points to it from the label 'Contact Rate' (Частота контактов). Below the 'Adoption from Word of Mouth' circle, an arrow points to it from the label 'Adoption Fraction' (Сила убеждения). At the bottom, an arrow points from the 'Total Population' (Численность населения) stock to the 'Adoption from Word of Mouth' circle. The 'Total Population' stock is connected to the 'Customers' stock by a solid arrow. The 'Adoption Rate' stock is connected to the 'Total Population' stock by a solid arrow.

Краткий обзор среды AnyLogic

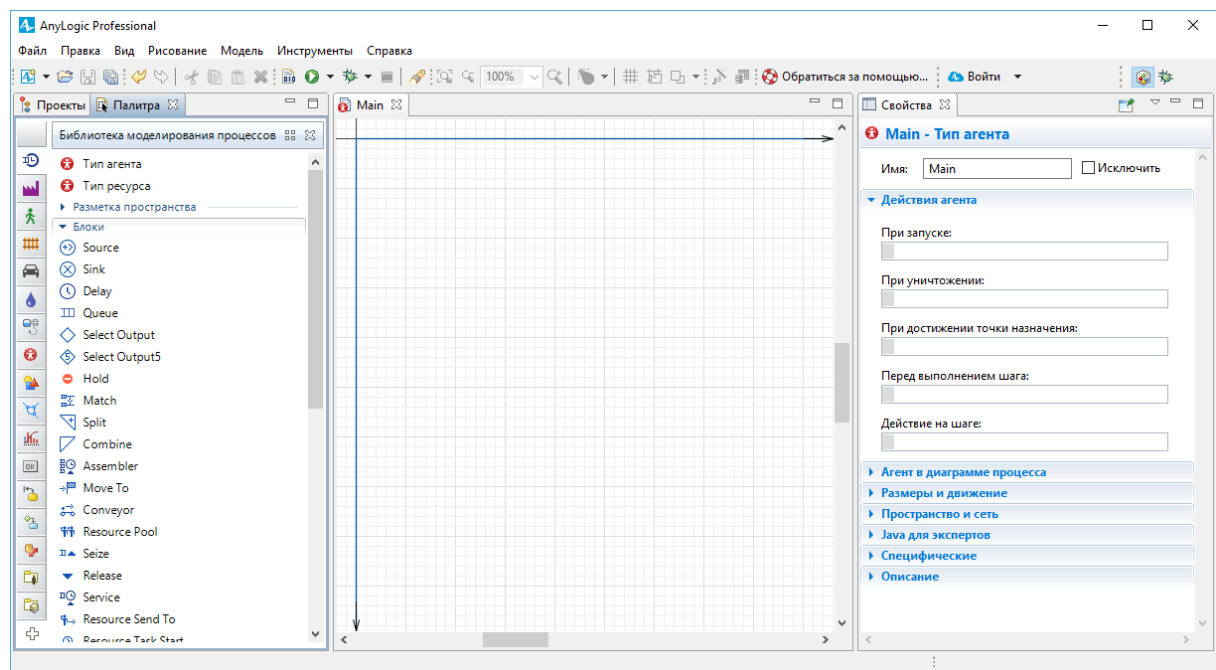
Программный продукт AnyLogic (рус. ЭниЛоджик) от российского разработчика The AnyLogic Company предназначено для моделирования, помогающее компаниям в области транспорта, производства, логистики, добывающей промышленности, цепочки поставок, здравоохранения и других отраслей тестировать и исследовать сценарии «что если» с помощью имитационного 2D-и 3D-моделирования. Программа предоставляет встроенные

библиотеки анимации, относящиеся к различным отраслям, позволяя охватить сложность практически любой системы на любом уровне детализации. Таким образом, модели AnyLogic позволяют аналитикам, инженерам и менеджерам получать более глубокое представление о взаимозависимых процессах внутри и вблизи организации и оптимизировать сложные системы и процессы в широком спектре отраслей.

Система AnyLogic позволяет аналитикам данных создавать имитационные модели с использованием различных методологий и языков моделирования, включая дискретно-событийное моделирование, агентную динамику, системную динамику, стохастическое моделирование, блок-схемы процессов, диаграммы состояний и диаграммы действий. Программный комплекс позволяет представлять визуальные модели с графическими объектами для визуализации транспортных средств, сотрудников, оборудования, зданий и других объектов в соответствии с бизнес-спецификациями. Встроенные ГИС-карты позволяют организациям искать и находить города, улицы, дороги, больницы, магазины и автобусные остановки для создания имитационных моделей. Платформа также предоставляет предварительно разработанные инструменты моделирования, такие как Монте-Карло, анализ чувствительности и эксперименты по изменению параметров.

Рабочая область AnyLogic

После создания новой модели на экране появится рабочая область с тремя панелями:



В центре рабочей области находится графический редактор структурной диаграммы типа агента Main.

В левой части рабочей области находятся панель **Проекты** и панель **Палитра**. Панель **Проекты** обеспечивает легкую навигацию по элементам моделей, открытых в текущий момент времени. Поскольку модель организована иерархически, то она отображается в виде дерева. Панель **Палитра** содержит разделенные по палитрам элементы, которые могут быть добавлены на диаграмму типа агента или эксперимента.

В закладке Проекты имеется один тип агента Main и эксперимент Simulation. Агенты - это главные строительные блоки модели AnyLogic. В нашем случае агент Main послужит местом, где мы зададим всю логику модели: процесс распространения нового продукта.





В правой рабочей области будет отображаться панель **Свойства**. Панель **Свойства** используется для просмотра и изменения свойств выбранного в данный момент элемента (или элементов) модели. Когда вы выделяете какой-либо элемент, например, в панели **Проекты** или графическом редакторе, панель **Свойства** показывает свойства выбранного элемента.

В центре рабочей области AnyLogic открывается графический редактор диаграммы

класса активного объекта *Main*.

Основные элементы AnyLogic для моделирование динамических систем

Для моделирования динамических систем AnyLogic предоставляет специальные элементы:

- потоки  - для одновременного увеличения величины одного элемента и уменьшения другого;
- параметр  - для задания статических характеристик;
- накопитель  - для дифференциальных уравнений;
- динамическая переменная  - для алгебраических формул.

Данные внутри модели могут задаваться с помощью параметров и переменных.

Параметры обычно используются для задания статических характеристик. Значение параметра обычно остается неизменным во время "прогона" модели. Если нужно создать в модели элемент данных, изменяющий свое значение по ходу моделирования, то лучше использовать переменную.

Обычно используются числовые параметры, хотя можно создавать параметры любого типа или Java класса.

Переменные обычно используются для моделирования изменяющихся характеристик агента или для хранения результатов работы модели. AnyLogic поддерживает два типа переменных – простые переменные и коллекции. Переменная представляет собой переменную любого скалярного типа или Java класса.

Если необходимо, чтобы значение переменной вычислялось согласно формуле, то это можно сделать с помощью Переменной. В этом случае нужно будет использовать другие элементы - переменные с палитры **Системная динамика**.

Если необходимо задать для переменной дифференциальное уравнение, то нужно использовать Накопитель.

Если необходима переменная, изменяющая свое значение согласно алгебраической формуле, то для этого можно использовать Динамическую переменную.

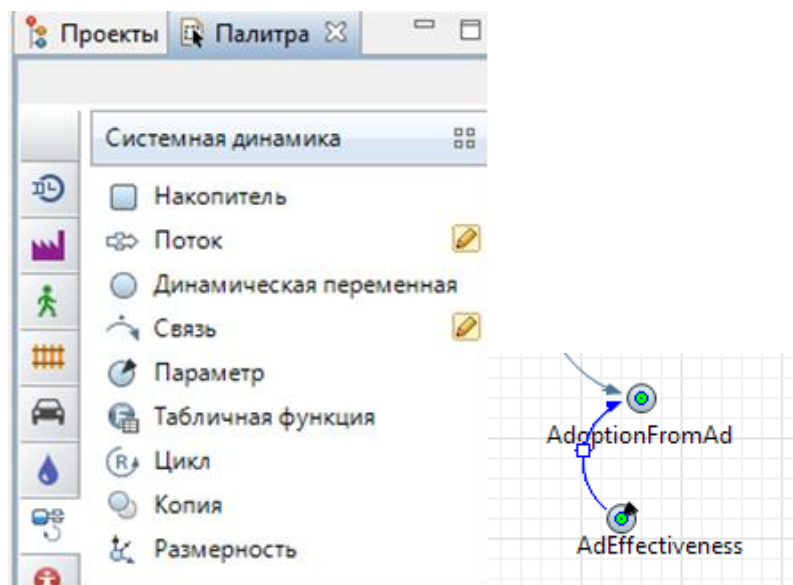
Добавление объектов на структурную диаграмму типа агента Main

Чтобы добавить объект щелкните по необходимому объекту в окне палитры **Библиотека моделирования процессов** и перетащите его мышью на структурную диаграмму типа агента Main. При этом его свойства будут отображены на панели «Свойства», где можно изменять свойства элемента в соответствии с требованиями вашей модели. Позднее для изменения свойств элемента нужно будет сначала щелчком мыши выделить его на диаграмме или в дереве проекта.

Соединение объектов модели между собой

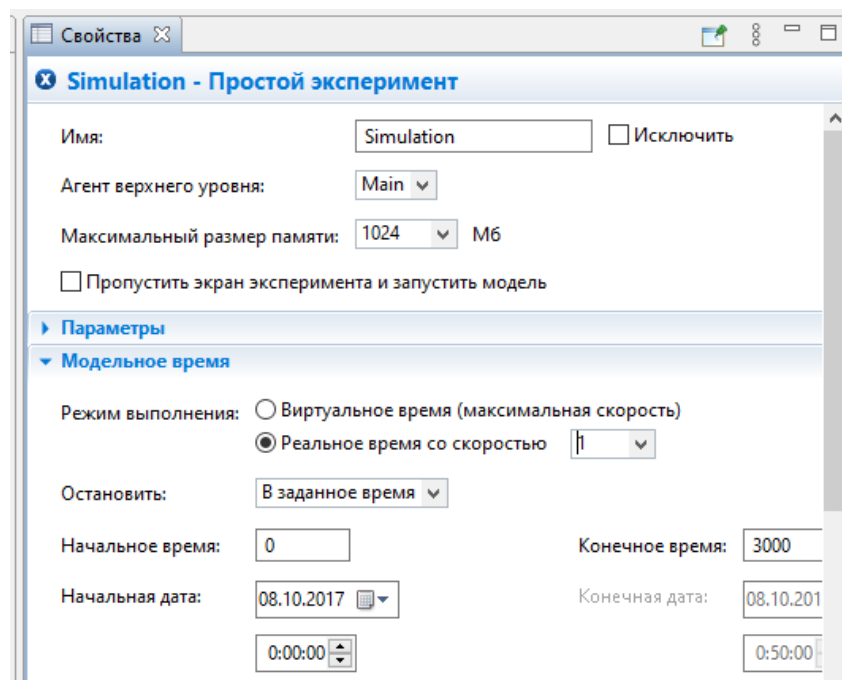
Объекты должны взаимодействовать между собой, поэтому необходимо соединять их друг с другом. Можно соединять объекты с помощью мыши, перетаскиванием порта одного объекта на порт другого или с помощью элемента «Связь».

Чтобы установить связь между переменными и параметрами необходимо в окне палиты **Системная динамика** нажать на элемент «Связь» и перетащить стрелку в окно модели, затем соединить ее концы с нужными составляющими модели.



Настройка эксперимента

Модель выполняется в соответствии с набором конфигурационных установок, называемым экспериментом. Вы можете создать несколько экспериментов и изменять рабочую конфигурацию модели, просто меняя текущий эксперимент модели. Один эксперимент, названный *Simulation*, создается автоматически. Выберите его щелчком мыши по элементу дерева и изучите настройки модели в окне **Свойства**. Окно **Свойства** имеет вкладки: основные, модельное время, презентация, окно, параметры, описание и др.



На вкладке **Простой эксперимент** можно выбрать класс, который будет запущен при запуске модели. По умолчанию в качестве корневого объекта выбран объект класса *Main*, автоматически создаваемого в каждой модели. Можно задать действие перед и после запуска модели, а также задать численные методы для прогона и точность получаемых значений.



На вкладке **Параметры** можно:

- 1) Задать единицу модельного времени.
- 2) Задать интервал времени моделирования.

На вкладке **Модельное время** можно определить вид и скорость выполнения прогона. В режиме реального времени задается связь модельного времени с физическим, т.е. задается количество единиц модельного времени, выполняемых в одну секунду. Режим реального времени лучше всего подходит для показа анимации. В режиме виртуального времени модель

выполняется без привязки к физическому времени – она выполняется так быстро, как это возможно. Данный режим лучше всего подходит, когда требуется моделировать работу системы в течение достаточно длительного периода времени.

Запуск модели

Чтобы запустить модель, нажмите кнопку **Запустить**  и выберите из открывшегося списка эксперимент, который Вы хотите запустить. До запуска модели необходимо ее построить с помощью кнопки панели инструментов **Построить модель**  (при этом в рабочей области AnyLogic должен быть выбран какой-то элемент именно этой модели). Если в модели есть какие-нибудь ошибки, то построение не будет завершено, и в панель **Ошибки** будет выведена информация об ошибках, обнаруженных в модели. Двойным щелчком мыши по ошибке в этом списке Вы можете перейти к предполагаемому месту ошибки, чтобы исправить ее.

Когда модель запущена, AnyLogic переключается в режим просмотра. В режиме просмотра можно управлять выполнением модели, просматривать значения переменных модели, строить графики переменных, динамически изменять значения параметров, и т.д.

Сохранение модели

При работе с моделью, не забывайте сохранять производимые Вами изменения с помощью кнопки панели инструментов **Сохранить модель**.

РАБОТА В СРЕДЕ ANYLOGIC

1. Анализ модели

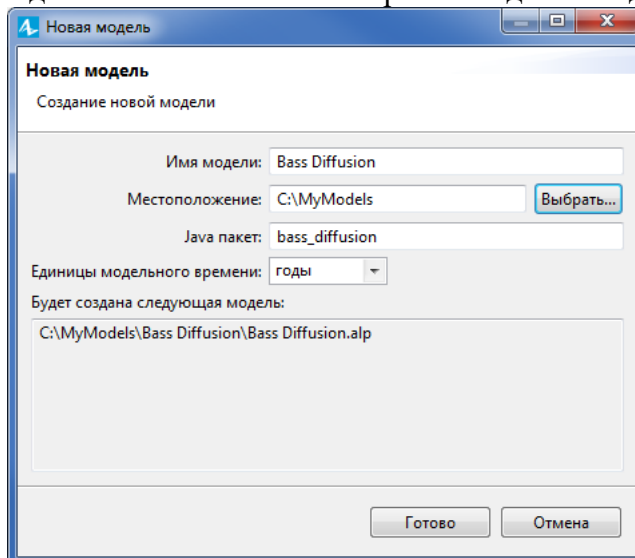
Вначале проанализируйте заданную модель, чтобы решить, как ее можно описать в терминах системной динамики. Определите ключевые переменные модели и то, как они влияют друг на друга, а затем создайте потоковую диаграмму модели. При создании потоковой диаграммы учитываются, какие переменные должны быть представлены накопителями, какие потоками, а какие – динамическими переменными.

При создании потоковой диаграммы выявите переменные, которые накапливают значения с течением времени. В заданной модели численности потребителей и потенциальных потребителей продукта являются накопителями, а процесс приобретения продукта – потоком. Стрелки обозначают причинно-следственные зависимости в модели.

2. Создание новой модели

- Создайте новую модель с именем Bass Diffusion.

Для создания новой модели в меню “Файл” выберем “Создать -Модель”:

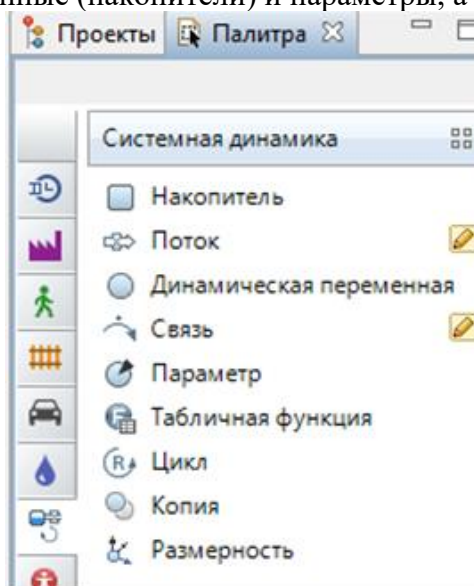


В поле имя модели введите “ Bass Diffusion ”, укажите нужное вам местоположение для хранения модели.

- Выберите *годы* в качестве Единиц модельного времени.

3. Создание накопителей

Для моделирования динамических систем понадобятся элементы библиотеки “Системная динамика” – переменные (накопители) и параметры, а также связи между ними.



Нужно решить, что использовать – параметры или переменные (накопители).

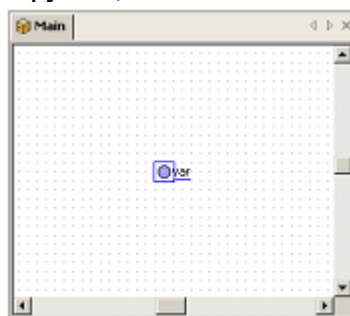
Параметр обычно используется для задания статических характеристик модели и обычно хранит одно и то же значение в течение всего "прогона" модели; это значение изменяется пользователем только в какие-то определенные моменты времени при желании изменить характеристики модели.

Переменные (накопители) обычно используются для моделирования изменяющихся характеристик объекта или для хранения результатов работы модели.

Чтобы создать переменную необходимо:

- Щелкнуть мышью по кнопке панели инструментов *Переменная*.
- Щелкнуть мышью в том месте диаграммы, куда Вы хотите поместить накопитель.

На диаграмме появится голубой кружок, обозначающий переменную.

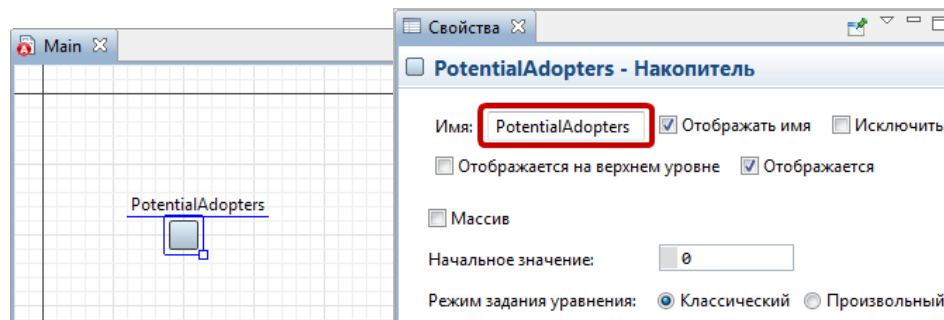


Когда Вы поместите элемент на структурную диаграмму, его свойства будут отображены в окне Свойства.

Чтобы задать переменным дифференциальные уравнения, необходимо выбрать в окне панели “Свойства” в поле “Режим задания уравнения” – “Произвольный”. В AnyLogic уравнения записываются в строку.

В заданной модели два накопителя – они моделируют численности потребителей и потенциальных потребителей продукта. Накопитель в AnyLogic задается с помощью одноименной переменной.

- Создайте накопитель для моделирования численности потенциальных потребителей. В поле Имя введите новое имя накопителя: PotentialAdopters.




- Создайте накопитель для моделирования численности потребителей. Поместите новый накопитель справа от накопителя PotentialAdopters, как показано на приведенном ниже рисунке. Назовите его Adopters.



🔒 Чтобы создать накопитель такого же размера, проще всего клонировать существующий накопитель, перетаскив его мышью с нажатой клавишей Ctrl (при этом свойства нового элемента будут теми же, что и у клонированного, но в данном случае это не важно, поскольку мы изменили только одно свойство накопителя - его имя).

На данный момент задание накопителей еще полностью не закончено. Позднее мы зададим начальные значения накопителей, а также интегральные формулы, согласно которым будут вычисляться их значения. Но вначале нам нужно создать поток приобретения продукта.

🔒 При работе с моделью не забывайте сохранять производимые Вами изменения с помощью кнопки панели инструментов Сохранить .

4. Добавление потока продаж продукта

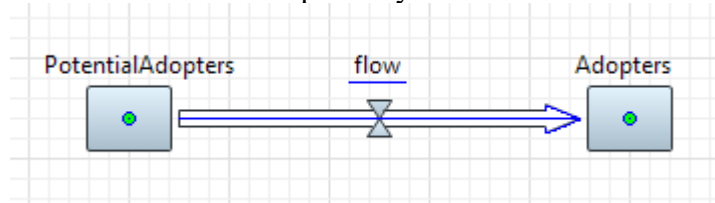
В заданной модели есть только один поток - поток продаж продукта, увеличивающий число потребителей продукта и уменьшающий численность потенциальных потребителей.

В AnyLogic поток задается переменной *поток*. Значение потока вычисляется в соответствии с заданной формулой.

- Добавьте поток, ведущий из накопителя PotentialAdopters в накопитель Adopters.

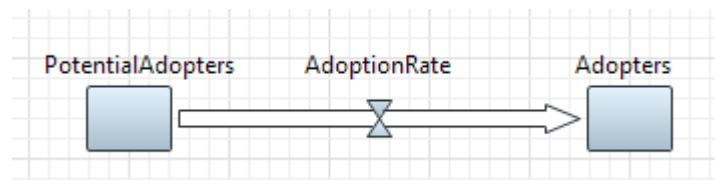
Сделайте двойной щелчок мышью по накопителю, из которого поток вытекает (PotentialAdopters), а затем щелкните по тому накопителю, в который он втекает (Adopters).

AnyLogic создаст новый поток и сделает его исходящим потоком для накопителя PotentialAdopters и входящим - для Adopters. Поток отображается в виде стрелки со значком вентиля посередине. Стрелка показывает направление потока - в данном случае поток будет уменьшать значение накопителя PotentialAdopters и увеличивать значение Adopters.

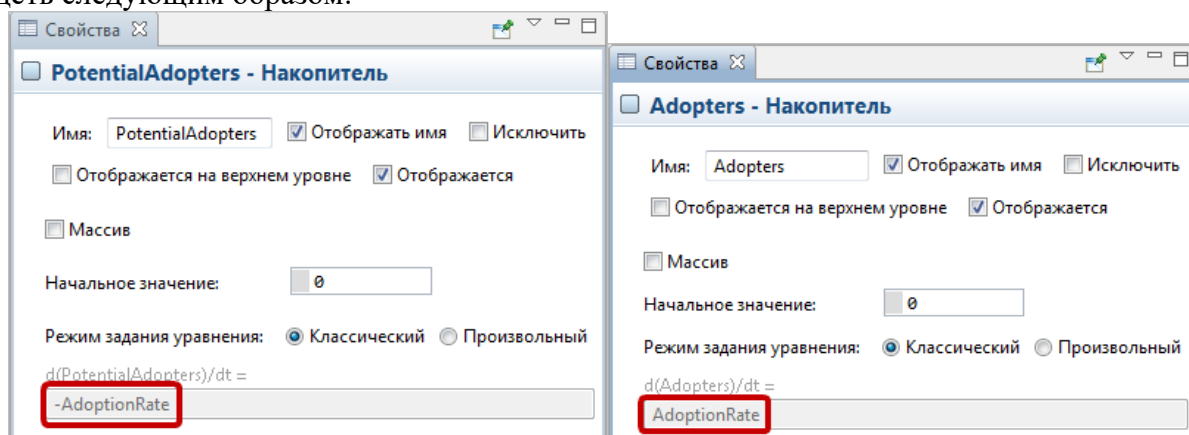


- Выделите стрелку созданного потока в графическом редакторе и измените имя потока на AdoptionRate (Процесс покупки).

В результате диаграмма потоков и накопителей должна будет выглядеть следующим образом:



Можете теперь взглянуть на свойства накопителей. Формулы накопителей должны выглядеть следующим образом:



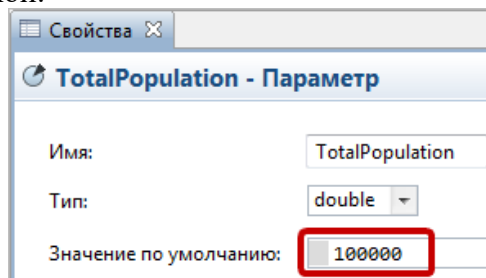
Эти формулы были автоматически заданы при добавлении потока. Значения входящих потоков, то есть потоков, которые увеличивают значение накопителя, прибавляются, а значения исходящих потоков, уменьшающих значение накопителя, вычитаются из текущего значения накопителя.

Формулу, согласно которой будет вычисляться значение потока, мы зададим чуть позднее.

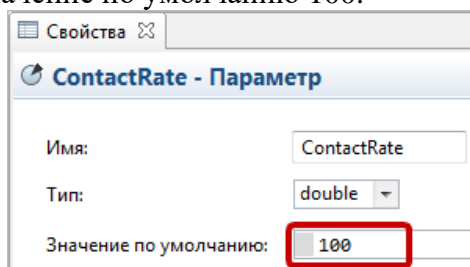
5. Задание констант

- Создайте константу, задающую общую численность населения. Перетащите элемент Параметр из палитры Системная динамика на диаграмму типа агентов. В панели Свойства задайте свойства этого параметра:

- измените имя параметра. Введите TotalPopulation в поле Имя.
- в поле Значение по умолчанию введите 100000. Пусть общая численность населения в нашей модели будет именно такой.



- Создайте константу ContactRate (частота, с которой потенциальные потребители общаются с потребителями). Предположим, что каждый человек в среднем встречается со 100 людьми в год. Введите в поле Значение по умолчанию 100.



- Создайте константу AdEffectiveness, задающую эффективность рекламы. Эффективность рекламы определяет, какая доля людей купит продукт вследствие ее влияния. Задайте значение по умолчанию 0.011

Свойства

AdEffectiveness - Параметр

Имя: AdEffectiveness

Тип: double

Значение по умолчанию: 0.011

- Создайте константу AdoptionFraction (эффективность устной рекламы или сила убеждения владельцев продукта, определяющая ту долю контактов, которая приводит к продажам продукта). Задайте значение по умолчанию 0.015.

Свойства

AdoptionFraction - Параметр

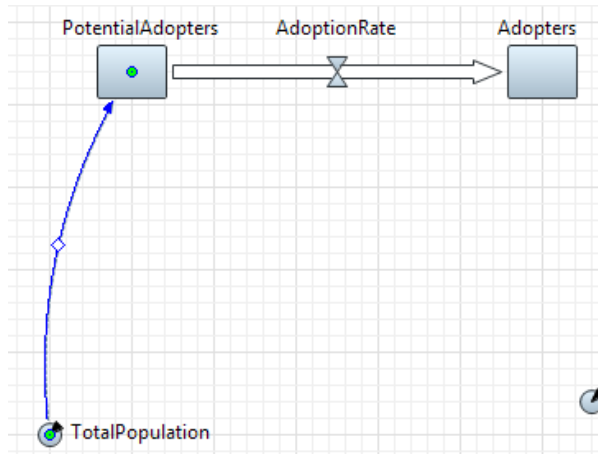
Имя: AdoptionFraction

Тип: double

Значение по умолчанию: 0.015

6. Задание начальных значений накопителей

Зададим общую численность людей в нашей модели (заданную параметром TotalPopulation) в качестве начального значения накопителя PotentialAdopters.



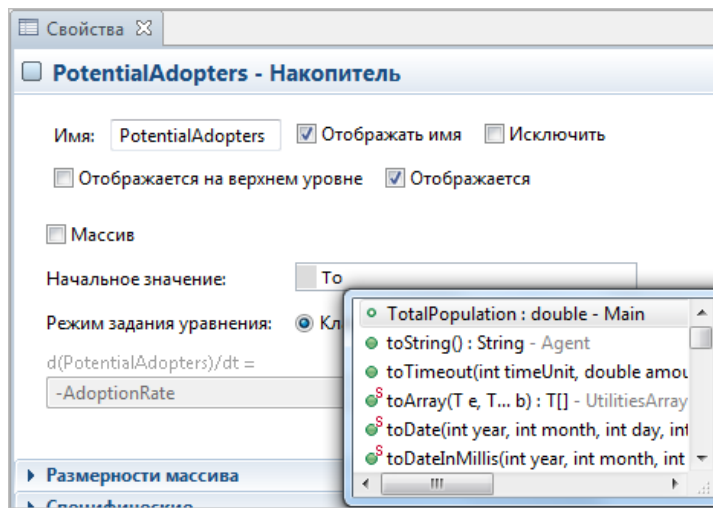
Когда Вы указываете какой-либо элемент в выражении начального значения накопителя, Вы должны вначале соединить этот элемент с накопителем с помощью связи. Связь позволяет явно задавать существующие зависимости между элементами диаграммы потоков и накопителей.

Обратите внимание, что нужно всегда рисовать связи именно в таком направлении - от независимой переменной к зависимой.

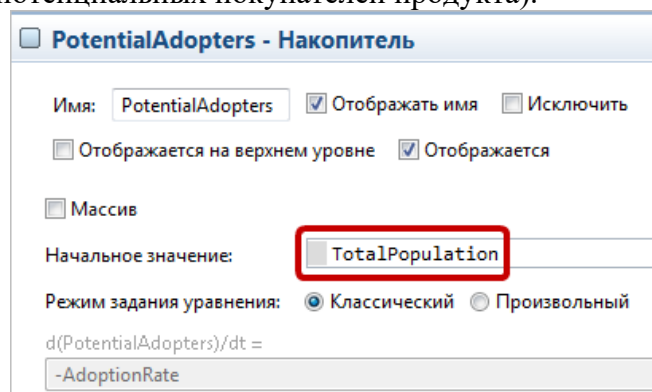
- Задайте начальное количество потенциальных потребителей продукта

В панели Свойства введите TotalPopulation в поле Начальное значение. Чтобы не печатать полностью имена функций и переменных в формулах, можете воспользоваться Мастером подстановки кода. Чтобы открыть Мастер, щелкните мышью в том месте поля (в нашем случае – поля Начальное значение, куда Вы хотите поместить имя, а затем нажмите Ctrl+пробел.

Появится окно Мастера подстановки кода, перечисляющего переменные модели и функции, доступные в текущем контексте. Прокрутите список к имени, которое Вы хотите вставить, или введите первые буквы имени, пока оно не будет выделено в списке. Двойным щелчком мыши по имени добавьте его в поле формулы.



В результате в поле Начальное значение должно быть добавлено имя параметра TotalPopulation, значение которого и будет определять начальное значение этого накопителя (начальную численность потенциальных покупателей продукта).



Начальное значение накопителя Adopters, моделирующего потребителей продукта, задавать не нужно, поскольку изначально число потребителей равно нулю, а накопитель по умолчанию и так инициализируется нулем.

7. Создание динамических переменных

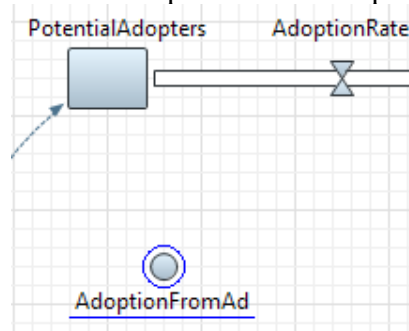
Нам нужно создать две динамические переменные, которые будут соответствовать двум составляющим потока приобретения продукта:

1. Приобретениям, совершенным под влиянием рекламы.
2. Приобретениям, совершенным под влиянием общения потребителей продукта с потенциальными потребителями.

- Создайте динамическую переменную AdoptionFromAd.

Перетащите элемент Динамическая переменная из палитры Системная динамика на диаграмму типа агентов.

В панели Свойства введите новое Имя переменной: AdoptionFromAd.

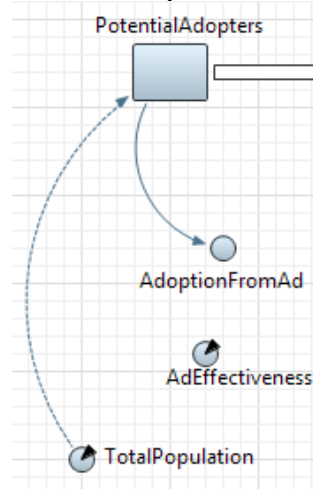


Задайте формулу для этой динамической переменной.

Влияние рекламы моделируется следующим образом: некий постоянный процент потенциальных клиентов $AdEffectiveness$ всё время становятся клиентами. Их доля в $AdoptionRate$ равна, соответственно, $PotentialAdopters * AdEffectiveness$.

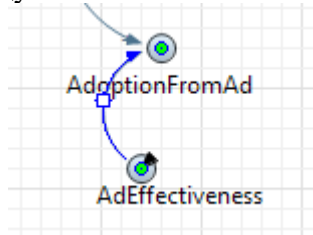
🔒 Опять, как и в случае составления выражения начального значения накопителя, когда какая-либо переменная задействована в формуле динамической переменной или потока, между этими переменными должна существовать связь.

- Добавьте связи от переменной $PotentialAdopters$ к зависимой от нее $AdoptionFromAd$



🔒 Вы могли заметить, что эта связь выглядит немного иначе, чем та, что ведет от $TotalPopulation$ к $PotentialAdopters$. Связи с переменными, упоминающимися в начальных значениях накопителей, рисуются пунктирными линиями, в то время как все остальные - сплошными.

- Добавьте еще одну связь, ведущую от $AdEffectiveness$ к $AdoptionFromAd$.



- Задайте формулу, согласно которой будет вычисляться значение переменной $AdoptionFromAd$. В свойствах переменной, в поле $AdoptionFromAd =$ введите: $AdEffectiveness * PotentialAdopters$ (Вы можете воспользоваться Мастером подстановки кода).

Свойства

AdoptionFromAd - Динамическая переменная

Имя: ☒ Отображать имя ☐ Исключить

☐ Отображается на верхнем уровне ☒ Отображается

☐ Массив ☐ Зависимая ☐ Константа

AdoptionFromAd =

🔒 Для тех, кто не знаком с классической моделью Диффузии по Бассу, давайте попробуем самостоятельно составить формулу интенсивности продаж продукта под влиянием устного общения потребителей продукта с теми, кто данный продукт еще не приобрел.

Мы делаем предположение, что в нашей модели человек может общаться с любым другим человеком.

Количество контактов человека в единицу времени (а под единицей времени в нашей модели подразумевается год) задается параметром $ContactRate$. Запишем $ContactRate$ в качестве первого сомножителя нашей формулы.

Количество людей, которые владеют продуктом, и могут убеждать остальных приобрести его, в нашей модели в каждый момент времени будет определяться значением накопителя Adopters, и поскольку каждый потребитель будет общаться в единицу времени с ContactRate людей, то количество контактов в единицу времени у всех потребителей продукта будет равно $\text{Adopters} * \text{ContactRate}$.

Теперь нужно учесть тот факт, что в результате общения не все те, кто еще не купил этот продукт, сразу побегут его покупать - если кого-то доводы своего знакомого, успешно пользующегося изучаемым нами продуктом, могут убедить, то кто-то может остаться к ним равнодушным, и своего решения не покупать продукт не изменить. Поэтому мы добавим в нашу формулу еще один сомножитель AdoptionFraction, задающий силу убеждения владельцев продукта, определяющую ту долю контактов, которая приводит к продажам продукта. Таким образом, наша формула приобретает вид $\text{Adopters} * \text{ContactRate} * \text{AdoptionFraction}$.

И наконец, нам нужно учесть, что на данный момент наша формула не учитывает того, что владельцы продукта будут общаться как с потенциальными потребителями, так и с теми, кто уже владеет продуктом. И общение с последними ни к каким новым продажам продукта не приведет. Поэтому нам нужно учесть в нашей формуле и вероятность того, что тот, с кем общался потребитель, ещё не владеет интересующим нас продуктом. Эта вероятность задается так: $\text{PotentialAdopters} / \text{TotalPopulation}$.

В итоге формула будет выглядеть следующим образом:

$\text{Adopters} * \text{ContactRate} * \text{AdoptionFraction} * \text{PotentialAdopters} / \text{TotalPopulation}$

Именно столько потенциальных потребителей будут приобретать продукт в единицу модельного времени под воздействием общения с владельцами этого продукта.

- Создайте динамическую переменную AdoptionFromWOM (*Продажа из-за устной рекламы*)

Задайте для этой переменной следующую формулу:

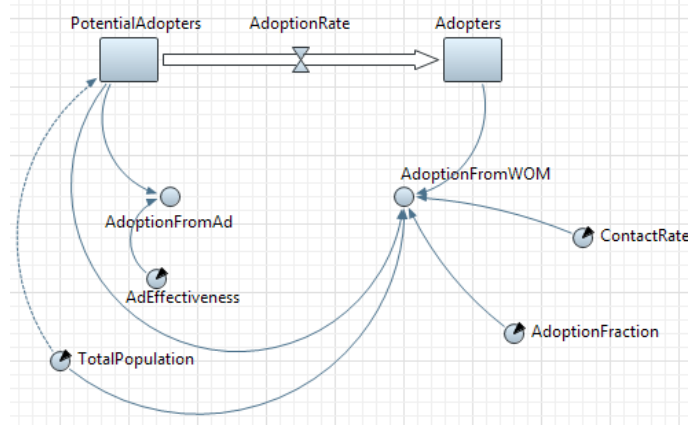
$\text{ContactRate} * \text{AdoptionFraction} * \text{PotentialAdopters} * \text{Adopters} / \text{TotalPopulation}$



Вам может показаться утомительным рисовать связи для задействованных в формулах переменных и параметров. Чтобы облегчить этот процесс, AnyLogic предлагает пользователям механизм быстрого исправления ошибок, связанных с отсутствующими или избыточными связями. Когда Вы зададите указанную формулу, то щелкнув в этом поле Вы увидите индикатор ошибки:

Щелкните мышью по индикатору. Вы увидите контекстное меню, состоящее из пунктов Добавить отсутствующую связь для: Поочередно щелкнув по всем этим пунктам, Вы добавите на диаграмму все недостающие связи.

В итоге у Вас должна будет получиться диаграмма следующего вида:



- Задайте формулу потока приобретения продукта

Значение потока определяется суммой двух его независимых составляющих – продаж в результате рекламного влияния и продаж под влиянием общения с потребителями продукта.

Выделите поток **AdoptionRate** щелчком мыши. Перейдите в панель Свойства. Введите правую часть формулы, по которой будет вычисляться значение потока, в поле **AdoptionRate=** $\text{AdoptionFromAd} + \text{AdoptionFromWOM}$. Добавьте соответствующие связи от этих переменных к потоку **AdoptionRate**.

AdoptionRate - Поток

Имя:

☒ Отображать имя
 ☐ Исключить

☐ Отображается на верхнем уровне
 ☒ Отображается

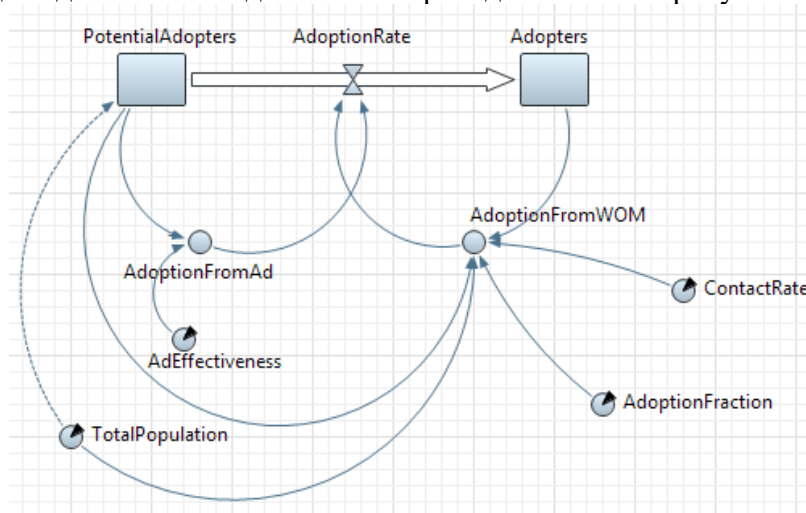
☐ Массив
 ☐ Зависимая
 ☐ Константа

AdoptionRate =

AdoptionFromAd + AdoptionFromWOM

8 Проверка правильности связей

Созданная модель должна выглядеть как на приведенном ниже рисунке:



Связи имеют полярность, положительную или отрицательную:

- **Положительная связь** означает, что два элемента системной динамики изменяют свои значения в одном направлении, т.е. если значение элемента, из которого направлена связь, уменьшается, значение другого элемента уменьшается тоже. Аналогично, если увеличивается значение одного элемента, то и значение зависимого от него элемента увеличивается тоже.

- **Отрицательная связь** означает, что два элемента системной динамики изменяют свои значения в противоположных направлениях, т.е. если значение элемента, из которого направлена связь, уменьшается, то значение другого элемента увеличивается, и наоборот.

Вы можете добавить рядом со связями метки, которые будут обозначать полярность этих связей. Обычно полярность обозначается с помощью символов +/- рядом со стрелкой связи. Таким образом, Вы можете показать, как зависимая переменная изменяет свое значение при изменении значения независимой переменной.

- Проставьте полярности у связей

Чтобы отобразить у связи значок полярности, выделите связь и выберите нужный символ (+ или -) из группы кнопок Полярность в панели свойств связи:

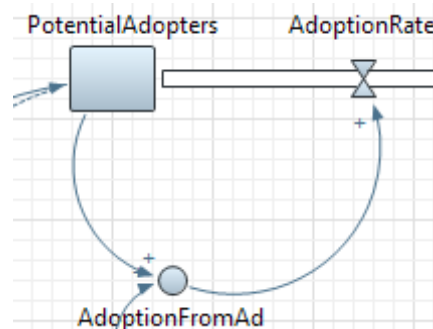
Здесь же при желании можно изменить и цвет линии связи, а также ее толщину.

В нашей заданной модели все связи, за исключением той, что ведет от TotalPopulation к AdoptionFromWOM, имеют положительную полярность.

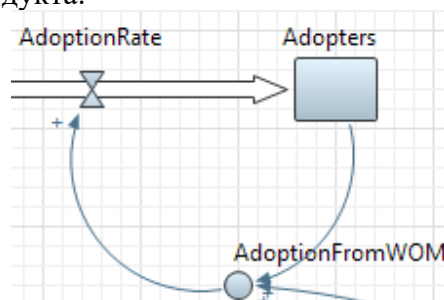


Можно увидеть, что созданная модель содержит два цикла с обратной связью: один компенсирующий и один усиливающий.


• *Компенсирующий цикл с обратной связью* воздействует на поток приобретения продукта, вызванный рекламой. Поток приобретения продукта сокращает число потенциальных потребителей, что в свою очередь приводит к снижению интенсивности приобретения продукта.

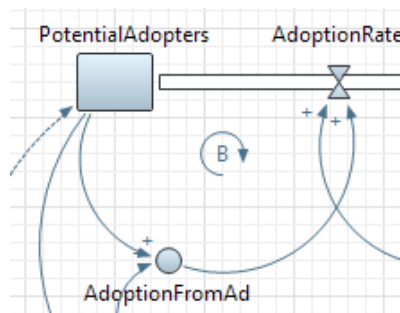


• *Усиливающий цикл с обратной связью* воздействует на поток приобретения продукта, вызванный общением с потребителями продукта. Поток приобретения продукта увеличивает численность потребителей продукта, что приводит к росту интенсивности приобретения продукта под влиянием общения с потребителями продукта, и следовательно к росту интенсивности приобретения продукта.



- Добавьте идентификатор цикла, вызывающего насыщение рынка

Перетащите элемент Цикл  из палитры Системная динамика на графическую диаграмму, как показано на рисунке ниже:



Перейдите в панель Свойства, чтобы изменить свойства цикла.

Задайте Направление цикла - этот цикл направлен Против часовой стрелки.

В поле Текст введите краткое описание этого цикла, объясняющее его смысл: *Market Saturation* (или *Насыщение рынка*). Этот текст будет показан на презентации.

Из группы кнопок Тип выберите символ, который будет отображаться для данного цикла. Выберите символ B (обозначающий *Balancing*, то есть компенсирующий цикл).

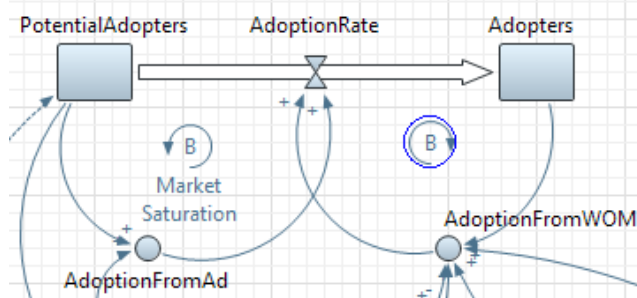
🔒 Чтобы определить, является ли цикл усиливающим или уравнивающим, Вы можете начать с предположения, что, например значение переменной A увеличивается, и проследить за изменением значений входящих в цикл переменных.

Цикл является:

- *усиливающим*, если после прохождения по циклу Вы видите тот же результат, что был допущен при начальном предположении (в нашем случае - увеличение значения).
- *уравнивающим* или *компенсирующим*, если результат противоречит начальному предположению.

- Добавьте идентификатор для цикла, задающего общение людей друг с другом

Добавьте еще один идентификатор цикла, как показано на рисунке ниже:

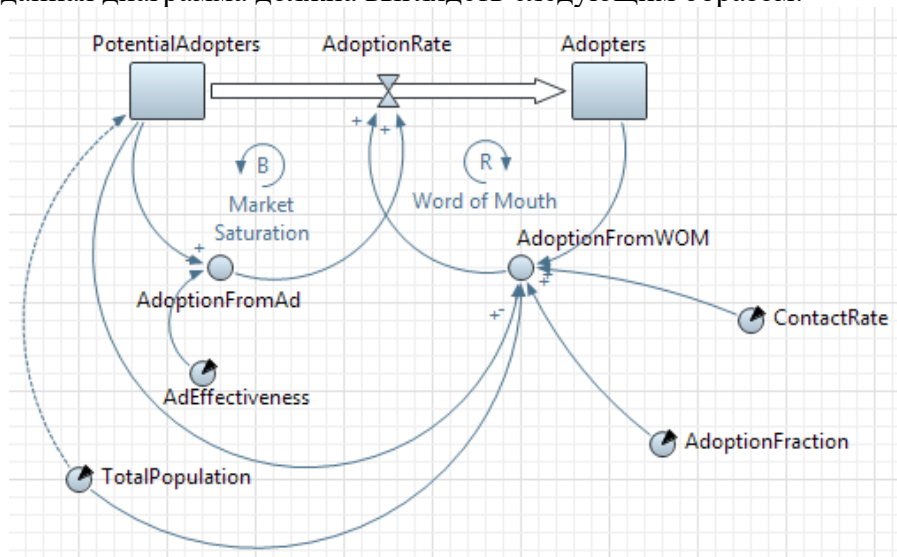


Этот цикл соответствует общению людей друг с другом. Он является усиливающим, поэтому выберите для него символ R (обозначающий усиливающий, *Reinforcing* цикл)

Задайте *Word of Mouth* (или *Устное общение*) в качестве текста.

Задайте Направление цикла - этот цикл направлен По часовой стрелке.

В итоге созданная диаграмма должна выглядеть следующим образом:

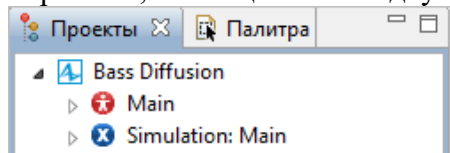


9. Настройка запуска модели



Вы можете сконфигурировать выполнение модели в соответствии с Вашими требованиями. Модель выполняется в соответствии с набором установок, задаваемым специальным элементом модели - *экспериментом*.

В панели Проекты эксперименты отображаются в нижней части дерева модели. Один эксперимент, названный *Simulation*, создается по умолчанию. Это простой эксперимент, позволяющий запускать модель с заданными значениями параметров, поддерживающий режимы виртуального и реального времени, анимацию и отладку модели.



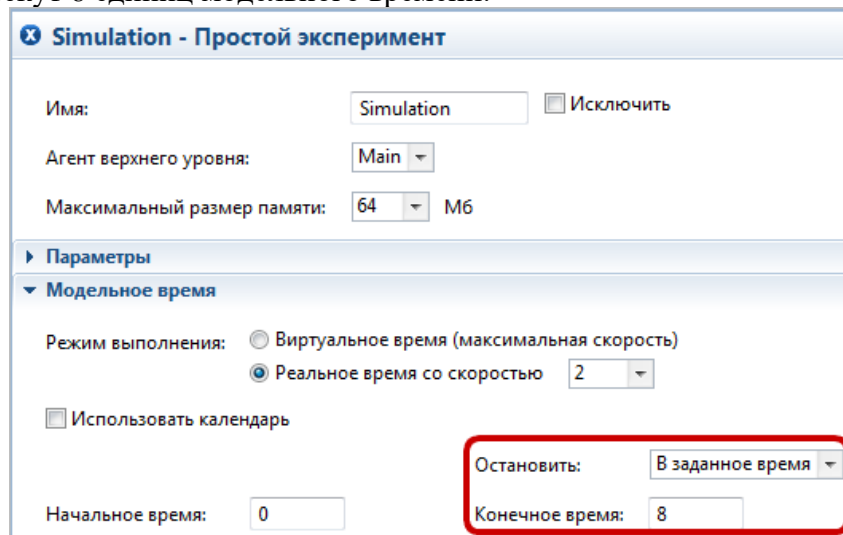
Существуют также и другие типы экспериментов (оптимизационный эксперимент, эксперимент для оценки рисков, эксперимент для варьирования параметров), которые используются в тех случаях, когда параметры модели играют существенную роль, и требуется проанализировать, как они влияют на поведение модели, или когда нужно найти оптимальные значения параметров модели.

- Задайте остановку модели по прошествии 8 единиц модельного времени

Если мы сейчас запустим модель, то она будет моделироваться бесконечно, пока мы сами не остановим ее выполнение. Поскольку мы хотим наблюдать поведение модели только тогда, когда происходит процесс распространения продукта, нам нужно остановить модель, когда система придет в точку равновесия. Процесс распространения продукта в этой модели длится примерно 8 лет.

В панели Проекты, выделите эксперимент Simulation:Main щелчком мыши.

В секции Модельное время панели Свойства, выберите В заданное время из выпадающего списка Остановить. В расположенном ниже поле введите 8. Модель остановится после того, как истекнут 8 единиц модельного времени.



- Задайте выполнение модели в режиме реального времени




Перед тем, как запустить модель, необходимо выбрать режим ее выполнения. Модель AnyLogic может выполняться либо в режиме виртуального, либо в режиме реального времени.

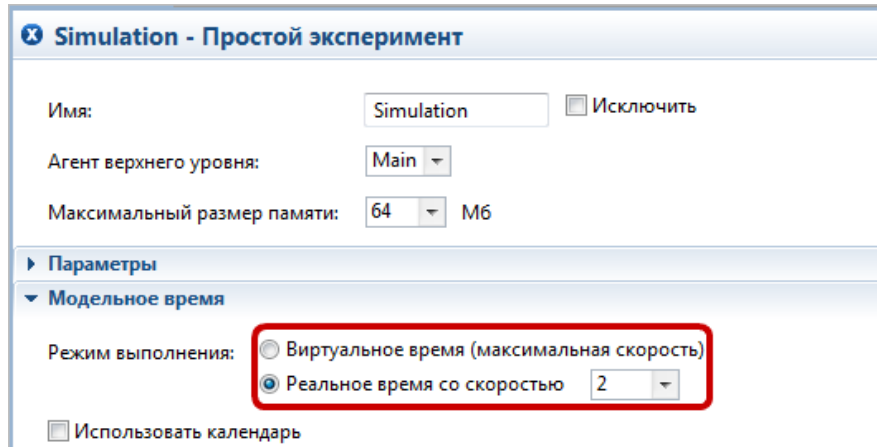
В *режиме виртуального времени* модель выполняется без привязки к физическому времени – она просто выполняется настолько быстро, насколько это возможно. Этот режим лучше всего подходит в том случае, когда требуется моделировать работу системы в течение достаточно длительного периода времени.

В *режиме реального времени* задается связь модельного времени с физическим, то есть задается количество единиц модельного времени, выполняемых в одну секунду. Это часто


требуется, когда Вы хотите, чтобы анимация модели отображалась с той же скоростью, что и в реальной жизни.

- В панели Проекты, выделите эксперимент Simulation:Main щелчком мыши. Перейдите в секцию Модельное время и выберите опцию Реальное время со скоростью.

 Задайте скорость выполнения модели, т.е., сколько единиц модельного времени будет соответствовать одной секунде реального времени. Выберите в выпадающем списке справа, скажем, 2.



- Увеличьте частоту сбора данных для динамических переменных

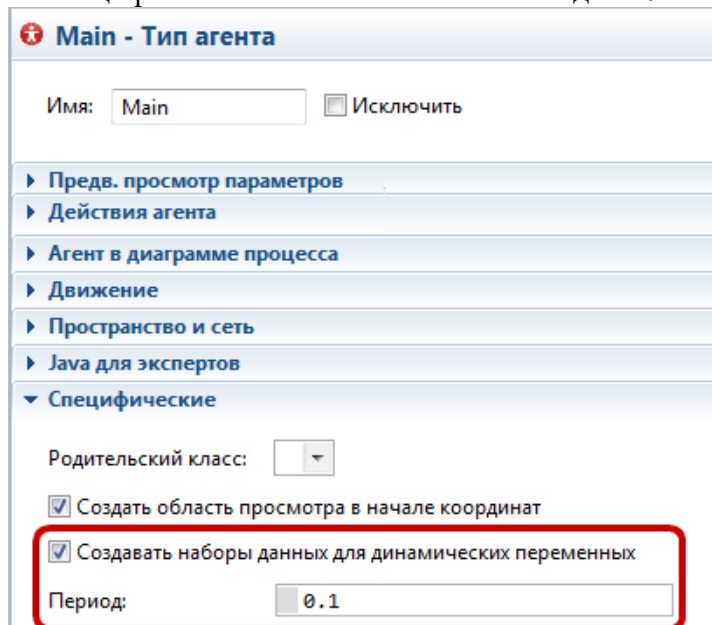
 Во время моделирования будут изучаться значения переменных, и просматриваться графики, демонстрирующие, как менялись их значения по ходу моделирования.

Для этого нам даже не понадобится добавлять и конфигурировать диаграммы - мы воспользуемся специальной возможностью AnyLogic - *окнами инспекта*. Дело в том, что AnyLogic автоматически запоминает значения, принимаемые динамическими переменными по ходу моделирования, в специально создаваемых для этого наборах данных. И значения этих наборов данных можно легко просмотреть в окнах инспекта, которые доступны в режиме запуска модели.


- Все, что мы хотим изменить - это увеличить частоту сбора таких данных. По умолчанию новые значения переменных добавляются в наборы данных каждую единицу модельного времени. Мы же хотим, чтобы данные собирались, скажем, в 10 раз чаще.

В панели Проекты, сделайте двойной щелчок по элементу Main.

Перейдите в секцию Специфические панели Свойства и введите 0.1 в поле Период.



10. Запуск модели

Постройте Вашу модель с помощью кнопки панели инструментов Построить модель  (при этом в рабочей области AnyLogic должен быть выбран какой-то элемент именно этой


модели). Если в модели есть какие-нибудь ошибки, то построение не будет завершено, и в панель Ошибки будет выведена информация об ошибках, обнаруженных в модели. Двойным щелчком мыши по ошибке в этом списке Вы можете перейти к предполагаемому месту ошибки, чтобы исправить ее.

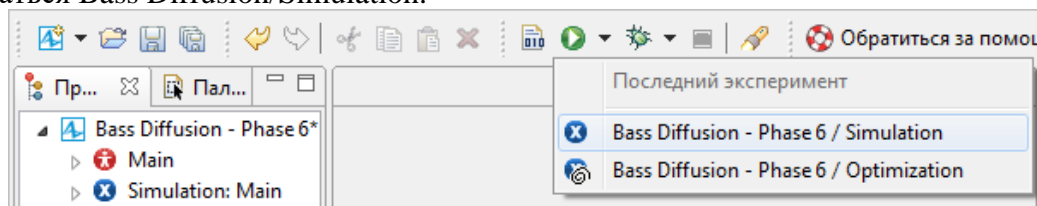
	Описание	Местоположен
✖	Соединенная связью переменная ContactRate ...	Bass Diffusion -
✖	Соединенная связью переменная AdoptionFra...	Bass Diffusion -




Панель Ошибки

После того, как Вы исправите все ошибки и успешно постройте Вашу модель, Вы можете ее запустить.

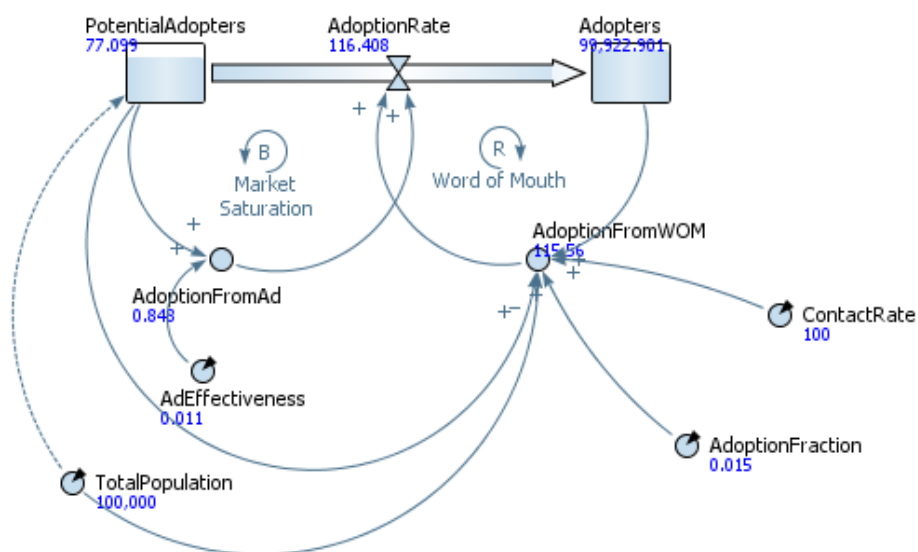
- Запустите модель


Щелкните мышью по кнопке панели инструментов Запустить  и выберите из открывшегося списка эксперимент, который Вы хотите запустить. Эксперимент этой модели будет называться Bass Diffusion/Simulation.



 В дальнейшем по нажатию на кнопку Запустить  (или по нажатию F5) будет запускаться тот эксперимент, который запускался Вами в последний раз. Чтобы выбрать какой-то другой эксперимент, Вам будет нужно щелкнуть мышью по стрелке, находящейся в правой части кнопки Запустить  и выбрать нужный Вам эксперимент из открывшегося списка (или щелкнуть правой кнопкой мыши по этому эксперименту в панели Проекты и выбрать Запустить из контекстного меню).

Запустив модель, Вы увидите окно презентации этой модели. В нем будет отображена презентация запущенного эксперимента. Вы увидите диаграмму потоков и накопителей. Рядом с каждым элементом будет отображаться его текущее значение.



 AnyLogic поддерживает различные инструменты для сбора, отображения и анализа данных во время выполнения модели. Простейшим способом просмотра текущего значения и истории изменения значений переменной или параметра во время выполнения модели является использование окна инспекта.

- Исследуйте динамику обеих составляющих потока продаж

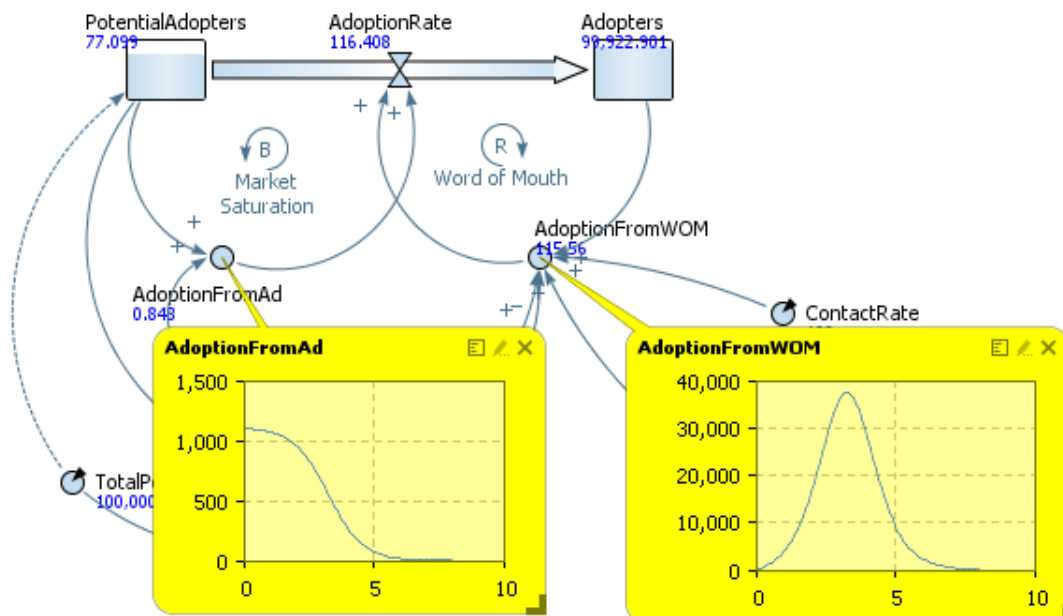
Щелкните мышью по переменной AdoptionFromAd в окне презентации. Появится желтое окошко - окно «инспекта». При желании Вы можете передвинуть это окно, перетаскив его мышью за заголовок. Изменить размер можно перетаскив мышью нижний правый угол окна.

По умолчанию окно инспекта находится в режиме инспекта - оно отображает текущее значение переменной. Вы можете переключить окно в режим графика, при этом оно будет отображать временной график изменений значения переменной с течением модельного времени. Текущее значение переменной также отображается и в этом режиме (рядом с началом координат графика). Окно инспекта автоматически масштабируется таким образом, чтобы полностью вместить кривые графиков от начала до конца периода моделирования.



Обычно окна инспекта используются только для беглого ознакомления с протекающими в модели процессами, для более тщательной визуализации и анализа данных используются диаграммы и объекты сбора статистики, расположенные на палитре Статистика. С помощью этих элементов Вы можете добавлять на презентацию любые графики, диаграммы и гистограммы и вести статистический анализ собранных данных.

- Аналогичным образом откройте окно инспекта переменной AdoptionFromWOM и переключите его в режим графика.

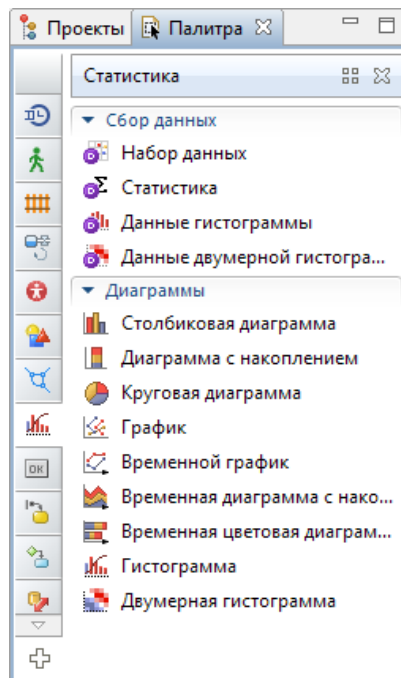


Теперь мы можем увидеть, что при внедрении нового продукта на рынок, когда число потребителей равно нулю, реклама будет являться единственным источником продаж. Наибольший рекламный эффект отмечается в начале процесса распространения продукта; он неуклонно падает по мере уменьшения численности потенциальных потребителей.

11. Добавление диаграмм



Как мы уже отмечали ранее, AnyLogic поддерживает различные инструменты для сбора, отображения и анализа данных во время выполнения модели. Простейшим способом просмотра истории изменения значений переменной во время выполнения модели является использование окна инспекта. Для более тщательной визуализации и анализа данных используются *диаграммы* и *объекты сбора данных*, расположенные на палитре Статистика.

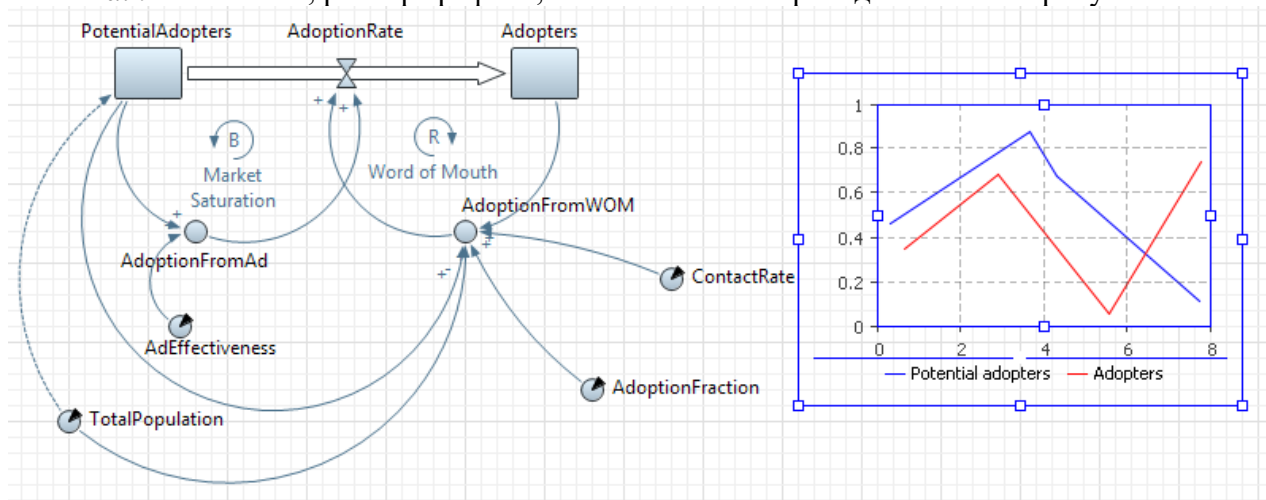


С помощью этих элементов Вы можете добавлять на презентацию любые графики, диаграммы и гистограммы и вести статистический анализ собранных данных.

Давайте добавим диаграммы, с помощью которых мы будем изучать, как изменяются со временем численности потребителей и потенциальных потребителей продукта, а также как изменяется интенсивность продаж продукта.

- Добавьте график, отображающий динамику изменения численностей потребителей и потенциальных потребителей продукта

Перетащите элемент Временной график из палитры Статистика на диаграмму типа агента *Main* и измените, размер графика, как показано на приведенном ниже рисунке:



Перейдите в панель Свойства. Добавьте элементы данных, историю изменения значений которых Вы хотите отображать на этом временном графике, в секции Данные.

Чтобы добавить новую секцию свойств, в которой задаются свойства отображаемого на графике элемента данных, щелкните мышью по кнопке Добавить элемент данных.

Задайте выражение, результат вычисления которого будет отображаться на графике. Мы хотим отображать численность потенциальных потребителей, поэтому введите в поле Значение имя соответствующего накопителя: PotentialAdopters.

В поле Заголовок введите Potential adopters. Эта строка будет отображаться в легенде диаграммы для этого элемента данных.

Аналогично добавьте на график еще один элемент данных, который будет отображать значение накопителя Adopters (если у Вас возникнут вопросы, то Вы можете свериться с расположенным ниже рисунком):

plot - Временной график

Имя: ☐ Исключить ☒ Отображается на верхнем уровне

▼ Данные

☒ Значение ☐ Набор данных Заголовок:

Значение:

Стиль маркера: Толщина линии:

Цвет:

☒ Значение ☐ Набор данных Заголовок:

Значение:

Стиль маркера: Толщина линии:

Цвет:

В поле Временной диапазон секции свойств Масштаб задайте диапазон временной оси диаграммы (количество единиц модельного времени (N), для которого будут отображаться значения переменной): 8. Диаграмма будет отображать график только для заданного временного интервала (равного в нашем случае длительности периода моделирования).

Измените частоту обновления графика новыми данными в секции свойств Обновление данных. Введите 0.1 в поле Период для опции Обновлять автоматически.

plot - Временной график

Имя: ☐ Исключить ☒ Отображается на верхнем уровне

► Данные

▼ Обновление данных

☒ Обновлять данные автоматически
☐ Не обновлять данные автоматически

Период:

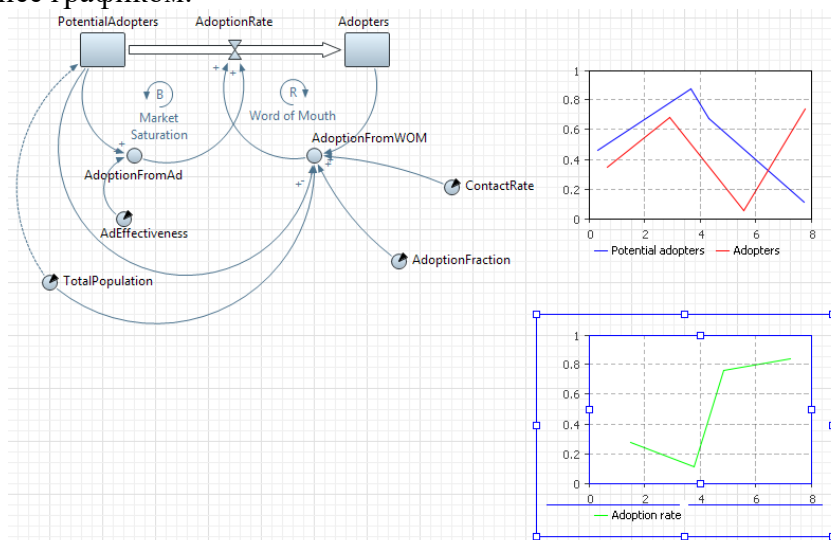
Display up to latest samples (applies to "Value" data items only)

▼ Масштаб

Временной диапазон:

Вертикальная шкала: ☒ Авто ☐ Фиксированный

- Добавьте график, отображающий изменение интенсивности продаж
 Добавьте на системную диаграмму еще один временной график. Поместите его под добавленным ранее графиком:



Добавьте на график новый элемент данных (в качестве Значения в этом случае должно быть задано имя потока AdoptionRate) и измените, свойства графика, как показано на приведенном рисунке:

plot1 - Временной график

Имя: ☐ Исключить ☒ Отображается на верхнем уровне

▼ Данные

☒ Значение ☐ Набор данных Заголовок:

Значение:

Стиль маркера: Толщина линии:

Цвет:

▼ Обновление данных

☒ Обновлять данные автоматически ☐ Не обновлять данные автоматически

Период:

Display up to latest samples (applies to "Value" data items only)

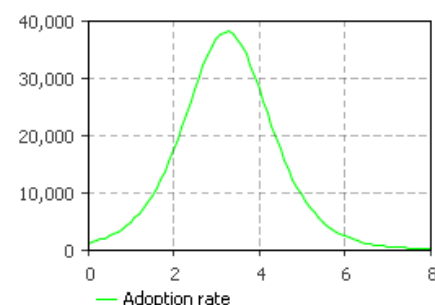
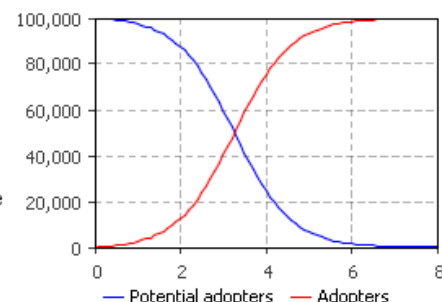
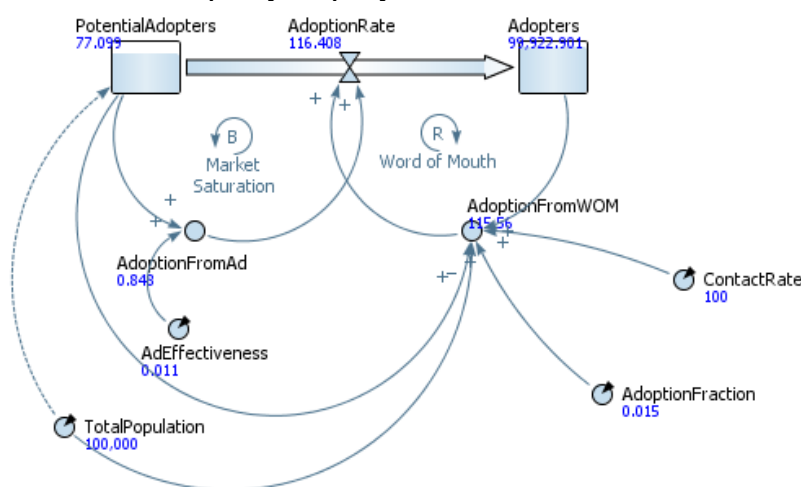
▼ Масштаб

Временной диапазон:

12 Запуск модели

Теперь Вы можете запустить модель и изучить динамику изменения численностей потребителей и потенциальных потребителей продукта. Вы увидите классические для рассматриваемого примера системной динамики кривые S-формы.

С помощью нижнего графика Вы можете проследить, как с течением времени будет изменяться интенсивность продаж продукта. Если модель была создана правильно, то Вы увидите колоколообразную кривую:



Полученная модель является простейшей моделью системной динамики. Эта модель часто используется в классических учебниках по системной динамике, и именно поэтому она и была выбрана для лабораторной работы. На этом примере были продемонстрированы возможности создания типовых моделей системной динамики в AnyLogic.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 5.1 - Индивидуальные исходные данные для выполнения лабораторной работы

Вариант	Опыт 1		Опыт 2		Общая численность населения, чел	Длительность процесса, лет
	Эффективность рекламы	Сила убеждения	Эффективность рекламы	Сила убеждения		
1	0,010	0,01	0,005	0,01	300000	6 и 12
2	0,010	0,02	0,005	0,02	110000	1 и 7
3	0,010	0,03	0,005	0,03	140000	1 и 8
4	0,005	0,04	0,015	0,04	200500	2 и 9
5	0,005	0,05	0,015	0,05	200500	4 и 10
6	0,005	0,01	0,015	0,01	300000	5 и 11
7	0,015	0,02	0,020	0,02	250000	5 и 10
8	0,015	0,03	0,020	0,03	100200	4 и 9
9	0,015	0,04	0,025	0,04	150000	8 и 10
10	0,020	0,02	0,025	0,02	300000	7 и 11
11	0,020	0,03	0,005	0,03	200000	4 и 8
12	0,020	0,04	0,005	0,04	270000	2 и 10
13	0,020	0,05	0,005	0,05	500000	11 и 15
14	0,025	0,02	0,015	0,02	400000	9 и 12
15	0,025	0,03	0,015	0,03	300000	4 и 10
16	0,010	0,05	0,010	0,03	140000	4 и 7
17	0,010	0,01	0,010	0,04	200000	7 и 11
18	0,010	0,02	0,010	0,05	101000	2 и 6
19	0,005	0,03	0,005	0,02	100700	3 и 7
20	0,005	0,04	0,005	0,03	120000	3 и 8
21	0,005	0,05	0,005	0,02	103000	3 и 9
22	0,015	0,01	0,015	0,03	250000	6 и 10
23	0,015	0,02	0,015	0,04	200000	6 и 11
24	0,015	0,03	0,015	0,05	400000	6 и 14
25	0,020	0,04	0,020	0,01	250000	7 и 14
26	0,020	0,05	0,020	0,02	200000	2 и 8
27	0,025	0,04	0,025	0,03	400000	3 и 11
28	0,025	0,05	0,025	0,01	140000	5 и 7

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Понятие имитационного моделирования.
2. Смысл системной динамики в имитационном моделировании.
3. Перечислите основные этапы построения динамических моделей в среде AnyLogic.
4. Суть модели диффузии Ф.Басса и для чего она используется.
5. Как выглядит график модели диффузии Ф.Басса, если распространение продукта за счет рекламы фирмы равно 0?
6. Как выглядит график модели диффузии Ф.Басса, если распространение продукта за счет устной рекламы владельцев продукта («сарафанного радио») равно 0?
7. Как строится интерфейс эксперимента AnyLogic для связи с параметрами модели?
8. Примеры использования системно-динамического моделирования.